

61
Ч54

С.Я. ИНАГАМОВ

МЕТРОЛОГИЯ



ТАШКЕНТ

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

С.Я. ИНАГАМОВ

МЕТРОЛОГИЯ

*Рекомендовано Министерством высшего и среднего
специального образования Республики Узбекистан
в качестве учебного пособия для студентов*

ТАШКЕНТ – 2019

УДК: 006.91(075.8)
ББК 30.10а7
М 54

М 54

С. Я. Инигамов Метрология. –Т.: «Fan va texnologiya», 2019, 224 стр.

ISBN 978-9943-6151-0-6

Данное учебное пособие написано на основе учебной программы предмета «Метрология и стандартизация» и предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Технология приготовления лекарственных препаратов» (5510600 – «Промышленная фармация», 5320500 – «Биотехнология» (Фармацевтическая биотехнология) и 5310901 – «Метрология, стандартизация и менеджмент качества продукции» (лекарственные препараты).

Учебное пособие состоит из двух частей, первая часть охватывает лабораторные работы по электрическим измерениям, кратко информацию о теоретической основе предмета, пояснения и инструкции для выполнения лабораторных работ. В описании каждой лабораторной работы содержится: теоретическая часть, порядок выполнения лабораторной работы, отчет по проведенным работам, а также вопросы для самостоятельной подготовки. Во второй части приведены лабораторные работы, которые часто используются для приготовления и анализа лекарственных и пищевых продуктов и порядок проведения поверки (аналитические весы, спектрофотометры, pH-метры, кондуктометры и т. д.). В конце учебного пособия приведены использованная литература и глоссарий — (от греч. glosso – язык) – словарь, объясняющий неизвестные слова по предмету «Метрология и стандартизация».

Ushbu o'quv qo'llanma «Metrologiya va standartizatsiya» fanini o'qitish dasturi asosida yozilgan bo'lib, dori-hushunoslik oliy o'quv yurtlarining dori tayyorlash texnologiyasi (5510600 – «Sanoat farmatsiyasi», 5320500 – «Biotexnologiya» (Farmatsevtik biotexnologiya) va 5310901 – «Metrologiya, standartlashtirish va mahsulot sifati menejmenti» mutaxassisligi talabalari uchun) ixtisosliklari bo'yicha tahsil olayotgan talabalar uchun mo'ljallangan.

«Metrologiya va standartizatsiya» fani uchinchi umumkasbiy fanlar blokiga qarashli bo'lib, bu fan bo'yicha yozilgan o'quv qo'llanma 273 betdan iborat va ikki qismga ajratilgan. Birinchi qismda elektr o'lchashlar bo'yicha laboratoriya ishlari, fanning nazariy asoslaridan qisqacha ma'lumotlar, har bir laboratoriya ishlari bajarish uchun tushuntirish hamda ko'rsatmalar keltirilgan. Har bir laboratoriya ishini bayonida ishlarni bajarish bo'yicha ko'rsatmalar, hisobotni tayyorlash, mustaqil tayyorlanish uchun savollar, adabiyotlar ro'yxati, laboratoriya qurilmasi va asboblarning tuzilishi, mustaqil ishlarga doir ma'lumotlar keltirilgan. Ikkinchi qismda esa oziq-ovqat va dori vositalarini standartlash uchun ishlatiladigan qurilmalarni (analitik tarozi, spektrofotometr, pH-metr, konдуктометр va hokazolar) qiyoslash bilan bog'liq bo'lgan laboratoriya ishlari keltirilgan. Nazariy bilimlarni mustahkamlash va rivojlantirish uchun elektr o'lchash asboblari va ularning sxemalari keltirilgan. O'quv qo'llanmadagi har bir laboratoriya ishida olingan natijalarni yozib borish uchun jadvallar va laboratoriya ishini bajarish uchun sxemalari hamda talabalar fanni to'liq o'zlashtirishlari uchun har bir laboratoriya ishi so'ngida sinov savollari keltirilgan.

This training manual is written on the basis of the curriculum on the subject "Metrology and Standardization" and it is designed for students of engineers of technologists of higher educational institutions studying in the direction 5510600 – "Industrial Pharmacy", 5320500 – "Biotechnology" (Pharmaceutical Biotechnology) and 5310901 – Metrology, standardization and quality management of products (medicines).

The subject "Metrology and standardization" refers to the third general professional block of the curriculum for students of the Faculty of Industrial Pharmacy. The total volume of the training manual "Metrology and standardization" is 273 pages and consists of two parts. The first part of the training manual is devoted to laboratory work on the study of electrical devices, the theoretical foundations of their structure and the principle of operation, which also provides the principles for performing laboratory work on verification of measuring instruments. In each laboratory work methods of processing the results obtained, questions for self-preparation, a list of references, as well as other data on the processing of the results obtained are given. In the second part of the training manual, laboratory work is done to verify the measuring instruments (analytical scales, spectrophotometers, pH meters, conductometers, etc.) that are used for the study and standardization of food and medicinal products. In each laboratory work, tables are given for processing the obtained results and a scheme for conducting laboratory work on calibration of measuring instruments.

УДК: 006.91(075.8)
ББК 30.10а7

Рецензенты:

С.Амирова – д.т.н., профессор, зав. каф. «Железнодорожное электроснабжение» Ташкентского института железнодорожного транспорта;

Ф.Х.Тухтаев – к.ф.н., доцент кафедры Биотехнологии Ташкентского фармацевтического института.

ISBN 978-9943-6151-0-6

© Издательство «Fan va texnologiya», 2019.

ВВЕДЕНИЕ

С течением мировой истории человеку приходилось измерять различные вещи, взвешивать продукты, отсчитывать время. Для этой цели понадобилось создать целую систему различных измерений, необходимую для вычисления объема, веса, длины, времени и т. п. Данные подобных измерений помогают освоить количественную характеристику окружающего мира. Крайне важна роль подобных измерений при развитии цивилизации. Сегодня никакая отрасль народного хозяйства не могла бы правильно и продуктивно функционировать без применения своей системы измерений. Ведь именно с помощью этих измерений происходит формирование и управление различными технологическими процессами, а также контролирование качества выпускаемой продукции. Подобные измерения нужны для самых различных потребностей в процессе развития научно – технического прогресса: и для учета материальных ресурсов и планирования, и для нужд внутренней и внешней торговли, и для проверки качества выпускаемой продукции, и для повышения уровня защиты труда любого работающего человека.

Несмотря на многообразие природных явлений, и продуктов материального мира, для их измерения существует такая же многообразная система измерений, основанных на очень существенном моменте – сравнении полученной величины с другой, ей подобной, которая однажды была принята за единицу. При таком подходе физическая величина расценивается как некоторое число принятых для нее единиц, или, говоря иначе, таким образом, получается ее значение.

Существует наука, систематизирующая и изучающая подобные единицы измерения, – метрология. Как правило, под метрологией подразумевается наука об измерениях, о существующих средствах и методах, помогающих соблюсти принцип

их единства, а также о способах достижения требуемой точности.

Метрология от греческого слова «metron» – мера и «logos» – учение, что означает – наука об измерениях, методах достижения их единства и требуемой точности. Бурное развитие метрологии пришлось на конец XX в. Оно неразрывно связано с развитием новых технологий. Следует отметить и особое участие в создании этой дисциплины Д. И. Менделеева, которому подевалось вплотную заниматься метрологией с 1892 по 1907 гг. когда он руководил этой отраслью российской науки.

Таким образом, можно сказать, что метрология изучает:

- методы и средства для учета продукции по следующим показателям: длине, массе, объему, расходу и мощности;
- измерения физических величин и технических параметров, а также свойств и состава веществ;
- измерения для контроля и регулирования технологических процессов.

ИЗМЕРЕНИЕ – действие, выполняемое при помощи средств измерений с целью нахождения числового значения измеряемой величины в принятых единицах измерения. Получившееся значение называется числовым значением измеряемой величины, числовое значение совместно с обозначением используемой единицы называется значением физической величины. Измерение физической величины проводится с помощью мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, систем, установок. Измерение физической величины включает в себя: сравнение измеряемой величины с единицей измерения и преобразование в форму, удобную для использования.

Различают прямые измерения (например, измерение длины проградуированной линейкой) и косвенные измерения, основанные на зависимости между искомой величиной и непосредственно измеряемыми величинами.

Характеристикой точности измерения является его погрешность. В тех случаях, когда невозможно выполнить измерение (не выделена величина как физическая и не

определена единица измерений этой величины) практикуется оценивание таких величин по условным шкалам, например, шкала Рихтера интенсивности землетрясений, шкала Мооса твердости минералов. Наука, предметом изучения которой являются аспекты измерений, называется метрологией.

Метрология включает в себя общие правила, нормы и требования, во-вторых, вопросы, нуждающиеся в государственном регламентировании и контроле. И здесь речь идет о:

- физических величинах, их единицах, а также об их измерениях;
- принципах и методах измерений и о средствах измерительной техники;
- погрешностях средств измерений, методах и средствах обработки результатов измерений с целью исключения погрешностей;
- обеспечении единства измерений, эталонах, образцах;
- государственной метрологической службе;
- методике поверочных схем;
- рабочих средствах измерений.

В связи с этим задачами метрологии становятся: усовершенствование эталонов, разработка новых методов точных измерений, обеспечение единства и необходимой точности измерений.

Современная метрология разделяется на такие направления как:

- теоретическая метрология – раздел метрологии, изучающий общие теоретические проблемы измерений;
- законодательная метрология – это один из разделов метрологии, совмещающий комплексы общепринятых правил, норм, требований и других вопросов, требующих контроля и регламентации со стороны государства. Изучение этих аспектов направлено на метрологическое обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений;
- прикладная метрология – раздел метрологии, рассматривающий вопросы применения метрологических методов и средств измерений на практике;

Вышеприведенные направления современной метрологии изучают:

- **единство измерений** – комплекс принятых мер, при которых результаты измерений выражены в общепринятых узаконенных единицах величин и погрешности измерений не превышают установленных стандартов с учитываемой вероятностью;

- **средство измерений** – устройство, предназначенное для проведения измерений.

- **метрологическая служба** – субъект управления, контроля и регламентирования видов работ, направленных на обеспечение единства и единообразия измерений.

- **поверка средства измерений** – комплекс мер, исполняемых объектами государственной метрологической службы с целью подтверждения соответствия СИ установленным ГОСТ техническим требованиям.

- **калибровка средства измерений** – комплекс принятых мер, исполняемых для подтверждения и определения действующих значений метрологических характеристик и(или) годности к использованию СИ, не подлежащего обязательному государственному контролю и метрологическому надзору.

Очень важным фактором правильного понимания дисциплины и науки метрология служат используемые в ней термины и понятия. Надо сказать, что, их правильная формулировка и толкование имеют первостепенное значение, так как восприятие каждого человека индивидуально и многие, даже общепринятые термины, понятия и определения он трактует по—своему, используя свой жизненный опыт и следуя своим инстинктам, своему жизненному кредо. А для метрологии очень важно толковать термины однозначно для всех, поскольку такой подход дает возможность оптимально и целиком понимать какое—либо жизненное явление. Для этого был создан специальный стандарт на терминологию, утвержденный на государственном уровне. Поскольку Россия на сегодняшний момент воспринимает себя частью мировой экономической системы, постоянно идет работа над унификацией терминов и понятий, создается международный стандарт.

Это, безусловно, помогает облегчить процесс взаимовыгодного сотрудничества с высокоразвитыми зарубежными странами и партнерами. Итак, в метрологии используются следующие величины и их определения:

1. **физическая величина**, представляющая собой общее свойство в отношении качества большого количества физических объектов, но индивидуальное для каждого в смысле количественного выражения;

2. **единица физической величины**, что подразумевает под собой физическую величину, которой по условию присвоено числовое значение, равное единице;

3. **измерение физических величин**, под которым имеется в виду количественная и качественная оценка физического объекта с помощью средств измерения;

4. **средство измерения**, представляющее собой техническое средство, имеющее нормированные метрологические характеристики. К ним относятся измерительный прибор, мера, измерительная система, измерительный преобразователь, совокупность измерительных систем;

5. **измерительный прибор** представляет собой средство измерений, вырабатывающее информационный сигнал в такой форме, которая была бы понятна для непосредственного восприятия наблюдателем;

6. **мера** — также средство измерений, воспроизводящее физическую величину заданного размера. Например, если прибор аттестован как средство измерений, его шкала с оцифрованными отметками является мерой;

7. **измерительная система** — воспринимаемая как совокупность средств измерений, которые соединяются друг с другом посредством каналов передачи информации для выполнения одной или нескольких функций;

8. **измерительный преобразователь** — также средство измерений, которое производит информационный измерительный сигнал в форме, удобной для хранения, просмотра и трансляции по каналам связи, но не доступной для непосредственного восприятия;

9. принцип измерений как совокупность физических явлений, на которых базируются измерения;

10. метод измерений как совокупность приемов и принципов использования технических средств измерений;

11. методика измерений как совокупность методов и правил, разработанных метрологическими научно – исследовательскими организациями, утвержденных в законодательном порядке.

Часть I. МЕТРОЛОГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЛЬТМЕТРОВ

Цель работы: Научиться производить поверку вольтметра методом сличения с образцовым.

Задание. Ознакомиться с макетом лабораторного устройства.

Приборы и оборудование

1. источник питания (лабораторный).
2. вольтметр испытуемый (выбрать самостоятельно).
3. вольтметр образцовый (выбрать самостоятельно).

Теоретический часть

Электрические измерения применяют для измерения электрических величин, например, силы тока, напряжения, мощности и неэлектрических величин, например, температуры, давления, расхода жидкости и газа, pH и т. д. Электрические измерения обеспечивают: высокую точность измерений; высокую чувствительность; большой диапазон значений, измеряемых одним прибором; возможность передачи результатов измерений на большие расстояния; возможность измерения параметров быстропротекающих процессов; удобство ввода результатов измерений в ЭВМ.

Средства электрических измерений могут применяться не только для получения измерительной информации. Используя специальные устройства (датчики) можно осуществить автоматическое регулирование основных параметров технологического процесса.

Классификация электроизмерительных приборов

Электроизмерительным прибором называется средство измерения, с помощью которого вырабатывается сигнал измерительной информации в форме, доступной восприятию наблюдателя.

По способу получения информации электроизмерительные приборы подразделяют на аналоговые и цифровые.

Аналоговые приборы — стрелочные. Значение измеренной величины определяют по шкале прибора.

В цифровых приборах измеряемая величина выводится в виде числа на цифровое табло.

По принципу действия электроизмерительные приборы подразделяются на следующие основные типы:

1. Приборы магнитоэлектрической системы.
2. Приборы электродинамической системы.
3. Приборы электромагнитной системы.
4. Приборы электростатической системы.

Приборы магнитоэлектрической системы

Электроизмерительные приборы магнитоэлектрической системы основаны на принципе взаимодействия подвижной рамки (катушки) P с током и магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом (рис. 1.1).

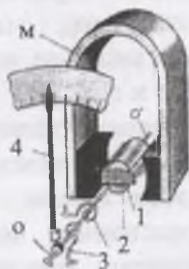


Рис. 1.1. Измерительный механизм магнитоэлектрической системы

Берут лёгкую алюминиевую рамку 2 прямоугольной формы, наматывают на неё катушку из тонкого провода. Рамку крепят на двух полюсах O и O' , к которым прикреплена также стрелка прибора 4. Ось удерживается двумя тонкими спиральными пружинами 3. Силы упругости пружин, возвращающие рамку к положению равновесия в отсутствие тока, подобраны такими, чтобы были пропорциональными углу отклонения

стрелки от положения равновесия. Катушку помещают между полюсами постоянного магнита М с наконечниками формы полого цилиндра. Внутри катушки располагают цилиндр 1 из мягкого железа. Такая конструкция обеспечивает радиальное направление линий магнитной индукции в области нахождения витков катушки.

В результате взаимодействия возникают электромагнитные силы F_1 и F_2 (рис. 1.2).

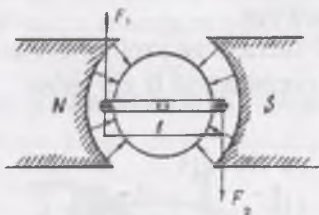


Рис. 1.2. Взаимодействие тока и магнитного поля

Силы F_1 и F_2 зависят от величины измеряемого тока:

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_2 = \vec{B} * \vec{I} * l$$

где B – магнитная индукция;

I – сила тока

l – длина стороны рамки.

Эти силы создают вращающий момент $M_{вр}$, который будет поворачивать рамку в магнитном поле. Повороту рамки противодействует обратный момент $M_{об}$ спиральной пружины, закрепленной на оси рамки. Противодействующий обратный момент линейно возрастает по мере увеличения угла поворота рамки. Равенство моментов $M_{вр} = M_{об}$ возникает при определенной величине измеряемого тока. Таким образом, угол поворота рамки, а следовательно, и отклонение указательной стрелки по шкале прибора будет зависеть от величины измеряемого тока.

Приборы магнитоэлектрической системы используются в качестве амперметров и вольтметров. Условное обозначение магнитоэлектрической системы имеет вид $\cap$ и изображается на шкале прибора.

Достоинствами таких приборов является: равномерность шкалы; малое влияние внешних магнитных полей; высокая чувствительность; малое потребление энергии; большая точность.

Недостатками являются: пригодность только для измерения постоянных токов и напряжений; сложность конструкции.

Приборы электродинамической системы

Электродинамические приборы основаны на принципе взаимодействия магнитных полей двух катушек, по которым протекает измеряемый ток.

Измерительный механизм этой системы (рис. 1.3) состоит из неподвижной Б и подвижной В катушек.

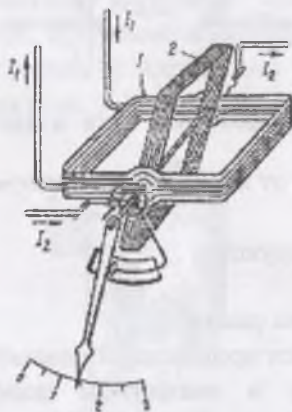


Рис. 1.3. Устройство измерительного механизма электродинамической системы

Если по катушкам проходят токи, то между магнитными потоками катушек возникает сила взаимодействия. Эта сила создает вращающий момент, стремящийся установить подвижную катушку В так, чтобы энергия магнитного поля катушек стала наибольшей. Это будет достигнуто в том случае, если через плоскость подвижной катушки будет проходить максимальный магнитный поток и направления магнитных полей обеих катушек внутри их будут совпадать.

Угол поворота подвижной катушки пропорционален произведению токов, протекающих по катушкам Б и В

$$\alpha = k * I_1 * I_2$$

где k — коэффициент, зависящий от числа витков катушек и их взаимного расположения.

Катушки в электродинамических приборах в зависимости от их назначения соединяются последовательно или параллельно.

При последовательном соединении (рис. 1.4) по катушкам проходит один и тот же измеряемый ток. Следовательно, угол поворота подвижной части измерительного механизма будет

$$\alpha = kI^2$$

Поэтому шкала у амперметров такой системы квадратичная.

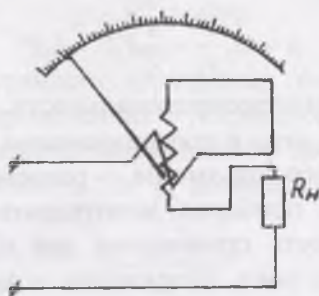


Рис. 1.4. Включение прибора в качестве амперметра

Если электродинамический прибор используется как ваттметр (рис. 1.5), то неподвижная катушка прибора подключается последовательно с потребителем (токовая катушка) и через нее проходит весь ток I , потребителя R_H . Подвижная катушка (катушка напряжения) присоединяется параллельно потребителю. По этой катушке протекает ток I_2 , пропорциональный приложенному к потребителю напряжению

$$I_2 = \frac{U}{r_2}$$

где r_2 — сопротивление подвижной катушки

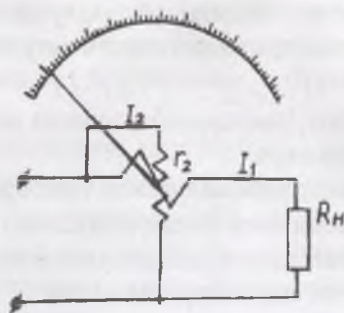


Рис. 1.5. Включение прибора в качестве ваттметра

Таким образом, угол поворота подвижной части измерительного механизма

$$\alpha = kI_1 \frac{U}{r_2} = \frac{k}{r_2} I_1 U = k_1 P$$

где k_1 — коэффициент пропорциональности.

Следовательно, угол α пропорционален мощности и шкала электродинамического вольтметра — равномерная.

Достоинствами приборов электродинамической системы являются: возможность применения для измерения постоянного и переменного тока, напряжения и мощности, высокий класс точности.

Недостатками являются: зависимость показаний от внешних магнитных полей, чувствительность к перегрузкам, сложность конструкции, увеличение погрешности измерения с ростом частоты измеряемого переменного тока.

Погрешности приборов

Показания любого измерительного прибора из-за несовершенства измерительного механизма и непостоянства параметров измерительной цепи всегда несколько отличаются от действительного значения измеряемой величины, т. е. всякий прибор имеет погрешность.

От величины этой погрешности приборы подразделяются на образцовые и рабочие.

Образцовые приборы наиболее точные, их показания близки к действительному значению измеряемой величины. Измерительный механизм образцовых приборов выполнен очень тщательно и применять их для практических измерений в цеховых и лабораторных условиях нельзя. Они служат для проверки, градуировки и используется для определения погрешности рабочих приборов.

Разность показаний между рабочим и образцовым прибором определяет абсолютную погрешность рабочего прибора:

$$\pm \Delta A = A_{\text{изм}} - A_{\text{обр}}$$

Точность измерения оценивается относительной погрешностью. Относительной погрешностью называется выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности к измеренному значению измеряемой величины

$$\delta = \frac{\Delta A}{A_{\text{изм}}} * 100\%$$

Для оценки точности стрелочных измерительных приборов служит приведенная погрешность. Приведенной погрешностью называется выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности ΔA к номинальному значению A_H шкалы прибора

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_H} * 100$$

Под номинальным значением принимают верхний предел измерения прибора. Величина приведенной погрешности зависит от качества изготовления измерительной части прибора. Допустимая приведенная погрешность определяет класс точности прибора. Согласно ГОСТ 13600—68 электроизмерительные приборы подразделяются на девять классов точности: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Деления на шкалах приборов должны обеспечивать возможность отсчета с точностью не ниже класса точности прибора. На шкалах приборов числа, указывающие класс точности, обводятся кружками.

Выразив ΔA через допустимую приведенную погрешность (класс точности), получим:

4. Проверить, стоят ли стрелки приборов точно на 0, если нет, то помощи корректора установить их в нулевое положение.

5. Включить питание, с помощью регулятора напряжения увеличить напряжение от нуля, так, чтобы стрелка испытуемого прибора последовательно останавливалась над каждым основным делением шкалы.

Доведя величину напряжения до последнего деления шкалы, плавно уменьшить его, останавливаясь на тех же точках.

6. Записать основные показания обоих (образцовых и рабочих) вольтметров в таблице 1.1. Результаты измерений записать в таблицу 1.2.

7. Определить абсолютные, относительные и приведенные погрешности и поправки.

8. Сделать заключение о годности испытуемого вольтметра.

9. По полученным данным построить кривую поправок в зависимости от показаний испытуемого прибора.

Таблица 1.2

№	Измерено				Вычислено						
	Показание образц. амперметра, $V_{ном}$	Значение при повышении, $V_{изм}$	Значение при понижении, $V_{изм}$	Среднее значение	Абс. ошибка, $\Delta V_{абс.}$	Отн. ошибка $E, \%$	Прив. Ошибка $\gamma, \%$	Поправка			
1.											
2.											
3.											

Обработка полученных результатов

1. Среднеарифметическое значение вольтметра при повышении и при понижении:

$$U_{cp} = \frac{U_0^1 + U^{11}_0}{2}$$

2. Абсолютная ошибка вольтметра:

$$\Delta U^I = U_x - U_0^I; \Delta U^{II} = U_x - U_0^{II}; \Delta U_{cp} = U_x - U_{0cp}$$

3. Относительная ошибка вольтметра:

$$E^I = \frac{\Delta U^I}{U_0^I} \cdot 100\%; E^{II} = \frac{\Delta U^{II}}{U_0^{II}} \cdot 100\%; E_{0cp} = \frac{\Delta U_{0cp}}{U_{0cp}} \cdot 100\%$$

4. Приведенная ошибка вольтметра:

$$\gamma^I = \frac{\Delta U}{U_{xH}} \cdot 100\%; \gamma^{II} = \frac{\Delta U^{II}}{U_{xH}^{II}} \cdot 100\%; \gamma_{0cp} = \frac{\Delta U_{0cp}}{U_{xH}} \cdot 100\%;$$

где U_{max} — максимальная граница измерительного прибора.

Из анализа экспериментальных данных выводятся годность измерительного прибора к использованию. Если рассчитанное максимальное значение приведенной ошибки вольтметра, ниже по сравнению указанного класса точности, то показания измерительного прибора считается правильными и она годная к дальнейшему использованию. Значение приведенной ошибки больше по сравнению указанного класса точности, то такой прибор считается негодным к использованию.

5. Поправка для вольтметра:

$$\Delta U = U_x - U_0$$

6. Сопротивление вольтметра:

$$R_{UX} = \frac{U_0}{I_0}$$

Контрольные вопросы

1. Как определяется цена деления прибора?
2. Что показывает класс точности прибора?
3. Что называется поправкой?
4. Что называется абсолютной, относительной и приведенной погрешностью?
5. Как определяется годность испытуемого прибора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКИХ АМПЕРМЕТРОВ

Цель работы: Научиться производить поверку амперметра методом сличения с образцовым.

Задание. Ознакомиться с макетом лабораторного устройства.

Приборы и оборудование

1. Схема для поверки амперметров.
2. Миллиамперметр для постоянного тока на 25 мА класса точности 2,5 (поверяемый прибор)
3. Миллиамперметр для постоянного тока на 25 мА класса точности 0,5 (образцовый прибор).
4. В качестве источника питания используются стендовые источники с регулируемым напряжением 0 – 6,3 В.
5. Нагрузкой служат два регулируемых резистора R_1 и R_2 установленных на плате.

(R_1 – резистор ППБ -25 на 50 Ком; R_2 – резистор ППБ -25 на 100 ом.)

Теоретическая часть

Амперметр – измерительный прибор для определения силы постоянного и переменного тока в электрической цепи. Показания амперметра всецело зависят от величины протекающего через него тока, в связи, с чем сопротивление амперметра по сравнению с сопротивлением нагрузки должно быть как можно меньшим. По своим конструктивным особенностям амперметры подразделяются на магнитоэлектрические, электромагнитные, термоэлектрические, электродинамические, ферродинамические и выпрямительные.

Магнитоэлектрические амперметры служат для измерения силы тока малой величины в цепях постоянного тока. Они состоят из магнитоэлектрического измерительного механизма и шкалы с нанесенными делениями, соответствующими различным значениям измеряемого тока. Электромагнитные амперметры предназначены для измерения силы протекающего тока в цепях постоянного и переменного тока. Чаще всего

используются для измерения силы в цепях переменного тока промышленной частоты (50 Гц). Состоят из измерительного механизма, шкала которого размечена в единицах силы тока, протекающего по катушке прибора. Для изготовления катушки можно использовать провод большого сечения и, следовательно, измерять ток большой величины (свыше 200 А).

Термоэлектрические амперметры применяются для измерения в цепях переменного тока высокой частоты. Они состоят из магнитоэлектрического прибора с контактным или бесконтактным преобразователем, который представляет собой проводник (нагреватель), к которому приварена термопара (она может находиться на некотором расстоянии от нагревателя и не иметь с ним непосредственного контакта). Ток, проходя по нагревателю, вызывает его нагрев (за счет активных потерь), который регистрируется термопарой. Возникающее термическое излучение воздействует на рамку магнитоэлектрического измерителя тока, которая отклоняется на угол, пропорциональный силе тока в цепи.

Электродинамические амперметры служат для измерения силы тока в цепях постоянного и переменного токов повышенной (до 200 Гц) частот. Приборы очень чувствительны к перегрузкам и внешним магнитным полям. Применяются в качестве контрольных приборов для проверки рабочих измерителей силы тока. Состоят из электродинамического измерительного механизма, катушки которого в зависимости от величины максимально измеряемого тока соединены последовательно или параллельно, и градуированной шкалы. При измерении токов малой силы катушки соединяются последовательно, а большой – параллельно.

Ферродинамические амперметры прочны и надежны по конструкции, малочувствительны к воздействию внешних магнитных полей. Они состоят из ферродинамического измерительного аппарата и применяются главным образом в системах автоматических контроллеров в качестве самопишущих амперметров.

Каждый амперметр рассчитывается на некоторое определенное максимальное значение измеряемой величины.

Но, часто, возникают ситуации, когда необходимо выполнить измерение некоторой величины, значение которой больше пределов измерения прибора. Тем не менее, всегда оказывается возможным расширить пределы измерения данным прибором. Для этого параллельно амперметру присоединяют проводник, по которому проходит часть измеряемого тока. Значение сопротивления этого проводника рассчитывается так, чтобы сила тока, проходящего через амперметр, не превышала его максимально допустимого значения. Такое сопротивление называется шунтирующим. Результатом подобных действий станет то, что если амперметром, рассчитанным, например, на силу тока до 1 А, необходимо выполнить измерение тока в 10 раз больше, то сопротивление шунта должно быть в 9 раз меньше сопротивления амперметра. Разумеется, при этом цена градуировки увеличивается в 10 раз, а точность во столько же раз уменьшается.

Приборы электромагнитной системы

В электромагнитных приборах используется взаимодействие катушки с измеряемым током и намагниченным стальным сердечником, имеющим форму легкой пластины (рис. 2.1).

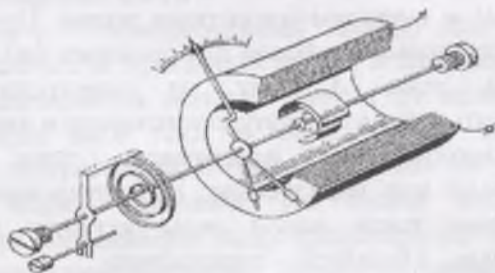


Рис.2.1. Устройство измерительного механизма электромагнитной системы

Измеряемый ток I проходит по катушке А и намагничивает сердечник Б. Ось В проходит не через центр пластины сердечника. Поэтому сердечник, втягиваясь в катушку, будет поворачивать ось на угол, зависящий от величины тока I .

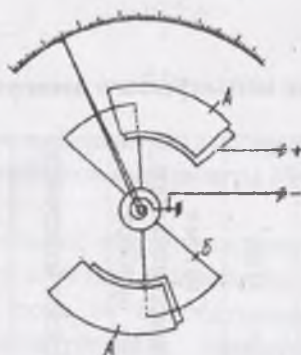
Достоинствами приборов электромагнитной системы являются: возможность использования в цепях постоянного и переменного тока; возможность измерения относительно больших токов; надежность в эксплуатации; простота конструкции.

Недостатками являются: неравномерность шкалы, зависимость показаний прибора от влияния внешних магнитных полей.

Условное обозначение приборов электромагнитной системы имеет вид.

Приборы электростатической системы

В электростатических измерительных механизмах перемещение подвижной части происходит вследствие взаимодействия двух электрически заряженных проводников. Принципиальная схема устройства измерительного механизма, применяемая в вольтметрах, показана на рис. 1.7.



**Рис. 2.2. Устройство измерительного механизма
Электростатической системы**

Неподвижная часть измерителя состоит из двух параллельных металлических пластин *А*, а подвижная часть из сектора образной пластины *Б*. При измерении напряжения на зажимах измерительного механизма неподвижные и подвижные пластины заряжаются разноименно. Между пластинами возникает электрическое поле, под действием которого подвижная пластина втягивается в пространство между

неподвижными пластинами. Таким образом, угол поворота подвижной пластины и, следовательно, указательной стрелки прибора, пропорционален величине измеряемого напряжения.

Достоинствами приборов электростатической системы являются: независимость показаний от внешних магнитных полей и от температур и окружающей среды; высокая точность; простота конструкции; незначительное собственное потребление электрической энергии.

Недостатками являются: зависимость показаний приборов от внешних электрических полей; влияние влажности воздуха; невозможность использования таких приборов в качестве амперметров.

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему (рис. 2.3) и дать ее проверить преподавателю.
2. Заполнить таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Данные испытуемого амперметра

№ пп	Наименование	Тип	Система измерительного прибора	Предел измерения	Цена деления	Класс точности	Заводской номер
1.	Образцовый прибор						
2.	Испытуемый прибор						

3. Общий вид лабораторной работы по поверке амперметров приведены на рис.2.4.

4. Проверить, стоят ли стрелка каждого прибора на нуле, если нет, при помощи корректора установить их в нулевое положение.

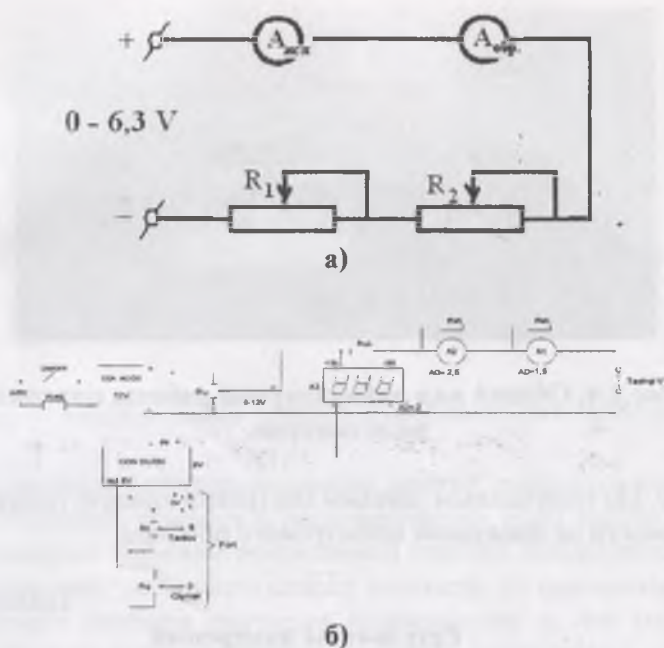


Рис.2.3. Соединение амперметра (а) и принципиальная схема поверки амперметра (б).

5. Включить питание, с помощью реостатов для грубой и плавной регулировки или посредством регулятора напряжения изменить величину тока от 0 (постоянно увеличивая), так, чтобы стрелки испытуемого прибора последовательно останавливались над каждым основным делением шкалы.

6. Доведя величину тока до последнего деления шкалы, плавно уменьшить его до нуля, останавливаясь на тех же точках.

7. Записывать показания обоих амперметров в таблице 2.2.

8. Определить абсолютные, относительные и приведенные погрешности и поправки.

9. Сделать заключение о годности испытуемого амперметра.

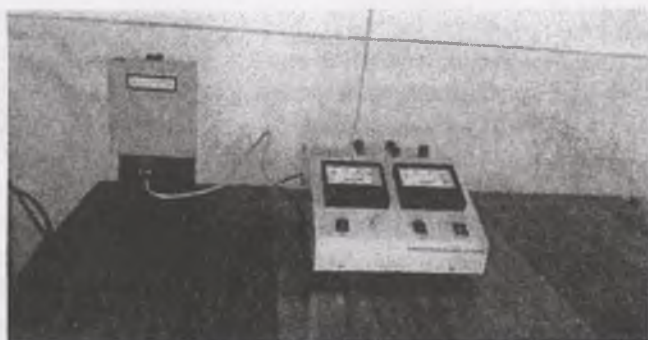


Рис.2.4. Общий вид лабораторной работы поверка вольтметров.

10. По полученным данным построить кривую поправок в зависимости от показаний испытуемого прибора.

Таблица 2.2

Результаты измерений

№ п п	Измерено				Вычислено						
	Показание образц. амперметра, $I_{ном}$	Значение при повышении, $I_{изм}$	Значение при понижении, $I_{изм}$	Среднее значение	Абс. Ошибка, $\Delta I_{абс}$	Отн. Ошибка, $E, \%$	Прив. Ошибка, $\gamma, \%$	Поправка			
1.											
2.											
3.											
4.											

Обработка полученных результатов

1. Среднеарифметическое значение амперметра при повышении и при понижении:

$$I_{cp} = \frac{I_0^I + I_0^{II}}{2}$$

2. Абсолютная ошибка амперметра:

$$\Delta I^I = I_x - I_0^I; \Delta I^{II} = I_x - I_0^{II}; \Delta I_{cp} = I_x - I_{0cp}$$

3. Относительная ошибка амперметра:

$$E^I = \frac{\Delta I^I}{I_0^I} \cdot 100\%; E^{II} = \frac{\Delta I^{II}}{I_0^{II}} \cdot 100\%; E_{cp} = \frac{\Delta I_{cp}}{I_{cp}} \cdot 100\%$$

4. Приведенная ошибка амперметра:

$$\gamma^I = \frac{\Delta I^I}{I_{max}} \cdot 100\%; \gamma^{II} = \frac{\Delta I^{II}}{I_{max}} \cdot 100\%; \gamma_{cp} = \frac{\Delta I_{cp}}{I_{max}} \cdot 100\%;$$

где I_{max} — максимальная граница измерительного прибора.

Из анализа экспериментальных данных выводятся годность измерительного прибора к использованию. Если рассчитанное максимальное значение приведенной ошибки амперметра, ниже по сравнению указанного класса точности, то показания измерительного прибора считается правильными и она годная к дальнейшему использованию. Значение приведенной ошибки больше по сравнению указанного класса точности, то такой прибор считается негодным к использованию.

5. Поправка для вольтметра:

$$\Delta I = I_x - I_0$$

6. Сопротивление вольтметра:

$$R_{UX} = \frac{U_0}{I_0}$$

Контрольные вопросы

1. Как определяется цена деления амперметра?
2. Что показывает класс точности прибора?
3. Что называется поправкой?
4. Что называется абсолютной, относительной и приведенной погрешностью?
5. Как определяется годность испытуемого прибора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИЗМЕРЕНИЕ ЦЕНА ДЕЛЕНИЙ И ВНУТРЕННЕЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ГАЛЬВАНОМЕТРА

Цель работы: Научиться определять цену деления и внутреннего сопротивления гальванометра.

Задание. Ознакомиться с макетом лабораторного устройства.

Приборы и принадлежности: Вольтметры, миллиамперметр, Микроамперметр, реостаты, переключатель и провода.

Для измерения сопротивления гальванометра и внутреннего сопротивления гальванического элемента пользуется методом мостика на постоянном токе с некоторыми изменениями и расположении его отдельных частей.

Теоретическая часть

Гальванометр (от фамилии учёного Луиджи Гальвани и слова др.-греч. μέτρον — «измеряю») — высокочувствительный прибор для измерения силы малых постоянных электрических токов. В отличие от обычных микроамперметров шкала гальванометра может быть проградуирована не только в единицах силы тока, но и в единицах напряжения, единицах других физических величин. Шкала может иметь условную, безразмерную градуировку, например, при использовании в качестве нуль-индикаторов.

Чаще всего гальванометр используют в качестве аналогового измерительного прибора. Используется для измерения силы постоянного тока, протекающего в цепи. Гальванометры конструкции д'Арсонваля/Уэстона, используемые на сегодняшний день, сделаны с небольшой поворачивающейся катушкой, находящейся в поле постоянного магнита. К катушке прикреплена стрелка. Маленькая пружина возвращает катушку со стрелкой в нулевое положение. Когда постоянный ток проходит сквозь катушку, в ней возникает магнитное поле. Оно взаимодействует с полем постоянного магнита, и катушка, вместе со стрелкой, поворачивается, указывая на протекающий через катушку электрический ток. Основная чувствительность

гальванометра может быть, например, 100 мкА (при падении напряжения, скажем, 50 мВ, при полном токе). Используя шунты, можно измерять большие токи. Так как стрелка прибора находится на небольшом расстоянии от шкалы, может возникнуть параллакс. Чтобы его избежать, под стрелкой располагают зеркало. Совмещая стрелку со своим отражением в зеркале, можно избежать параллакса.

Магнитоэлектрический гальванометр

Магнитоэлектрический гальванометр представляет собой проводящую рамку (обычно намотана тонким проводом), закреплённую на оси в магнитном поле постоянного магнита. При отсутствии тока в рамке рамка удерживается пружиной в некотором нулевом положении. Если же по рамке протекает ток, то рамка отклоняется на угол, пропорциональный силе тока, зависящий от жёсткости пружины и индукции магнитного поля. Стрелка, закреплённая на рамке, показывает значение тока в тех единицах, в которых отградуирована шкала гальванометра.

От прочих конструкций магнитоэлектрическая система отличается наибольшей линейностью градуировки шкалы прибора (в единицах силы тока или напряжения) и наибольшей чувствительностью (минимальным значением тока полного отклонения стрелки).

Электромагнитный гальванометр

Электромагнитный гальванометр — исторически самая первая конструкция гальванометра. Содержит неподвижную катушку с током и подвижный магнит (в приборах постоянного тока) или сердечник из магнито мягкого материала (для приборов, измеряющих и постоянный, и переменный ток), втягиваемый в катушку или поворачивающийся относительно неё.

Данная конструкция отличается большей простотой, отсутствием необходимости делать катушку возможно меньшего размера и веса (что требуется для магнитоэлектрической системы), отсутствием проблемы подведения тока к подвижной катушке. Однако такие приборы отличаются существенной нелинейностью шкалы (из-за неравномерностей магнитного поля сердечника и краевых эффектов катушки) и соответств-

ующей сложностью градуировки. Тем не менее, применение данной конструкции приборов в качестве амперметров переменного тока относительно большой величины оправдано большей простотой конструкции и отсутствием дополнительных выпрямительных элементов и шунтов. Вольтметры же переменного и постоянного тока электромагнитной системы наиболее удобны для контроля узкого диапазона значений напряжения, так как начальный участок шкалы прибора сильно сжат, а контролируемый участок может быть растянут.

Тангенциальный гальванометр

Тангенциальный гальванометр — один из первых гальванометров, использовавшихся для измерения электрического тока. Работает с помощью компаса, который используется для сравнения магнитного поля, создаваемого неизвестным током, с магнитным полем Земли. Своё название прибор получил от тангенциального закона магнетизма, в котором говорится, что тангенс угла наклона магнитной стрелки пропорционален соотношению сил двух перпендикулярных магнитных полей. Впервые это было описано Клодом Пулье в 1837 году.

Тангенциальный гальванометр состоит из катушки, сделанной из изолированной медной проволоки, намотанной на немагнитную рамку, расположенную вертикально. Рамка может поворачиваться вокруг вертикальной оси, проходящей через её центр. Компас расположен горизонтально и в центре круговой шкалы. Круговая шкала разделена на четыре квадранта, каждый из которых проградуирован от 0° до 90° . К магнитной стрелке компаса прикреплен длинный алюминиевый указатель. Чтобы избежать ошибок из-за параллакса под стрелкой устанавливают плоское зеркало.

В процессе работы гальванометр устанавливают так, чтобы стрелка компаса совпала с плоскостью катушки. Затем к катушке подводят измеряемый ток. Ток создаёт магнитное поле на оси катушки, перпендикулярное магнитному полю Земли. Стрелка реагирует на векторную сумму двух полей и отклоняется на угол, равный тангенсу отношения этих полей.

Описания лабораторной установки

Расположение отдельных приборов дано на рис. 3.1. Ток от элемента E проходит через реостат LM с подвижным контактом m ; к точкам L и m присоединены концы одной диагонали $ALmB$ мостика, а в другой диагонали CD находится ключ K_1 . Гальванометр, сопротивление которого X измеряется, включен в одну из ветвей мостика; сопротивление R , r_1 и r_2 служат тремя остальными ветвями мостика. Меняя положение контакта m на реостате LM , мы тем самым изменяем разность потенциалов ($\phi_1 - \phi_2$) от нуля, когда контакт m совпадает с L , до некоторого максимума, когда контакт m совпадает с M ; вследствие этого изменятся величина силы тока, поступающего в схему, а следовательно, и величина силы тока, протекающего через гальванометр. Регулировка тока необходима, так как при работе схемы, в отличие от обычного мостика, гальванометр находится под током. Сила этого тока не должна превышать допустимой величины для данного гальванометра.

Этот способ включения источника тока, питающего схему параллельно реостату, применен для деления напряжения батареи E .

В измерительных схемах со слабыми токами этот прием распространен как удобный метод регулировки подаваемых в схему напряжений. Его применение можно проследить на примере целого ряда электроизмерительных задач.

Если потенциалы ϕ_3 и ϕ_4 равны, по силе тока в диагонали равна нулю а потому замыкание и размыкание ключа K_1 не будет вызывать изменение силы тока в ветвях мостовой схемы, в том числе и в ветви гальванометра X . Другими словами, при равенстве V_3 и V_4 замыкание ключа K_1 не будет вызывать изменения в показаниях гальванометра. При равенстве V_3 и V_4 для мостика на постоянном токе имеет силу формула

$$X = R r_1 / r_2$$

Из которой непосредственно определяется измеряемое сопротивление X гальванометра, если R и отношение r_1/r_2 известны.

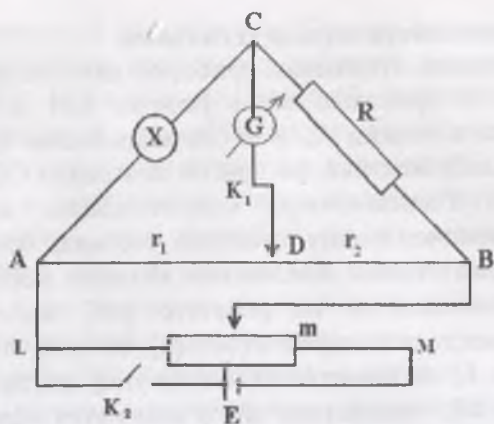


Рис.3.1. Принципиальная схема определения сопротивления гальванометра.

Таким образом, мостовая схема может быть использована для измерений сопротивления не только в том случае, когда гальванометр включен в диагональ мостовой схемы, но и тогда, когда он включен в одно из плеч этой схемы. В этом случае надо при измерениях добиваться постоянства показаний гальванометра при замыкании ключа в диагонали схемы. Такой прием существенен именно для измерения сопротивления гальванометра, так как он не требует включения второго прибора в диагональ схемы для использования схемы в обычном порядке; измерения возможны только с одним изучаемым гальванометром.

Порядок выполнения работы

1. Соединяют приборы по схеме рис.3.1 и включают в магазине приблизительно половину его максимального сопротивления. Движок m делителя напряжения ставят близко к точке L , а движок D на середину реохорда.

2. Замыкают ключ K_2 и передвигают контакт m до тех пор, пока стрелка гальванометра не отклонится на половину шкалы.

3. Замыкая ключ K_1 , замечают в каком направлении изменяется отклонение гальванометра и в зависимости от этого направления увеличивают или уменьшают включенное в магазин сопротивление R . Постепенно подыскивают такое сопротивление R , чтобы при замыкании ключа K_1 , величина отклонения гальванометра совершенно не менялась.

Если сопротивления в магазине R могут изменяться лишь слишком крупными скачками, то в этом случае окончательную установку на постоянство отклонений гальванометра производят, передвигая в ту или другую сторону подвижный контакт D . В последнем случае имеем:

$$X/R = l_1/l_2$$

где, l_1 и l_2 – длины плеч реохорда. Если изучаемый гальванометр имеет вращающуюся рамку с двумя обмотками, но необходимо определить сопротивление r_1 и r_2 каждой катушки.

Контрольные вопросы

1. Назначение гальванометра.
2. Устройство гальванометра.
3. Начертите мостовую схему.
4. Строение и принцип работы электромагнитных измерительных приборов?
5. Определение цена делений гальванометра?
6. Строение и принцип работы электродинамических измерительных приборов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗИСТОРА ОММЕТРОМ

Цель работы: Ознакомление с принципом работы и устройством омметров. Выработка навыков проведения измерений.

Задание: Измерить силу тока, напряжение и сопротивление, соблюдая технику безопасности.

Приборы и оборудование: омметр, резисторы постоянного и переменного сопротивления с различными значениями.

Теоретическая часть

Резисторы являются наиболее распространенными элементами радиоэлектронной аппаратуры и применяют для регулирования тока в электрических цепях. Сопротивление резистора - его основная характеристика. Основной единицей электрического сопротивления является ом (Ом). На практике используются также производные единицы - килоом (кОм), мегаом (МОм), гигаом (ГОм), которые связаны с основной единицей следующими соотношениями:

$$1 \text{ кОм} = 1000 \text{ Ом},$$

$$1 \text{ МОм} = 1000 \text{ кОм},$$

$$1 \text{ ГОм} = 1000 \text{ МОм}.$$



Рис.4.1. Общий вид резистора

Резисторы могут быть постоянными, то есть обладать неизменным сопротивлением, и переменными, то есть такими, сопротивление которых в процессе работы можно изменять в определенных пределах.

Резисторы выпускаются с определенными значениями сопротивлений в широком ассортименте от единиц Ом до десятков МОм.

Резисторы постоянного сопротивления

На принципиальных схемах рядом с условным обозначением резистора проставляют значение его сопротивления. Сопротивление менее килоома записывают как число без единиц измерения; сопротивления от одного килоома и выше, но менее одного мегаома, выражают в килоомах и рядом с цифрой ставят букву "к"; сопротивления от одного мегаома и выше записывают как число, добавляя рядом букву "М". Например, 10 М (10 мегом), 5,1 К (5,1 килоом); 470 (470 Ом); К68 (680 Ом).

Значение сопротивления обычно указано на поверхности резисторов. Для маркировки малогабаритных резисторов используют буквенно-цифровой код или цветовой код, состоящий из цветных полосок. При использовании буквенно-цифрового кода сопротивления резисторов обозначают цифрами с указанием единицы измерения. Принято обозначать буквами: R - ом, К - килоом, М-мегаом.

Отклонение номинала резисторов

Вследствие несовершенства технологии изготовления резисторов их сопротивление может отличаться от заданного (номинального) значения. Промышленностью выпускаются резисторы широкого применения с допустимым отклонением сопротивления в $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$. Поэтому наряду с номинальным значением на корпусе и в паспорте резисторов проставляются пределы допустимых отклонений. При этом запись вида $12\text{к} \pm 5\%$ означает, что номинальное значение сопротивления резистора составляет 12 кОм. Действительное же значение может отличаться от номинала, но не больше, чем $\pm 0,6\text{ кОм}$ (на $\pm 5\%$ от 12кОм).

При использовании цветовой маркировки отклонение номинала резистора обозначают отдельной полосой (см. таблицу внизу статьи). В измерительных радиоэлектронных устройствах используются резисторы повышенной точности (так называемые прецизионные резисторы).

Мощность резистора

Тепловая энергия, выделяемая в резисторе при протекании тока, рассеивается с его поверхности в окружающее пространство. Однако если мощность, выделяемая в резисторе, будет велика, то тепло с его поверхности не будет успевать отводиться. Резистор станет чрезмерно нагреваться и даже может сгореть. Поэтому каждый резистор имеет строго определенное максимальное допустимое значение мощности, которую он способен рассеивать.

Мощности резисторов обычно узнают по их размерам (чем больше размер резистора, тем больше его мощность) или по обозначению на корпусах. На принципиальных схемах обычно указывается мощность используемого резистора. Отсутствие указания мощности резистора означает, что на нем выделяется ничтожно малая мощность и можно применять любой резистор с данным сопротивлением.

Порядок выполнения работы

Метод первый

Определить сопротивление резистора по схеме. Если у вас есть схема электронного устройства и вы умеете ее читать, вам не составит труда определить на ней искомый резистор, возле которого будет нанесен его номинал.

Метод второй

При отсутствии схемы электронного устройства сопротивление резистора можно измерить специальным прибором. Для этого у вас должен быть Омметр (рис.4.2) или Мультиметр (рис.4.3). Вам нужно, с помощью щупов, подсоединить прибор к концам резистора и снять его показания. Мультиметр при этом надо перевести в режим Омметра. Если прибор стрелочный и стрелка отклоняется незначительно, или наоборот, зашкаливает, надо изменить диапазон измерения на шкале прибора.

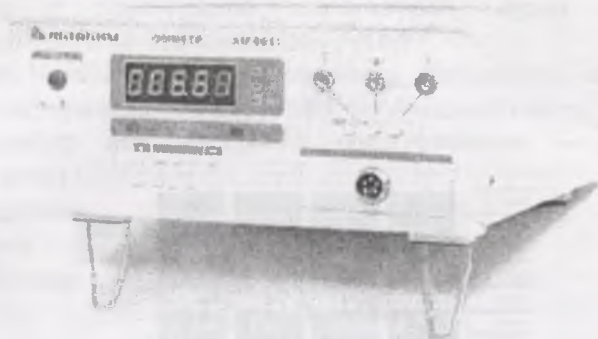


Рис.4.2. Устройство для измерения сопротивления – омметр.



Рис.4.3. Универсальный прибор для измерения электрических параметров – мультиметр.

Основным недостатком такого способа является то, что встроенный в схему резистор нужно будет выпаять для проведения измерения, иначе результаты замера будут недостоверными.

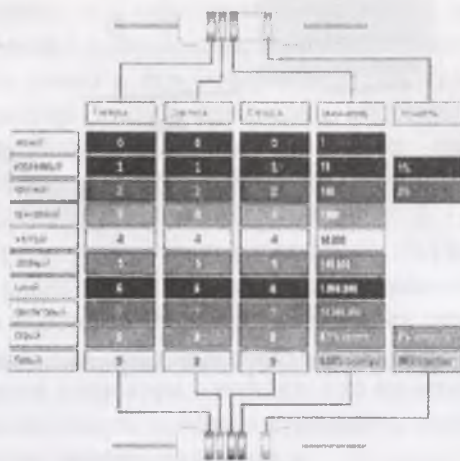


Рис.4.4. Маркировка резисторов.

Третий метод

Сопротивление резистора достаточно просто определяется по его маркировке. Для этого способа нужна будет хорошая лупа. На каждом резисторе присутствует заводская маркировка его параметров.

На резисторах старого образца она была буквенно-цифровой. Это было не очень удобно, так как часто резисторы впайвались в схему маркировкой вниз, что делало невозможным считывание их номиналов. Кроме того на резисторах малой мощности маркировка оказывалась настолько мелкой, что без лупы тут не обойтись. На современных резисторах наносится маркировка в виде разноцветных колец. Каждому кольцу соответствует цифра, или множитель. Поскольку разные производители в разное время использовали разные системы кодировки (четырёх и пятизначные), скажем только, что таблицы перевода комбинаций колец в цифровые значения можно найти в специальной литературе. Если вы постоянно

работаете с электронной аппаратурой, будет разумно распечатать их и всегда иметь под рукой.

Итак, чтобы иметь возможность определить сопротивление резистора в любой ситуации, необходимо иметь:

- прибор для измерения сопротивления — Омметр (Мультиметр)

- паяльник

- Лупу

- Таблицы кольцевой маркировки резисторов

Контрольные вопросы

1. Что такое резистор?
2. Методы определения сопротивления.
3. Применение резисторов.
4. Типы резисторов.
5. Чем отличается переменное сопротивление от постоянного?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Цель работы: Приобретение студентами навыков работы с полупроводниковыми термометрами.

Задаание: Изучение зависимости сопротивления полупроводников от температуры.

Приборы и оборудование: полупроводники различного типа, Специальный прибор для изучения зависимости сопротивления полупроводника от температуры.

Теоретическая часть

Полупроводник – материал, который по своей проводимости занимает промежуточное место между проводниками и диэлектриками. Он отличается от проводников сильной зависимостью удельной проводимости от концентрации примесей, температуры и воздействия различных видов излучения (рис.5.1). Основным свойством полупроводника является увеличение электрической проводимости с ростом температуры.

Почему именно полупроводниковый диод, транзистор или тиристор? Потому, что основу этих радиокомпонентов составляют полупроводники – вещества, способные, как проводить электрический ток, так и препятствовать его прохождению. Это большая группа веществ, применяемых в радиотехнике (германий, кремний, селен, окись меди), но для изготовления полупроводниковых приборов используют в основном только кремний (Si) и германий (Ge).

Свойства полупроводников

Электропроводность проводников сильно зависит от окружающей температуры. При очень низкой температуре, близкой к абсолютному нулю (-273°C), полупроводники не проводят электрический ток, а с повышением температуры, их сопротивление току уменьшается. Если на полупроводник навести свет, то его электропроводность начинает увеличиваться. Используя это свойство полупроводников, были созданы фотоэлектрические приборы. Также полупроводники

способны преобразовывать энергию света в электрический ток, например, солнечные батареи. А при введении в полупроводники примесей определенных веществ, их электропроводность резко увеличивается.

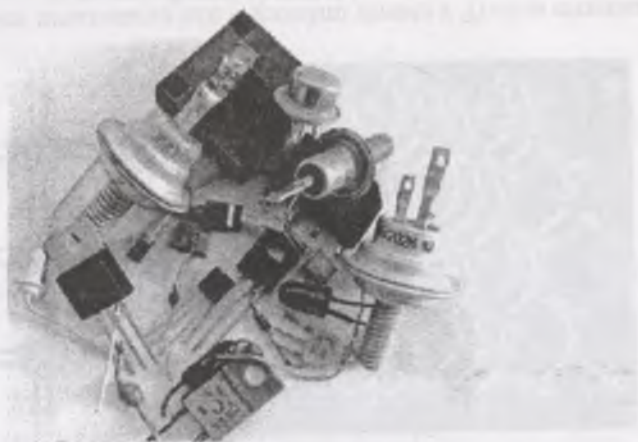


Рис.5.1. Общий вид полупроводниковых приборов

Строение атомов полупроводников

Германий и кремний являются основными материалами многих полупроводниковых приборов и имеют во внешних слоях своих оболочек по четыре валентных электрона.

Атом германия состоит из 32 электронов, а атом кремния из 14. Но только 28 электронов атома германия и 10 электронов атома кремния, находящиеся во внутренних слоях своих оболочек, прочно удерживаются ядрами и никогда не отрываются от них. Лишь только четыре валентных электрона атомов этих проводников могут стать свободными, да и то не всегда. А если атом полупроводника потеряет хотя бы один электрон, то он становится положительным ионом.

В полупроводнике атомы расположены в строгом порядке: каждый атом окружен четырьмя такими же атомами. Причем они расположены так близко друг к другу, что их валентные электроны образуют единые орбиты, проходящие вокруг

соседних атомов, тем самым связывая атомы в единое целое вещество.

Представим взаимосвязь атомов в кристалле полупроводника в виде плоской схемы. На рисунке 5.2. показаны, что красные шарики, условно, обозначают ядра атомов (положительные ионы), а синие шарики – это валентные электроны.

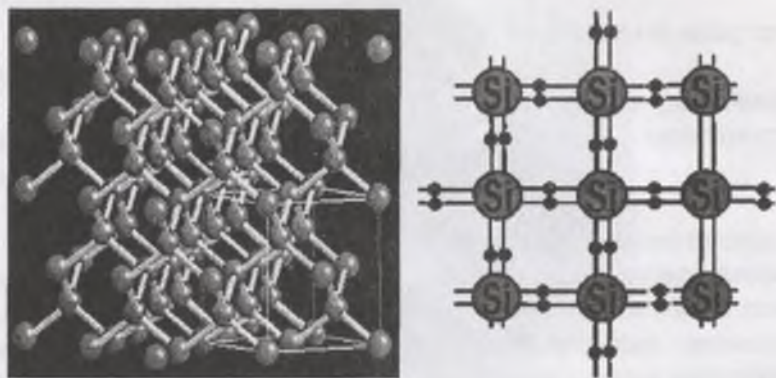


Рис. 5.2. Кристаллическая решетка в полупроводниках кремния.

Здесь видно, что вокруг каждого атома расположены четыре точно таких же атома, а каждый из этих четырех имеет связь еще с четырьмя другими атомами и т. д. Любой из атомов связан с каждым соседним двумя валентными электронами, причем один электрон свой, а другой заимствован у соседнего атома. Такая связь называется двухэлектронной или ковалентной.

В свою очередь, внешний слой электронной оболочки каждого атома содержит восемь электронов: четыре своих, и по одному, заимствованных от четырех соседних атомов. Здесь уже не различишь, какой из валентных электронов в атоме «свой», а какой «чужой», так как они сделались общими. При такой связи атомов во всей массе кристалла германия или кремния можно считать, что кристалл полупроводника представляет собой одну большую молекулу.

Электропроводность полупроводника

Рассмотрим упрощенный рисунок кристалла полупроводника, где атомы обозначаются красным шариком с плюсом, а межатомные связи показаны двумя линиями, символизирующими валентные электроны (рис.5.3).



Рис.5.3. Схема соединений атомов полупроводника.

При температуре, близкой к абсолютному нулю полупроводник не проводит ток, так как в нем нет свободных электронов. Но с повышением температуры связь валентных электронов с ядрами атомов ослабевает и некоторые из электронов, вследствие теплового движения, могут покидать свои атомы. Вырвавшийся из межатомной связи электрон становится «свободным», а там где он находился до этого, образуется пустое место, которое условно называют дыркой.

Чем выше температура полупроводника, тем больше в нем становится свободных электронов и дырок. В итоге получается, что образование «дырки» связано с уходом из оболочки атома валентного электрона, а сама дырка становится положительным электрическим зарядом равным отрицательному заряду электрона.

А теперь давайте рассмотрим рисунок, где схематично показано явление возникновения тока в полупроводнике.

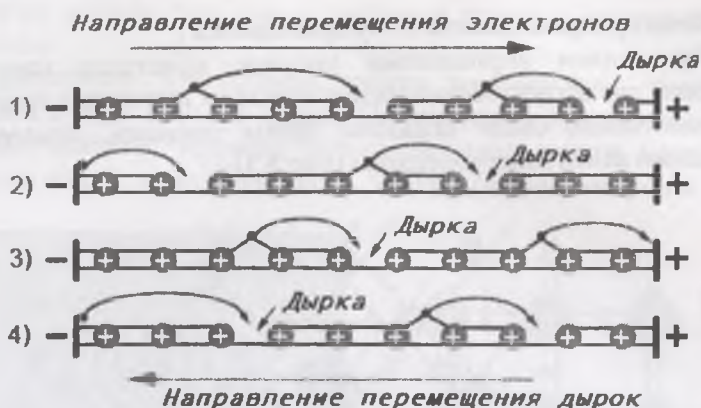


Рис.5.4. Направление перемещения электронов и дырок в полупроводниках.

Если приложить некоторое напряжение к полупроводнику, контакты «+» и «-», то в нем возникает ток.

Вследствие тепловых явлений, в кристалле полупроводника из межатомных связей начнет освобождаться некоторое количество электронов (рис.5.4, синие шарики со стрелками). Электроны, притягиваясь положительным полюсам источника напряжения, будут перемещаться в его сторону, оставляя после себя дырки, которые будут заполняться другими освобожденными электронами. То есть, под действием внешнего электрического поля носители заряда приобретают некоторую скорость направленного движения и тем самым создают электрический ток.

Например: освободившийся электрон, находящийся ближе всего к положительному полюсу источника напряжения притягивается этим полюсом. Разрывая межатомную связь и уходя из нее, электрон оставляет после себя дырку. Другой освободившийся электрон, который находится на некотором удалении от положительного полюса, также притягивается полюсом и движется в его сторону, но встретив на своем пути дырку, притягивается в нее ядром атома, восстанавливая межатомную связь.

Образовавшуюся новую дырку после второго электрона, заполняет третий освободившийся электрон, находящийся рядом с этой дыркой (рис.5.4.,1). В свою очередь, дырки, находящиеся ближе всего к отрицательному полюсу, заполняются другими освободившимися электронами (рис.5.4, 2). Таким образом, в полупроводнике возникает электрический ток.

Пока в полупроводнике действует электрическое поле, этот процесс непрерывен: нарушаются межатомные связи — возникают свободные электроны — образуются дырки. Дырки заполняются освободившимися электронами — восстанавливаются межатомные связи, при этом нарушаются другие межатомные связи, из которых уходят электроны и заполняют следующие дырки (рис.5.4., 2-4).

Из этого делаем вывод: электроны движутся от отрицательного полюса источника напряжения к положительному, а дырки перемещаются от положительного полюса к отрицательному.

Электронно-дырочная проводимость

В «чистом» кристалле полупроводника число высвободившихся в данный момент электронов равно числу образующихся при этом дырок, поэтому электропроводность такого полупроводника мала, так как он оказывает электрическому току большое сопротивление, и такую электропроводность называют собственной (рис.5.2).

Но если в полупроводник добавить в виде примеси некоторое количество атомов других элементов, то электропроводность его повысится в разы, и в зависимости от структуры атомов примесных элементов электропроводность полупроводника будет электронной или дырочной.

Электронная проводимость

Допустим, в кристалле полупроводника, в котором атомы имеют по четыре валентных электрона, мы заменили один атом атомом, у которого пять валентных электронов. Этот атом своими четырьмя электронами свяжется с четырьмя соседними атомами полупроводника, а пятый валентный электрон останется «лишним» — то есть свободным. И чем больше будет таких атомов в кристалле, тем больше окажется свободных

электронов, а значит, такой полупроводник по своим свойствам приблизится к металлу, и чтобы через него проходил электрический ток, в нем не обязательно должны разрушаться межатомные связи.

Полупроводники, обладающие такими свойствами, называют полупроводниками с проводимостью типа «n», или полупроводники n-типа. Здесь латинская буква n происходит от слова «negative» (негатив) — то есть «отрицательный». Отсюда следует, что в полупроводнике n-типа основными носителями заряда являются — электроны, а не основными — дырки.

Дырочная проводимость

Возьмем все тот же кристалл, но теперь заменим его атом атомом, в котором только три свободных электрона. Своими тремя электронами он свяжется только с тремя соседними атомами, а для связи с четвертым атомом у него не будет хватать одного электрона. В итоге образуется дырка. Естественно, она заполнится любым другим свободным электроном, находящимся поблизости, но, в любом случае, в кристалле такого полупроводника не будет хватать электронов для заполнения дырок. И чем больше будет таких атомов в кристалле, тем больше будет дырок. Чтобы в таком полупроводнике могли высвобождаться и передвигаться свободные электроны, обязательно должны разрушаться валентные связи между атомами. Но электронов все равно не будет хватать, так как число дырок всегда будет больше числа электронов в любой момент времени.

Такие полупроводники называют полупроводниками с дырочной проводимостью или проводниками p-типа, что в переводе от латинского «positive» означает «положительный». Таким образом, явление электрического тока в кристалле полупроводника p-типа сопровождается непрерывным возникновением и исчезновением положительных зарядов — дырок. А это значит, что в полупроводнике p-типа основными носителями заряда являются дырки, а не основными — электроны.

Описания лабораторной установки

Общий вид (рис.5.5) и принципиальная схема установки (рис.5.6) приведена на рисунках. Как видно из схемы, напряжения от сети поступает параллельно на термостат и AC/DC конвертор через предохранитель и тумблер «on/of». Термостат необходим для поддержки заданной температуры внутри камеры накаливания. Термодатчик термостата находится внутри камеры плотно с исследуемым полупроводниковым элементом (в камере установлен германиевый диод Д405). Камера нагревается симметрично установленными спиралями, и обеспечивает однородность температуры внутри камеры. Концы диода с соединительными проводами монтирован на измерительный прибор для измерения его сопротивление. Необходимая температура устанавливается путем нажатия кнопки «+» и «-» вверху и внизу механического индикатора термостата. Достигая на установленную температуры, термостат отключает цепь питания нагревателя. Термостат имеет гистерезис температуры примерно 3-4 градуса. Температура внутри камеры индицируется на цифровом табло термостата.

Питания для нагревателя обеспечивается с выхода конвертора. Конвертор вырабатывает постоянное напряжение +12В. Кроме того, с выхода конвертора напряжения снимается сигнал постоянного тока для передачи параметров прибора для питания регистратора и для регуляторов, которые создают сигнал постоянного тока для передачи показания приборов.



Рис.5.5. Общий вид лабораторной установки.

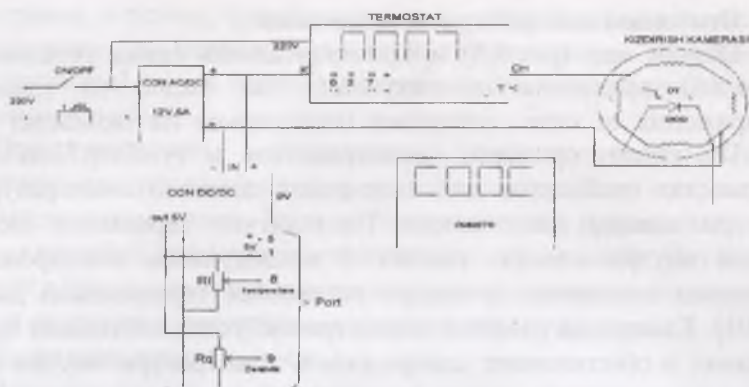


Рис.5.6. Принципиальная схема установки.

Лабораторная установка позволяет передавать накопленную информацию на базу данных компьютера. Для этого, после окончания измерения все данные вводятся на регистратору с помощью ручки «Т» температура и «R» сопротивление. После этого необходимо нажать кнопки на регистраторе и все данные передаются на компьютер.

Указания меры безопасности

1. По способу защиты человека от поражения электрическим током установка относится к классу III ГОСТ 12.2.007-85.
2. Запрещается снимать крышку стенда и блока питания при включенном положении устройства в сеть.
3. При работе установкой кабель, соединяющий стенд в электрическую сеть и нижнюю платформу со стендом должны быть жестко закреплены в местах соединения.
4. Установку обязательно заземлить.

Порядок выполнения работы

1. Лабораторный стенд работает от сети напряжение 220В. Для безопасности работ и согласно по технике безопасности стенд необходимо заземлить.
2. Предварительно теоретически подготовиться на выполняемую работу, нарисовать и изучить исследуемую схему, понять сущность, иметь общие понятия об изучаемом полупроводниковым элементом.

3. Установите температуры термостата ниже комнатного, примерно 20-25 градус, чтобы при включение установки не начал работать нагревательный элемент.

4. Включить питания установки тумблером «Вкл».

5. Запишите исходные показания приборов в таблицу 5.1.

Таблица 5.1.

Результаты измерений лабораторной работы

Температура, Т°С				
Удельное сопротивление, Р, Ом*м				

6. Установите температуры термостата 35, 45, 50, 55 и 60 градусов и снимите значение показания омметра.

7. Запишите все данные приборов и постройте график зависимости сопротивление полупроводникового элемента от температуры.

8. Результаты измерения заносите на регистратор с помощью регуляторов «Т» и «R».

9. С помощью регулятора «Т» устанавливается данные о показания термометра, а с помощью «R» устанавливается значения показания омметра.

10. После занесение данных, нажимается кнопка на регистраторе и данные отправляются на базу компьютера.

Контрольные вопросы

1. Что такое полупроводники?
2. Типы полупроводников.
3. Применение полупроводников.
4. Какие виды проводимости знаете в полупроводниках?
5. Что такое собственная проводимость?
6. Что такое примесная проводимость?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА, НАПРЯЖЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИМЕТРА (АВОМЕТРА)

Цель работы: Ознакомление с принципом работы и устройством мультиметров. Выработка навыков проведения измерений.

Задание: Измерить силу тока, напряжение и сопротивление, соблюдая технику безопасности.

Приборы и оборудование: резисторы постоянного и переменного сопротивления, полупроводники и транзисторы разного типа, АВОметр и Мультиметр для измерения сила тока, напряжений и сопротивления резисторов.

Теоретическая часть

АВО метр (ампервольтметр) или мультиметр является универсальным измерительным прибором который измеряют электрических параметров (напряжение, сила тока, сопротивление и др.) в различных диапазонах. Главным отличием цифрового мультиметра, от аналогового (стрелочного) является то, что результаты измерения отображаются на жидкокристаллической дисплее, тому же цифровые мультиметры обладают более высокой точностью и отличаются простотой использования, в отличии от стрелочных.

Внешний вид цифрового мультиметра DT-830 представлен на рисунке 6.1. Цифровой тестер типа DT830 (см. рис.6.1), как и аналоговый, имеет два щупа - черный и красный, и три гнезда для измерений. Черный вывод является общим (масса), и вставляется в гнездо помеченное как COM или просто "-", т.е. минус.

Красный называют потенциальным "+" выводом и применяют для измерений, вставляется в гнездо помеченное символами " $V\Omega mA$ ".

Пределы измерений мультиметра DT-830:

Постоянное напряжение - 200mV - 2000mV - 20V - 200V - 1000V

Переменное напряжение - 200В - 750В

Сопротивление - 200 - 2000 - 20К - 200К - 2000К

Постоянный ток - 200мкА - 2000мкА - 20мА - 200мА



Рис.6.1. Общий вид мультиметра.

Мультиметр DT83X имеет всего два предела измерения переменных напряжений 750 и 200, естественно, это в вольтах, хотя на приборах пишут только цифры. Таким образом, если возникла потребность померить напряжение в розетке, то надо выбрать предел 750, в остальных случаях 200. Тут следует обратить внимание на такую тонкость: переменное напряжение должно быть синусоидальной формы с частотой 50...60 Гц, только в этом случае точность измерения будет приемлемой.

Если измеряемое напряжение имеет прямоугольную или треугольную форму, а его частота намного выше, чем 50Гц, хотя бы 1000...10000 Гц, то показания на дисплее, конечно, появятся, но что они символизируют неизвестно. Здесь можно лишь с уверенностью сказать, что переменное напряжение есть, схема, вроде бы, работает.

Условные обозначения на лицевой панели мультиметра

Но, давайте, пока отвлечемся от процесса измерений и внимательно посмотрим на лицевую панель мультиметра. Здесь, кроме цифр, можно увидеть много различных символов, напоминающих друдлы (картинки – каракули, к которым надо придумать объяснение, подпись). На рисунке 6.1 показаны все друдлы, которые можно увидеть на мультиметрах, и их разгадки – объяснения.

Обозначения на лицевой панели мультиметра



- напряжение, опасное для жизни

V_{-}

- обозначение напряжения постоянного тока (вольты)

$V_{\sim}$

- обозначение напряжение переменного тока (вольты)

A

- амперы (определение силы тока)

μ

- микроампер (миллионная часть ампера)

m

-милливольт (одна тысячная вольт)

hFE

- коэффициент усиления транзистору по току



- «прозвон» на короткое замыкание



- «прозвон» диодов и транзисторов без их выпаивания

k

- килоом (тысяча ом)

Ω

- обозначение электрического сопротивления (в омах)

M

- мегаом (один миллион ом)

Эти обозначения следует выучить наизусть, как таблицу умножения, и никогда не забывать, поскольку они помогут не только правильно пользоваться мультиметром, получать правильные результаты измерений, но и уберегут прибор от выхода из строя при неправильном пользовании.

Несколько слов о подключении мультиметра к измеряемой цепи. Все мультиметры комплектуются измерительными щупами, причем, у всех моделей приборов они одни и те же: на одном конце однополюсная вилка для подключения к мультиметру, на другом измерительный щуп, не очень, правда, удобной конструкции. Щупы, как правило, красного и черного цвета, что позволяет соблюдать полярность подключения. Лучше всего это сделать, как показано на рисунке 6.2.

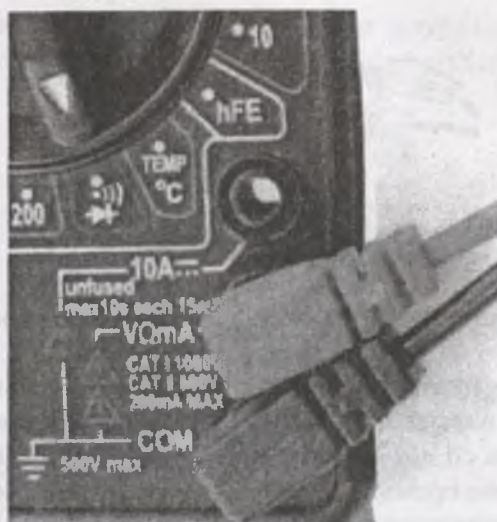


Рис.6.2. Подключение измерительных щупов к мультиметру.

Но, если разобраться, то соблюдение полярности не особо и нужно. При измерении переменного напряжения полярность подключения прибора роли вообще не играет, результат будет одним и тем же. При измерении постоянных напряжений, если полярность перепутана, на дисплее перед значением напряжения или тока просто появится знак «-», величина же напряжения будет правильной.

И все же, измерительные щупы лучше подключить так, как показано на рисунке 6.2: черный щуп в гнездо с надписью «COM» (общий), а красный в гнездо расположенное выше, что позволит проводить все измерения, кроме измерения токов на пределе 10А, что приходится делать не слишком часто.

Особенно следует соблюдать полярность подключения щупов в режиме «прозвонки» полупроводников: на красном щупе будет присутствовать плюсовое напряжение омметра, что позволит правильно подключить исследуемую деталь. Подробнее о проверке полупроводников будет рассказано чуть ниже. Подключение щупов для проверки диода показано на рисунке 6.3.



Рис.6.3. На красном щупе «плюс» омметра.

Провода в измерительных щупах крепятся только пайкой, а на выходе из пластмассовых наконечников свободно болтаются и мотаются, а со временем отматываются совсем и вылетают. Чтобы этого не произошло, следует укрепить провода в щупах с помощью термоусадочной трубки или изоленты.

Порядок выполнения работы **Измерение сила тока**

Для измерения «больших» токов придется переключить красный щуп в гнездо с надписью 10А. Около этого гнезда можно увидеть предупредительную надпись, гласящую о том, что этот предел не защищен предохранителем, и измерения можно производить всего 10 секунд, после чего делать перерыв на 15 минут. Почему? Чтобы правильно ответить на этот вопрос не поленимся открыть прибор, что приходится делать, просто для замены батарейки. На рисунке 6.4 показан фрагмент платы мультиметра.

На рисунке показан небольшой фрагмент печатной платы мультиметра, а именно три входных гнезда. Верхнее, как раз для измерения тока 10А, нижнее - общий, среднее гнездо для всех остальных измерений. Толстая проволоочная скоба слева, это как раз и есть измерительный шунт предела 10А. Диаметр проволоки не менее 1,5 мм, что позволяет надеяться, что она выдержит ток 10 и более ампер достаточно долго, а не 10

секунд, о которых предупреждается на корпусе прибора. Тогда еще одно почему?



Рис.6.4. Входные гнезда мультиметра.

Дело в том, что штатные измерительные щупы внутри себя содержат очень даже тонкий провод, вот к нему-то и относится предупредительная надпись. Автору статьи довелось быть очевидцем, но не исполнителем, как мультиметр, включенный на десятиамперный диапазон, воткнули в розетку! Раздался средней силы взрыв, прибор уже был оплакан, и почти похоронен.

Но после детальной проверки оказалось, что бабахнули только щупы, а сам прибор остался цел и невредим: тонюсенький проводок внутри измерительных щупов сработал как предохранитель. Поэтому, если потребуются длительное наблюдение за токами в пределах 5...10А, достаточно просто штатные щупы заменить на более «крепкие».

Мультиметры бюджетных серий DT83X могут измерять только постоянные токи, режима измерения переменных токов в них просто нет. Да, как-то не всегда он нужен, хотя более дорогие модели переменный ток, конечно же, меряют. Наибольший предел измерения тока ни много ни мало 20А! А комплектуются эти приборы теми же измерительными щупами.

На рисунке 6.4 виден плавкий предохранитель, который защищает мультиметр на пределах измерения токов 2000 μ , 20m, 200m. Так что не надо удивляться, если на этих пределах мультиметр не хочет мерить ток, а сразу снимать заднюю крышку и смотреть предохранитель.

В правом верхнем углу рисунка находится четверть какого-то светлого кружка. Это часть пьезоизлучателя, того самого, который пищит в режиме прозвонки. Именно от этого «звонка» и говорят, что надо «прозвонить» схему.

Что значит «прозвонить»

Те, кто пользовался стрелочными тестерами, знают, что прежде, чем приступить к измерению сопротивлений, надо установить стрелку на ноль шкалы. Для этого просто соединить между собой измерительные щупы и покрутить соответствующую ручку. Хотя у цифровых мультиметров ноль выставлять не требуется, но соединять щупы все равно приходится: это еще одно хорошее правило пользования прибором. Тем самым проверяется в первую очередь целостность щупов (штатные щупы обрываются очень часто), а заодно и ноль шкалы. Если мультиметр находится в режиме «прозвонки» (как показано на рисунке 6.5), раздается звуковой сигнал.



Рис.6.5. Мультиметр в режиме «прозвонки».

Звуковой сигнал раздается лишь в том случае, если сопротивление между измерительными щупами не превышает 47...50 Ω . Это свойство используется при проверке целостности проводников и дорожек на печатных платах. С режимом прозвонки проводов совмещен и режим проверки полупро-

водников. Если входные щупы не замкнуты, или в исследуемой схеме обрыв, или проверяемый диод включен в обратной полярности, на дисплее мультиметра высвечивается 1, как показано на рисунке 6.6.



Рис.6.6. Мультиметр показывает обрыв.

То же самое можно увидеть на дисплее, если попытаться сопротивление 200 КОм измерить на пределе 200 Ом. Другими словами измеряемое сопротивление выше, чем предел измерения, прибор «думает», что цепь разорвана. Такая же картина будет, если напряжение 24В измерять на диапазоне 20, - прибор зашкалил. Только не надо на диапазон 20 подавать напряжение вольт 100...200, поскольку прибор может не выдержать такого издевательства и просто сгорит.

Измерение сопротивлений

Пока не ушли далеко от рисунка 6.5, рассмотрим, как измерить сопротивление резисторов или высокоомных проводников. Для переключения в режим измерения сопротивлений достаточно повернуть переключатель режимов работы по часовой стрелке, где имеется несколько пределов.

200Ω

2000Ω

20k

200k

2000k

Первые два предела содержат символ Ω , что говорит о том, что цифры на дисплее покажут величину сопротивления в Омах. На пределе 200Ω можно измерить сопротивление резисторов величиной до 200Ω , предел 2000Ω предназначен для измерения сопротивлений до 2КОм . Если на измеряемом резисторе маркировка $1\text{K}5$, то прибор покажет $1350\dots 1650\Omega$, указывается допуск резистора $\pm 10\%$. Об этом надо помнить при измерении сопротивлений. Остальные три предела содержат букву k (хотя должно быть K), и результат измерений получится в килоомах. Предел $2000k$ позволяет измерить сопротивления до $2\text{М}\Omega$, результат измерения показывается в килоомах. При измерении резистора с номиналом $1\text{М}\Omega$ на дисплее можно увидеть результат $995\dots 1000$, опять же указывается допуск. Резистор с номиналом $560K$ покажет 560 . Если же на этом пределе измерять резистор $5K6$, то на индикаторе будет только 5 , - дробная часть числа просто отбрасывается. Более точных результатов в этом случае можно достичь, если проводить измерения на пределе $20K$: на дисплее индицируется $5,61$. Поэтому всегда надо выбирать предел, обеспечивающий более точный результат. Если при измерении токов и напряжений измерения рекомендуется начинать с максимального предела из опасений сжечь прибор, то при измерении сопротивлений следует действовать как раз наоборот, начиная измерения с самого меньшего предела. Почему? Все достаточно просто. Предположим, что установлен предел измерения сопротивлений 200Ω , а сопротивление измеряемого резистора (будем считать, что оно нам неизвестно) 51КОм . Совершенно очевидно, что пределы 200Ω , 2000Ω , $20k$ маловаты для измерения такого сопротивления, и на дисплее покажется единица (рис.6.6). И только, когда произойдет переключение на предел $200k$, получится достоверный результат. Дальнейшее переключение пределов уже не потребуется.

Проверка диодов и транзисторов

Проводится в режиме «прозвонки», показано на рисунке 6.5. как для примера на рисунке 6.7 показано подключение низкочастотного выпрямительного диода $1N4007$ (прямой ток $1A$, обратное напряжение $1000V$).

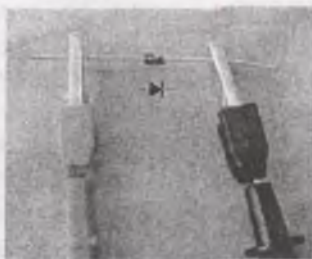


Рис.6.7. Проверка выпрямительного диода в прямом направлении

Широкое светлое кольцо на правом конце диода, как правило, символизирует вывод катода, таким образом, щупы подключены в проводящем направлении. При этом на дисплее высвечивается прямое падение напряжения на р-п переходе диода, что соответствует полупроводникам на основе кремния. Результат показан на рисунке 6.8.



Рис.6.8. Прозвонка диода в прямом направлении.

Если таким же образом прозвонить диод с барьером Шоттки, то результат получится несколько иной.



Рис.6.9. Прямое падение напряжения на диоде с барьером Шоттки.

Если щупы поменять местами, то диод окажется включенным в обратном направлении, на дисплее появится единица, как на рисунке 6.6. Такие результаты получаются, если диод исправен. Но возможны и еще два варианта. Если при подключении щупов прибор запищит, раздастся звуковой сигнал, то диод просто замкнут накоротко, или пробит. При переключении щупов в обратную полярность, звуковой сигнал, скорее всего, не прекратится. Другой вариант, - независимо от направления включения щупов на дисплее высвечивается единица. В этом случае говорят, что диод находится в обрыве, или попросту сгорел, что называется, до дыр. В точности также при прозвонке мультиметром ведут себя р-п переходы транзисторов. Проверить их ничуть не сложнее, чем отдельный диод.

Как проверить биполярный транзистор

При прозвонке транзистора мультиметром транзистор следует рассматривать не как усилительный прибор со всеми присущими ему свойствами, а как последовательно соединенные, к тому же встречно диоды, как показано на рисунке 6.10.

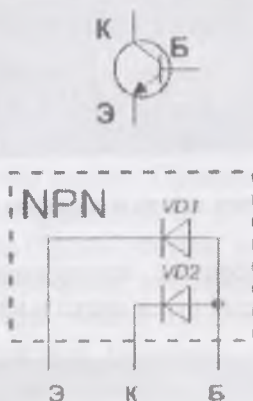


Рис.6.10. Транзистор, как последовательно соединенные диоды.
Схема для прозвонки.

Теперь к выводу базы надо подключить красный (плюсовой) вывод омметра, а черным коснуться по очереди

выводов эмиттера и коллектора, показания будут такими же, как при прозвонке диода в прямом направлении. Процесс измерения и результат показаны на рисунках 6.11 и 6.12.



Рис.6.11. Зажимы «крокодил» всегда помогут.



Рис. 6.12. Падение напряжения.

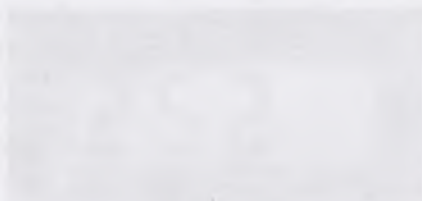
На дисплее показывается падение напряжения на р-п переходах транзистора при прямом включении омметра. Если вместо красного щупа к базе подключить черный, то переходы сместятся в обратном направлении, закроются, и на дисплее появится единица, как будто при обрыве. Именно так ведет себя при проверке исправный транзистор. Но может случиться, что при прозвонке р-п перехода раздастся звуковой сигнал, или высветится единица при любом направлении включения измерительных щупов. Это говорит о том, что транзистор неисправен.

Даже при исправном поведении коллекторного и эмиттерного переходов судить об исправности транзистора еще

рано. Следует не забыть прозвонить в обоих направлениях выводы К-Э. В любом направлении на дисплее должна показаться все та же единица. Но иногда случается, что даже при исправных переходах Б-Э, Б-К выводы К-Э замкнуты накоротко и слышится звуковой сигнал.

Контрольные вопросы

1. Что такое мультиметр (АВОметр)?
2. Практическое значение мультиметров.
3. Измерение силы тока.
4. Измерения напряжения.
5. Меры безопасности при использовании мультиметра.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

ПОВЕРКА ОДНОФАЗНОГО ИНДУКЦИОННОГО СЧЕТЧИКА

Цель работы: изучить устройство и принцип действия однофазного счетчика. Научится правильно включать и производить поверку счетчика электрической энергии.

Задание: Записать паспортные данные приборов в табл. 7.1, ознакомиться с приборами схемы, и изучить конструкцию и принцип действия счетчика.

Приборы и оборудования:

Блок питания БП-48822-2, счетчик однофазный вольтметр 0-250 В, амперметр 0-50 мА амперметр 0-1А, плата №3 ваттметр 0,6 квт, катушки индуктивности.

Теоретическая часть

В быту одним из самых широко распространенных приборов учета является однофазный индукционный счетчик. Индукционная система основана на механическом взаимодействии между переменным магнитным потоком, созданным током в намагничивающей обмотке, и индуцированными токами, протекающими в проводящих элементах (алюминиевый диск), помещенных в поле этого потока.

Принцип действия и конструкция

Принцип действия электромеханического счетчика заключается в том, что на подвижную часть действуют два основных момента: вращающий и тормозной (рис.7.1). Вращающий момент пропорционален учитываемой величине, а тормозной - скорости вращения подвижной части.

Основными элементами однофазного индукционного счетчика являются: катушка напряжения расположенная на магнитопроводе 1, катушка токовая на магнитопроводе 4, вращающийся алюминиевый диск 5, передаточный механизм счетного устройства 2, постоянный магнит 3.

Токовая катушка включается в сеть последовательно, поэтому ее называют последовательной цепью. Катушка вы-

полнена из провода достаточно большого сечения, способного выдержать ток нагрузки.

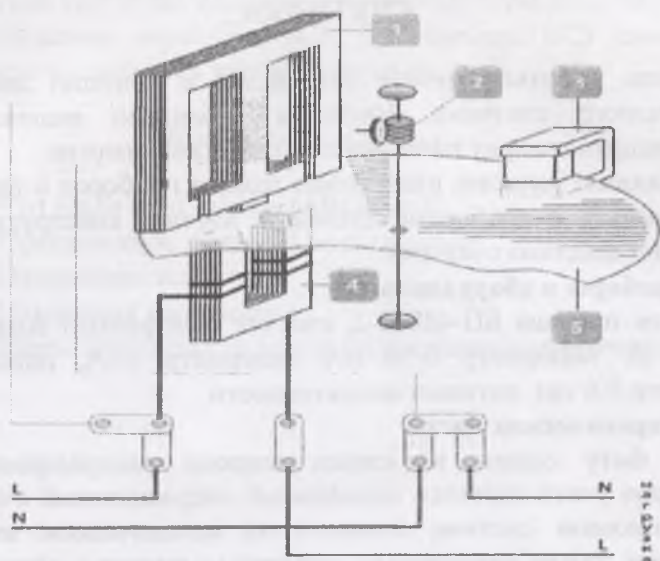


Рис.7.1. Схема внутреннего строения электросчетчика.
(объяснение в тексте)

Количество витков токовой катушки относительно невелико и находится в пределах от 14 до 30. Располагаются витки в равном количестве на обоих стержнях U-образного магнитопровода, выполненного из электротехнической стали. Сердечник служит для концентрации определенным образом той части магнитного потока, которая пересекает диск счетчика, и создает вращающий момент. Наличие сердечника также уменьшает магнитное сопротивление создаваемому обмоткой магнитному потоку. Обмотка напряжения подключается на фазное напряжение сети и постоянно находится в работе, параллельно с потребителем, поэтому ее называют параллельной цепью. Катушка напряжения служит для создания магнитного потока, пропорционального напряжению сети.

Конструктивно она отличается от токовой, большим количеством витков, порядка 8-12 тыс., и малым сечением проводника 0,1-0,15 мм². Большое количество витков создает значительное индуктивное сопротивление по сравнению с активным сопротивлением обмотки, что играет важную роль при реализации правила 90°-го сдвига и позволяет снизить собственное потребление энергии счетчиком, определяемой по формуле:

$$P_u = UI \cos \varphi;$$

где P_u тем меньше, чем больше угол φ между напряжением и током в параллельной обмотке. В идеальном случае активным сопротивлением можно пренебречь, тогда ток отстает по фазе от напряжения на 90° и $\cos \varphi \rightarrow 0$.

Магнитные потоки катушек тока и напряжения, пересекающие диск (рабочие потоки), наводят в диске токи трансформации, которые создают вращающий момент, при взаимодействии с потоками их создающими определяемый по формуле:

$$M_{\varphi} = c \Phi_a \Phi_n \sin \psi;$$

c – конструктивный коэффициент;

Φ_a – поток тока создаваемый катушкой;

Φ_n – поток напряжения создаваемый катушкой;

ψ – угол сдвига фаз между потоками создаваемыми катушкой тока и напряжения.

Для создания противодействующего момента, пропорционально скорости вращения диска, применяются постоянные тормозные магниты, магнитный поток которых пересекает вращающийся диск из электропроводящего материала. Токи резания, возникающие в этом диске, пропорциональны скорости его вращения, и следовательно, противодействующий момент, образующийся в результате взаимодействия потока магнита с токами в диске, также пропорционален скорости вращения.

При пересечении диском потока Φ_m , создаваемого тормозным магнитом, в нем наводится ЭДС резания, направленная от центра диска к внешней окружности. ЭДС резания определяется по формуле:

$$E_{\text{Т}} = c_n \Phi_{\text{Т}}$$

c – постоянный коэффициент;

n – скорость вращения диска.

Сила F_m взаимодействия потока тормозного магнита с токами в диске прямопропорциональна ЭДС резания и направлена на торможение диска. В зависимости от расстояния между тормозным магнитом и центром диска, зависит величина тормозного момента, определяемая как произведение плеча на значение силы:

$$M_T = hF = k\Phi_T^2 n$$

где h – плечо силы F_T , зависит от расположения магнита;

$$F = cI\Phi m^2 n$$

k – конструктивный коэффициент счетчика.

Это значит, что изменяя расположение магнита можно отрегулировать скорость вращения диска, тем самым откалибровать вращение диска в соответствии с передаточным числом.

Одним из важных условий правильной работы счетчика является правило 90 градусного сдвига. Заключается оно в выражении:

$$\sin\psi = \cos\varphi$$

φ – угол сдвига фаз между током и напряжением сети;

ψ – угол сдвига фаз между потоками создаваемыми катушкой тока и напряжения.

Иначе это условие можно записать так:

$$\psi = 90^\circ - \varphi;$$

При конструировании счетчика элементы его конструкции выбираются таким образом, чтобы соблюсти правило 90 градусного сдвига. Однако вследствие разброса характеристик электротехнических материалов, из которых изготавливают детали, точного соблюдения условия 90°-го сдвига не выполняется. Поэтому для точной подгонки в счетчиках применяют устройства регулирования. Обычно такие устройства представляются собой короткозамкнутые витки из меди или алюминия или обмотку из нескольких витков медного провода, замкнутого на регулируемое сопротивление или медные пластинки на пути магнитного потока.

В современной электроэнергетике вопрос учета электроэнергии является одним из самых важных, так как приборы учета позволяют не только производить точный взаиморасчет между поставщиком и потребителем электроэнергии, но и спланировать работу электростанций и энергосистемы в целом. Поэтому, устаревшие счетчики с индукционной системой, не удовлетворяющие условиям класса точности приборов коммерческого учета, подлежат замене на электронные.

Конструкция приборов учета с индукционной системой имеет ряд конструктивных недостатков, влияющих на погрешность при учете. К таким недостаткам можно отнести погрешность от трения, от нелинейной зависимости тока от потока последовательной цепи, от изменения угла между током и рабочим потоком последовательной цепи, от самоторможения и смещения диска.

Для счетчиков переменного тока используются индукционные измерительные механизмы. Отсчет энергии в таких счетчиках производится по показаниям механизма — счетчика оборотов

$$W_K = C_0 \cdot N.$$

Единице электрической энергии 1 кВт×ч, регистрируемой счетным механизмом, соответствует определенное число оборотов диска счетчика. Это соотношение называется передаточным числом A и указывается на счетчике — 1 кВт×ч = N_0 оборотов диска.

Величина, обратная передаточному числу, т. е. энергия, регистрируемая счетчиком за 1 оборот, называется номинальной постоянной счетчика

$$C_0 = \frac{3600 \cdot 1000}{N_0}, \text{ Вт} \times \text{с/об.}$$

Действительной постоянной счетчика понимается количество энергии, действительно израсходованной в цепи за время одного оборота диска счетчика. Эта энергия измеряется образцовыми приборами, например, ваттметром и секундомером. Действительная постоянная счетчика, в отличие от номинальной, зависит от режима работы счетчика, а также от

внешних условий. Зная значения постоянных C_0 и C , можно определить относительную погрешность счётчика

$$\delta = \frac{W_x - W}{W} 100\% = \frac{C_0 - C}{C} 100\% \quad (8.1)$$

где W_x — энергия, измеренная счётчиком; W — действительное значение энергии, израсходованной в цепи.

Поверку счётчиков осуществляют, согласно требованиям ГОСТ 14767-89. Перед определением погрешностей (в целях прогрева измерительного механизма) счётчик должен находиться в течение 15 минут под номинальным напряжением и номинальным током. Счётчик активной энергии при этом должен работать при $\cos j = 1$, а счётчик реактивной энергии — при $\sin j = 1$. При этом записывают промежуток времени, в течение которого счётчик прогревался, и показания счётного механизма до и после прогрева. Эти данные предназначаются для контроля правильности работы счётного механизма: произведение средней мощности нагрузки на время работы счётчика должно равняться разности показаний счётного механизма на один знак низшего разряда. Погрешность счётчика определяется

$$C_\epsilon = \frac{W_c - P \cdot t}{P \cdot t} 100\% \quad (8.2)$$

У каждого счётчика определяют отсутствие самохода и порог чувствительности.

Отсутствие самохода у счётчиков переменного тока проверяют при напряжении равном 110 % от номинального значения. При этом диск счётчика должен сделать не более одного полного оборота при отсутствии тока в цепи последовательной обмотки. Время определения отсутствия самохода должно быть не менее 10 минут.

Порог чувствительности определяют при номинальном напряжении. Под порогом чувствительности счётчика понимают минимальный ток в процентах от номинального, при котором диск при номинальном значении напряжения, номинальной частоте и $\cos j = 1$ начинает безостановочно вращаться.

Порядок выполнения работы

1. Записать паспортные данные приборов в таблице 7.1.

2. Ознакомиться и собрать схему рис.7.2 посредством наружного осмотра установить отсутствие механических неисправностей счетчика включить блок питания БП-4822-2.

Таблица 7.1

Данные испытуемого измерительного вольтметра

№	Наименование	Тип	Система измерительного прибора	Предел измерения	Цена деления	Класс точности	Заводской номер
Образцовый прибор							
Испытуемый прибор							

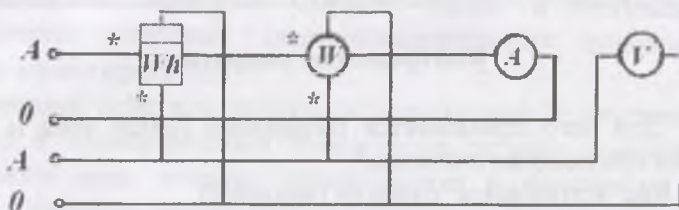


Рис. 7.2. Схема поверки однофазного счётчика активной энергии

3. Установив заданную нагрузку, отсчитать по секундомеру время t (не менее 50–60 с), в течение которого диск сделает целое число оборотов, и произвести запись показаний ваттметра. Измерение времени при одной и той же нагрузке и при одном и том же числе оборотов N произвести не менее 2

раз. За действительное значение времени принять среднее арифметическое.

4. Результаты поверки счётчика представить в виде табл. 7.2
Поверку произвести дважды: при $\cos \varphi = 1$ и $\cos \varphi = 0,5$.

5. Сделать выводы по результатам поверки.

6. Построить нагрузочную кривую счётчика. Объяснить характер её изменения.

Таблица 7.2

Результаты поверки счётчика

Поверка счётного механизма				Поверка счётчика								
Р, Вт	Показания счётчика		Т, мин	Нагрузка		С ₀ , Вт×с/об	Р, Вт	N, об	t, с	W, Вт×с	С, Вт×с/об	d, %
	Пуск, кВт×ч	Останов, кВт×ч		%	А							
			150									
			100									
			50									
			10									

Контрольные вопросы

1. Для чего применяется разделение цепей тока и напряжения при поверке счётчика?

2. Как устраняется самоход счётчика?

3. Чему равен вращающий момент счётного механизма?

4. Как осуществляется регулировка угла сдвига фаз между магнитными потоками в счётчике?

5. Основные узлы и принцип действия индукционного счётчика?

6. В чем отличие методики поверки счётчиков от методики поверки показывающих приборов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

ИЗУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ И АМПЕРМЕТРОВ

Цель работы: Ознакомление с цифровыми вольтметрами и амперметрами и принципами их устройства.

Задание: Проведение измерений с помощью цифровых вольтметров и амперметров различного типа.

Теоретическая часть

Цифровые электроизмерительные приборы благодаря своим свойствам получили широкое распространение в электронной аппаратуре. Сферы применения цифровых измерителей крайне разнообразны. Их применяют для измерения силы тока, напряжения постоянного и переменного тока, частоты переменного тока, мощности и электроэнергии. Соответственно в качестве измерителей применяются амперметры, вольтметры, частотомеры и ваттметры. Различаются они по габаритам, способу исполнения, пределам измерения и классу точности. Немаловажное внимание уделяют также и безопасности применения цифровых электроизмерительных приборов и защите их от перегрузок.

Принцип действия цифровых вольтметров и амперметров состоит в преобразовании аналогового сигнала в импульсы цифрового кода, которые преобразуются в десятичный код, отображаемый на табло. Для преобразования аналогового сигнала используют аналого-цифровой преобразователь, представляющий собой сложную электронную схему, собранную на цифровых микросхемах.



Рис. 8.1. Цифровой вольтметр универсального типа.

Цифровой вольтметр, амперметр и другие измерители обладают рядом достоинств, благодаря которым они со временем вытеснили стрелочные измерительные приборы (рис.8.1 и 8.2). К таким достоинствам относится их компактность, малая масса и отсутствие механических движущихся деталей, что позволяет применять цифровые приборы для измерения электрических величин в условиях механической тряски и сильной вибрации. Так же электронные приборы оказываются малочувствительны к небольшим ударам, в то время как стрелочные приборы необходимо оберегать от механических воздействий. Например, цифровой частотомер, измеряющий частоту колебаний механической системы, может располагаться в непосредственной близости от механизмов.

Расположение цифровых приборов может быть осуществлено в зависимости от конкретных условий применения и работа приборов не зависит от их ориентации. Например, цифровой вольтметр может располагаться как на горизонтальном или вертикальном измерительном щите, так и на щите измерителей, расположенном под любым углом, позволяющим легко и быстро считывать показания с цифровой шкалы. Показания приборов так же легко передавать в цифровом виде на устройство считывания и записи, что позволяет отслеживать изменения величин в автоматическом режиме без присутствия оператора.



Рис. 8.2. Цифровой амперметр универсального типа.

Очень существенное свойство цифровых измерителей состоит в их точности. Погрешность измерений может составлять десятые, и даже сотые доли процента, в то время как у стрелочных приборов максимальная относительная погрешность даже у высокоточных аппаратов редко достигает менее одного процента.

Неоспоримым преимуществом, которым обладает цифровой амперметр и вольтметр, является возможность работы аппаратов в широком диапазоне влажности, атмосферного давления и температур. Это позволяет применять цифровые устройства для измерения на открытом воздухе, в подвальных помещениях и в других сложных атмосферных условиях.

Применение шунтов, дополнительных сопротивлений позволяет существенно увеличить диапазон измеряемых электрических величин. Цифровые приборы позволяют измерять крайне малые токи от нескольких мкА и большие токи потребления мощных установок вплоть до нескольких десятков кА.

Несмотря на эти достоинства цифровой частотомер, амперметр и вольтметр имеют и недостатки. В случае постоянного и быстрого изменения измеряемых параметров по абсолютной величине считать показания с цифрового прибора оказывается невозможным, в этом случае для измерений

применяют стрелочные приборы, по шкале которых отследить пределы колебаний величины оказывается проще.

Кроме того цифровой вольтметр и другой прибор имеет сложную электронную схему и сложен как в ремонте, так и в настройках. Следовательно, самостоятельный ремонт и настройка цифровых измерителей тока крайне нежелательны и требуется обращение в специализированные мастерские.

Несмотря на эти качества приборов, они получили распространение на станциях техобслуживания, электростанциях как стационарных, так и передвижных, в измерительных лабораториях, мастерских по ремонту цифровой аппаратуры.

Поверка электронных аналоговых и цифровых вольтметров и амперметров

Метрологические характеристики контролируемые при поверке.

При поверке вольтметров и амперметров определяют следующие метрологические характеристики:

диапазон и основную погрешность измерения постоянного напряжения или тока (для вольтметров или амперметров постоянного тока);

диапазон и основную погрешность в нормальной и расширенной областях частот при измерении переменного напряжения или тока (для вольтметров или амперметров переменного тока);

основную погрешность в нормальных и в рабочих областях временных параметров импульсов (для импульсных вольтметров).

Методы, схемы и средства поверки

Предпочтительным с точки зрения производительности измерений является метод прямых измерений поверяемым электронным вольтметром значений напряжения или тока (постоян-

ного или переменного), воспроизводимых эталонной поверочной установкой или калибратором напряжения и (или) тока.

Схема соединений приборов при использовании этого метода представлена на рисунке 8.3.

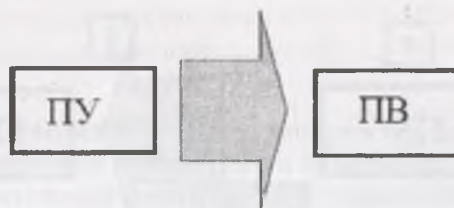


Рис.8.3. – Структурная схема поверки вольтметров методом прямых измерений:

ПУ – поверочная установка; ПВ – поверяемый вольтметр

При отсутствии поверочных установок соответствующего диапазона частот, форм сигнала и (или) уровней напряжения, а также при необходимости получения более высокой точности поверки, рекомендуется использовать метод непосредственного сличения показаний эталонного и поверяемого вольтметров, подключенных к источнику измеряемого напряжения параллельно или через эталонный делитель напряжения, как показано на рисунках 8.4 и 8.5.

Схема соединения средств измерений при методе непосредственного сличения для поверки высокочастотного электронного вольтметра приведена на рисунке 8.6.

Применение в схеме фильтра объясняется необходимостью подавления в измеряемом напряжении высших гармонических составляющих. Коаксиальный переключатель необходим для отключения от входа вольтметров измеряемого напряжения без выключения генератора при выполнении операции «Установка нуля». В случае применения эталонного делителя напряжения его выходное сопротивление не должно превышать значения, определяемого из выражения:

$$R_{\text{вых}} \leq R_{\text{вх}} \delta_{\text{доп}} / 1000 \quad (5)$$

где, $R_{\text{вых}}$ – выходное сопротивление образцового делителя напряжения, Ом;

$R_{\text{вх}}$ – входное сопротивление поверяемого вольтметра, Ом;

$\delta_{\text{доп}}$ – предел допускаемой основной погрешности поверяемого вольтметра, %.

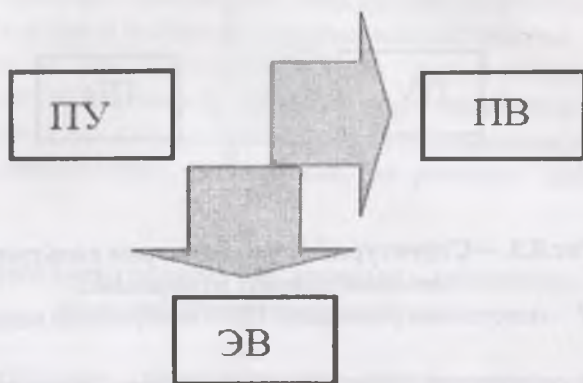


Рис.8.4. – Структурная схема поверки вольтметров методом непосредственного сличения:

ИГ – измерительный генератор; ЭВ – эталонный вольтметр

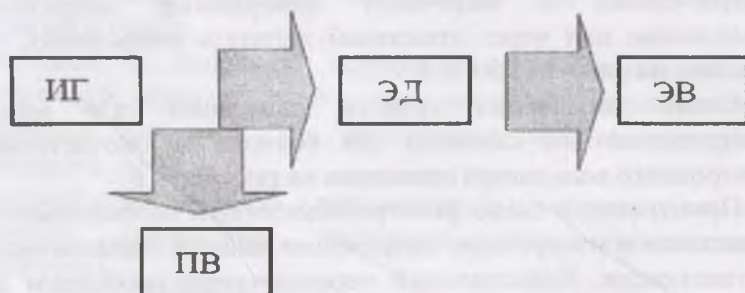


Рис.8.5. – Структурная схема поверки вольтметров методом непосредственного сличения:

ЭД – эталонный делитель

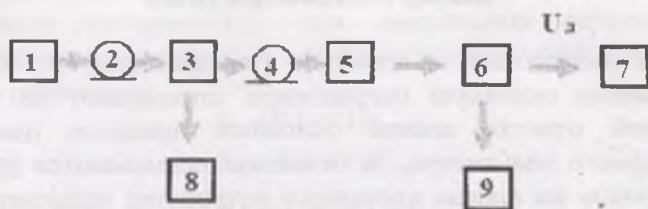


Рис. 8.6. – Проверка вольтметра методом непосредственного сличения показаний образцового и поверяемого вольтметров:

1 – измерительный генератор; 2 и 4 – коаксиальные кабели;
 3 – коаксиальный переключатель; 5 – фильтр; 6 – коаксиальный измерительный соединитель-тройник или образцовый делитель напряжения; 7 – поверяемый вольтметр; 8 – нагрузочный резистор;
 9 – эталонный вольтметр

Если входное сопротивление поверяемого прибора имеет реактивную составляющую за счет входной емкости, то выходное сопротивление образцового делителя в Омах не должно превышать значения, определяемого из выражения:

$$R_{\text{вых}} \leq \frac{\delta_{\text{доп}}}{300f^2C^2} \quad (6)$$

где f – частота, на которой производится измерение, Гц;

C – входная емкость поверяемого прибора, Ф.

При использовании эталонных поверочных установок или эталонных калибраторов напряжения, значение погрешности непосредственно отсчитывается по шкалам применяемых эталонных средств. Если же при проверке мы используем эталонные вольтметры, то погрешность определяется по формуле:

$$\Delta = U_{\text{п}} - U_{\text{э}}, \quad (7)$$

В случае использования эталонных делителей напряжения, погрешность рассчитывается по формуле:

$$\Delta = U_{\text{п}} - K_{\text{п}}U_{\text{э}}, \quad (8)$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент передачи эталонного делителя.

Выбор поверяемых точек

Для аналоговых вольтметров (амперметров) постоянного напряжения основную погрешность определяют на каждой числовой отметке шкалы основных пределов измерений поверяемого вольтметра. За основные принимаются пределы, нанесенные на шкалы отсчетного устройства вольтметра при множителе, равном единице.

На остальных пределах измерений основную погрешность определяют на конечных числовых отметках шкал, а также на отметках, на которых ранее были определены наибольшие положительная и отрицательная погрешности (или наибольшая и наименьшая погрешности, если все погрешности одного знака).

Для аналоговых вольтметров переменного напряжения вида ВЗ и В7 характерны многочисленность диапазонов и широкий диапазон частот с несколькими расширенными областями.

В соответствии с требованиями ГОСТ 8.118-85 при периодической поверке вольтметра переменного напряжения вначале требуется определить их погрешность при частоте градуировки на конечных числовых отметках всех поддиапазонов измерений и на всех числовых отметках основных поддиапазонов измерений, которых устанавливается обычно два.

Затем необходимо определить погрешность на конечных числовых отметках поддиапазонов измерений, где может быть обеспечено высокопроизводительное и высокоточное проведение измерений. Измерения проводят при значениях частот, соответствующих началу и концу всех областей (нормальной и расширенной). Погрешность вольтметров, имеющих несколько расширенных областей частот, определяют в каждой области при крайних значениях частот, на которых не определялась погрешность в смежной области с меньшим значением предела допускаемой погрешности.

Особенности поверки цифровых электронных вольтметров (амперметров) заключаются в дискретности отсчета измеряемого напряжения. Для цифровых вольтметров как основную

погрешность, так и погрешность в рабочем диапазоне частот (временных интервалов — для импульсных вольтметров) рекомендуется определять в основном поддиапазоне измерений при его показаниях:

$$X_1 = (0,1 \div 0,2)A_{\text{пр}};$$

$$X_2 = (0,2 \div 0,3)A_{\text{пр}};$$

$$X_3 = (0,4 \div 0,6)A_{\text{пр}};$$

$$X_4 = (0,7 \div 0,8)A_{\text{пр}};$$

$$X_5 = (0,9 \div 1,0)A_{\text{пр}}.$$

Погрешность на стандартных поддиапазонах измерений следует проверять при показаниях X_1 и X_5 , а также при показаниях, на которых были получены наиболее близкие к пределу допускаемых значений положительные и отрицательные погрешности.

Для цифровых вольтметров постоянного тока измерения проводят при двух полярностях входного напряжения. При этом при отрицательной полярности основную погрешность определяют в трёх точках (начало, середина, конец) основного диапазона измерений и в одной точке (конец диапазона) на каждом из дополнительных диапазонов. Для цифровых вольтметров переменного тока измерения проводят на частотах f_{min} ; $0,25(f_{\text{min}} + f_{\text{max}})$; $0,5(f_{\text{min}} + f_{\text{max}})$; $0,25(f_{\text{min}} + 3f_{\text{max}})$; f_{max} основного диапазона, а для дополнительных диапазонов — в точках f_{min} и f_{max} .

Контрольные вопросы

1. Различие в строении аналоговых и цифровых электроизмерительных приборов.
2. Недостатки цифровых электроизмерительных приборов.
3. Преимущества цифровых электроизмерительных приборов.
4. Значение цифровых приборов в современном производстве.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

ПОВЕРКА ТРЕХФАЗНОГО ИНДУЦИОННОГО СЧЕТЧИКА

Цель работы: Изучение принципа работы и внутреннего устройства трехфазного электрического счетчика.

Задание: Провести поверку электрического индукционного трехфазного счетчика согласно методике и полученные результаты оформить.

Теоретическая часть

Теоретически, для учета электроэнергии в трехфазных трех проводных и четырех проводных системах могут применяться один или несколько однофазных счетчиков, включенных по определенной схеме. Однако такие схемы требуют строгого соблюдения симметричной нагрузки и напряжения, что не всегда возможно обеспечить. Кроме того, учет по одной или двум фазам приводит к значительным погрешностям, поэтому в настоящее время наиболее широкое распространение получили трехфазные трехэлементные счетчики. В статье в качестве примера такого прибора учета представлена схема СА4У-И672М. Электросчетчик имеет три вращающихся элемента, действующих на одну подвижную часть. Подвижная часть чаще всего имеет два диска. Вращающиеся элементы имеют ту же конструкцию и устройство, что и однофазных. Это относится ко всем трех фазным приборам учета, кроме счетчиков реактивной энергии, базирующихся на вращающихся элементах с внутренним сдвигом, отличным от 90° , а именно 60° и 180° . В счетчиках реактивной энергии за основу также берется конструкция вращающего элемента, схожая с однофазным, и принимаются меры для получения необходимого внутреннего сдвига фаз (коротко замкнутые витки, шунтирующие сопротивления). Трехфазный индукционный счетчик можно рассматривать как систему, состоящую из трех однофазных; каждом элементе такой системы происходят те же физические процессы. При чисто активной нагрузке угол сдвига фаз между рабочими потоками для каждого элемента

составляет 90° . Полный вращающий момент втрое больше, чем момент одного элемента. Нагрузочная кривая, а также все остальные характеристики трехэлементного прибора будут такими же, как и однофазного счетчика с такой же номинальной скоростью вращения. Напомним, нагрузочная кривая - это сумма кривых составляющих погрешностей от трения, самоторможения и смещения вращающегося элемента, погрешность от нелинейной зависимости рабочего потока и тока последовательной цепи. Наличие сдвига фаз напряжений в трехфазной системе вносит определенные погрешности при создании вращающего момента в подвижной части. Для первого вращающего элемента условно принимаем $\varphi_1 = 0^\circ$. Тогда сдвиг последующих двух фаз соответственно будет равен $\varphi_2 = 60^\circ$, $\varphi_3 = 120^\circ$.

Значит, угол сдвига фаз между рабочими потоками для первого намагничивающего элемента $\psi_1 = 0^\circ - \varphi$, для второго $\psi_2 = 60^\circ - \varphi$, для третьего $\psi_3 = 120^\circ - \varphi$. При активной нагрузке ($\cos\varphi = 1$) и симметричной нагрузке по фазам эти сдвиги равны $\psi_1 = 0^\circ$, $\psi_2 = 60^\circ$, $\psi_3 = 120^\circ$.

Следовательно суммарный вращающий момент элементов $M_{вр}$ не равен утроенному значению момента M_1 одного из вращающих элементов, когда напряжение и ток этого элемента совпадают по фазе, а равен:

$$M_{вр} = M_1 \sin 0^\circ + M_2 \sin 60^\circ + M_3 \sin 120^\circ = \sqrt{3} M_1;$$

Кроме того, если он будет иметь ту же номинальную скорость, что и однофазный, то их нагрузочные кривые в области больших нагрузок будут различны. Обусловлено это тем, что суммарный момент собственного торможения трехфазного счетчика равен утроенному моменту собственного торможения одного элемента, а суммарный вращающий момент собственного торможения больше вращающего момента одного элемента в $\sqrt{3}$ раз. Погрешность трехфазного счетчика от собственного торможения будет $2/\sqrt{3}$, что составляет 1,16 раза больше, чем у однофазного с таким же вращающим элементом и номинальной скоростью вращения подвижной части. Для того чтобы трехэлементный трехфазный прибор учета имел такую же нагрузочную кривую, что и

однофазный, необходимо, чтобы его номинальная скорость была в 1,16 раза меньше, чем у однофазного. Как и для однофазных счетчиков, скорость вращения диска можно отрегулировать перемещением постоянного магнита вдоль радиуса диска; конструкцией для этого предусмотрено два постоянных магнита. Учет реактивной энергии проводится по тем же самым схемам, что и учет активной, но при этом измерительные механизмы должны иметь внутренний угол сдвига фаз между рабочими потоками последовательной и параллельной цепей не 90° , как имеет место при учете активной энергии, а 0° (180°). Для получения такого сдвига последовательно с обмоткой параллельной цепи индукционного вращающего элемента включают добавочное активное сопротивление, и кроме того, шунтируют обмотку последовательной цепи активным сопротивлением. Такие электросчетчики реактивной энергии называют счетчиками со 180° сдвигом. Их отличительной особенностью является отсутствие "схемной" погрешности при любой асимметрии цепи.

Основные сведения при поверке электрического индукционного трехфазного счетчика

1. Настоящая методика распространяется на счетчики электрической энергии трехфазные статические трансформаторного включения ПСЧ-4АР.05.2М (далее – счетчики), предназначенные для учета активной и реактивной энергии в прямом и обратном направлении в трехпроводных и четырехпроводных сетях переменного тока частотой 50 Гц. Счетчики предназначены для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства средств измерений.

Поверка счётчиков осуществляется аккредитованными в установленном порядке юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями.

Настоящая методика составлена с учетом требований ПР 50.2.006 и в соответствии с требованиями ГОСТ 8.584 и устанавливает методику первичной, периодической и внеочередной

поверки счётчиков, а также объем, условия поверки и подготовку к ней.

2. При выпуске счётчиков из производства и ремонта проводят первичную поверку.

3. Первичной поверке подлежит каждый счётчик.

4. Межповерочный интервал 16 лет.

5. Периодической поверке подлежат счётчики, находящиеся в эксплуатации или на хранении по истечении межповерочного интервала.

6. Внеочередную поверку производят в случае:

- повреждения поверительного клейма (пломб, несущих на себе поверительные клейма) или в случае утраты свидетельства о поверке;

- ввода в эксплуатацию счетчика после длительного хранения (более одного межповерочного интервала);

- проведения повторной юстировки или настройки, при известном или предполагаемом ударном воздействии на счетчик или неудовлетворительной его работе.

Требования безопасности

При проведении поверки должны быть соблюдены требования "Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей", утвержденных Главгосэнергонадзором.

Внешний осмотр

При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие счетчика следующим требованиям:

а) корпус должен быть цельным, не иметь трещин;

б) смотровое стекло должно быть прочно закреплено, должно быть прозрачным, без царапин и коробления на поверхности;

в) все узлы и детали должны быть надежно закреплены и не должны иметь повреждений;

г) шлицы на винтах клеммной колодки должны быть не разбитыми и не смятыми, а резьба должна обеспечивать надежное крепление проводов;

д) надписи на бирке и щитках должны быть четкими и ясными;

е) на бирке должны быть четко обозначены заводской номер счетчика и год его выпуска;

ж) комплектность должна соответствовать требованиям паспорта;

з) на дисплее не должно быть пятен и царапин, мешающих правильному восприятию информации, отображение информации на дисплее должно быть четким и хорошо различимым.

Подключение счетчика на поверочном стенде

Для поверки счетчик должен быть установлен на поверочном стенде и подключен к образцовому прибору. Счетчик использует пружинные контакты цепей напряжения, которые подключают цепи напряжения счетчика к фазным зажимам счетчика. Подключите счетчик к поверочному стенду в соответствии со следующими схемами. Для подключения к поверочным цепям напряжения, используйте соединительные кабели с наконечником в виде металлического штифта диаметром 2.5 мм и длиной около 40 мм (± 1 мм). Эти штифты необходимо вставить в отверстия на передней поверхности клемной колодки прямо над фазными клеммами. В цепях напряжения счётчика используются пружинные контакты, которые подключаются к токовым цепям. При вставке металлического штифта диаметром 2.5 мм и длиной около 40 мм (± 1 мм) цепи тока и напряжения счётчика разъединяются. Через эти металлические штифты от поверочного стенда на счетчик подается испытательное напряжение по каждой фазе отдельно от токовых цепей.

Испытания электрической прочности проводников

Испытаниям подвергаются счетчики с закрытым корпусом и с установленной крышкой зажимов. При данных испытаниях термин "земля" имеет следующий смысл: корпус счетчика оборачивается фольгой, присоединенной к плоской проводящей

поверхности, на которой установлен цоколь счетчика. Фольга должна находиться от зажимов и от отверстий для проводов на расстоянии не более 20 мм. После указанных испытаний погрешность счетчика при нормальных условиях должна соответствовать норме. Скорость изменения испытательного напряжения должна быть такой, чтобы испытательное напряжение изменялось от 0 до заданного значения (от заданного значения до 0) за время от 5 до 10 с. Появление “короны” и шума при испытаниях не является признаком неудовлетворительной изоляции.

Испытательное напряжение переменного тока (среднее квадратичное значение 2 кВ) с частотой 50 Гц следует проводить:

- между всеми цепями тока и напряжения, а так же вспомогательными цепями с номинальным напряжением выше 40 В, соединенными вместе и “землей”;

- между соединенными между собой цепями тока и соединенными между собой цепями напряжения (только для счетчиков трансформаторного включения). Результат проверки электрической прочности изоляции считается положительным, если электрическая изоляция счетчика выдерживает воздействие испытательного напряжения в течение 1 мин. При периодической проверке допускается не проверять электрической прочности изоляции, если со времени предыдущей проверки счетчик не подвергался вскрытию (пломбы не нарушены).

Контрольные вопросы

1. Принцип работы трехфазного электрического счетчика.
2. Типы трехфазных электрических счетчиков.
3. Применение трехфазных электрических счетчиков.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

ПОВЕРКА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ВАТТМЕТРОВ

Цель работы. Ознакомиться с методикой поверки показывающий прибор прямого действия для соответствия прибора обозначенному на нем классу точности.

Задание: Записать план работы и заготовить все таблицы.

Приборы и оборудование: специальная установка для поверки ваттметров.

Теоретическая часть

Ваттметр – измерительный прибор, имеющий назначение определять работу, совершаемую электрическим током в единицу времени для прохождения тока через какой-либо проводник (определение мощности электрического тока или электромагнитного сигнала).

Ваттметр может определить количество ваттов необходимой для получения некоторой силы электрического света в каждую секунду времени или определить величину выполняемой работы в единицу времени каким-либо электрическим прибором. Работа, совершаемая электрическим прибором в единицу времени (его мощность) определяется в ваттах и является произведением числа амперов (сила тока) потребляемых данным видом электрических потребителей на разность потенциалов (+ -) концов этой части цепи измеряемой в вольтах.

Для определения мощности электрического тока и используются ваттметры, представляющие собой не что иное, как электродинамометр. Проходящий ток распределяется на две части, одна из которых является, по сути, контролем, а вторая опытом, изменяя сопротивление на опытной части и измеряя разность потенциалов на выходе и определяется мощность электрического тока.

По назначению и диапазону частот ваттметры можно разделить на три основные категории:

- низкочастотные (и постоянного тока);
- радиочастотные;
- оптические.

Ваттметры радиодиапазона по назначению делятся на два вида: проходящей мощности, включаемые в разрыв линии передачи, и поглощаемой мощности, подключаемые к концу линии в качестве согласованной нагрузки. В зависимости от способа функционального преобразования измерительной информации и ее вывода пользователю ваттметры бывают аналоговые (показывающие и самопишущие) и цифровые.

Низкочастотные ваттметры используются преимущественно в сетях электропитания промышленной частоты для измерения потребляемой мощности, могут быть однофазные и трехфазные. Отдельную подгруппу составляют **варметры** – измерители реактивной мощности. Цифровые приборы обычно совмещают в себе возможность измерения активной и реактивной мощности.

Радиочастотные ваттметры образуют весьма большую и широко используемую подгруппу ваттметров радиодиапазона. Деление этой подгруппы связано в основном с применением различных типов первичных преобразователей. Выпускаемые ваттметры используют преобразователи на базе термистора, термопары или пикового детектора; значительно реже, применяются датчики, основанные на других принципах. При работе с ваттметрами поглощаемой мощности следует помнить, что из-за несогласования входного сопротивления приемных датчиков с волновым сопротивлением линии, часть энергии отражается и реально ваттметр измеряет не реальную мощность линии, а поглощенную, которая отличается от действительной.

Принцип действия термисторного преобразователя состоит в зависимости сопротивления термистора от температуры его нагрева, которая, в свою очередь, зависит от рассеиваемой мощности сигнала, подаваемого на него. Измерение осуществляется методом сравнения мощности измеряемого сигнала, рассеиваемой в термисторе и разогревающей его, с мощностью тока низкой частоты, вызывающей такой же нагрев термистора. К недостаткам термисторных ваттметров относится их малый диапазон регистрации – несколько милливатт.

В ваттметрах проходящей мощности в качестве первичного преобразователя используется устройство, позволяющее

ответвлять от основного тракта передачи очень небольшую долю энергии. Отведенная часть энергии подается на вторичный преобразователь, откуда сигнал измерительной информации подается на функциональный преобразователь и, далее, на показывающее устройство.

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему (рис. 10.1) и дать ее проверить преподавателю.

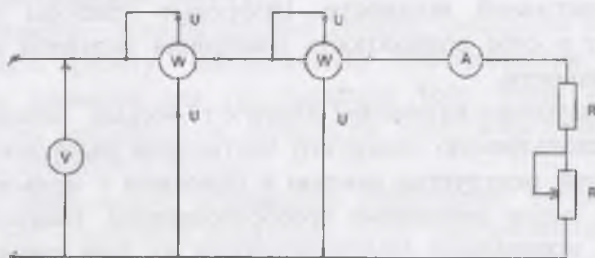


Рис.10.1. Схема проверки ваттметров с активной нагрузкой

2. Заполнить таблицу №10.1.

3. Проверить, стоит ли стрелка каждого прибора на нуле, если нет, то при помощи корректора установить ее в нулевое положение.

4. Включить питание, с помощью реостата или регулятора напряжения изменять величину тока нагрузки (3,4 точки) постоянно увеличивая показания ваттметра так, чтобы стрелка испытуемого ваттметра последовательно останавливалась над каждым основным делением шкалы.

Доведя величину мощности до последнего деления шкалы, плавно уменьшить его до нуля, останавливаясь на тех же точках. Записывать показания обоих ваттметров в таблице 10.2.

Таблица 10.1.

Данные испытуемого измерительного ваттметра

№	Наименование прибора	тип	Система измерительного механизма	Предел измерения	Цена деления	Класс точности	Заводской номер
---	----------------------	-----	----------------------------------	------------------	--------------	----------------	-----------------

Таблица 10.2

Результаты измерений

№	Измерено				Вычислено			
	Испытуемый ваттметр	Образцовый ваттметр			погрешности			поправка
		Ход вверх	Ход вниз	Среднее значение	Абс.	Отн.	Прив.	
	А	А	А	А	А	%	%	А

5. Определить абсолютные, относительные, приведенные погрешности и поправки (Поправкой называется величина абсолютной погрешности, взятая с обратным знаком).

6. Сделать заключение о годности испытуемого ваттметра.

7. По полученным данным построить кривую поправок в зависимости от показаний испытуемого прибора.

8. Собрать схему (рис.10.2) и дать ее для проверки руководителю

9. Выполнить все (2 – 7) пункты аналогично предыдущей работе.

10. Вычислить $\cos \varphi$ для схемы (рис.10.2)

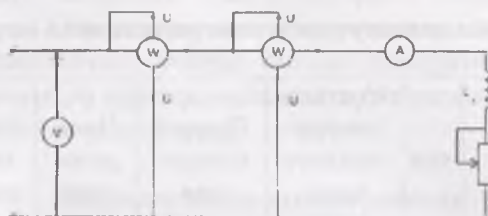


Рис. 10.2. Схема проверки ваттметра со смешанной нагрузкой (активно - индуктивная нагрузка)

Контрольные вопросы:

1. Как определяется цена деления ваттметра?
2. Каково устройство и принцип работы электродинамических приборов?
3. Какие достоинства и недостатки имеют электродинамические приборы?
4. Каково устройство и принцип работы ферродинамических приборов?
5. В чем особенность ваттметра для измерения активной мощности в цепи переменного тока?

Часть II. МЕТРОЛОГИЯ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

ПОВЕРКА КЛАССА ТОЧНОСТИ ТЕРМОМЕТРОВ

Цель работы: Ознакомление с термометрами, проведением измерений и методами их поверки.

Задание: Изучить принципы работы термометров и провести поверку результаты записать в таблицу.

Приборы и оборудования: Специальная установка для поверки термоэлектрического термометра и термометры расширения.

Теоретическая часть

Термометры, приборы для измерения температуры посредством контакта с исследуемой средой. Измерительная устройства температуры впервые изобрел итальянский ученый в 1598 году (например, термоскоп Галилея, 1597), сам термин «термометры» – в 1636 году и после этого М.В.Ломоносов, Фаренгейт разработали различные виды термометров.

Действие термометров основано на изменениях однозначно зависящих от температуры и легко поддающихся определению разных физических свойств тел (геометрические размеры, давление в замкнутом объеме, электрическое сопротивление, термоэдс, магнитная восприимчивость и др.).

Температура – является основным параметром технологического процесса и на практике придется использовать и высокие и низкие температуры для приготовления различных товаров.

Температура веществ в основном определяется скоростью движения молекул веществ на основе тепловых явлений характеризуется внутренними кинетическими энергиями молекул веществ, который прямо пропорционально связана со

скоростью молекул веществ и показывают степень согретости веществ.

Связь средне кинетической энергии молекул и температура идеального газа пишется нижеследующей формулой:

$$E = \frac{3}{2} \kappa T$$

Здесь, κ – постоянная Больцмана, $\kappa = 1,380 \cdot 10^{-23}$ Ж/К;

T – Абсолютная температура, К.

Высокопроизводительная, экономичная и безопасная работа в производственных условиях требует применения современных методов и средств измерения величин, характеризующих ход производственного процесса и состояние оборудования.

Основными параметрами (величинами), которые необходимо контролировать при работе агрегатов, является температура различных сред; расход, давление, состав газов и жидкостей; состав металлов; геометрические размеры проката. Автоматическими приборами измеряется температура для производства различных видов товаров.

Существуют два основных способа для измерения температуры – контактные и бесконтактные. Контактные способы основаны на непосредственном контакте измерительного преобразователя температуры с исследуемым объектом, в результате чего добиваются состояния теплового равновесия преобразователя и объекта. Этому способу присущи свои недостатки. Температурное поле объекта искажается при введении в него термодатчика. Температура преобразователя всегда отличается от истинной температуры объекта. Верхний предел измерения температуры ограничен свойствами материалов, из которых изготовлены температурные датчики. Кроме того, ряд задач измерения температуры в недоступных вращающихся с большой скоростью объектах не может быть решен контактным способом.

Бесконтактный способ основан на восприятии тепловой энергии, передаваемой через лучеиспускание и воспринимаемой на некотором расстоянии от исследуемого объема. Этот способ менее чувствителен, чем контактный. Измерения

температуры в большой степени зависят от воспроизведения условий градуировки при эксплуатации, а в противном случае появляются значительные погрешности. Устройство, служащее для измерения температуры путем преобразования ее значений в сигнал или показание, называется термометром (ГОСТ 13417-76).

Методы измерения температуры

Для определения значения температуры какого-либо тела необходимо выбрать эталон температуры, то есть тело, которое при определённых условиях, равновесных и достаточно легко воспроизводимых, имело бы определённое значение температуры. Это значение температуры является реперной точкой соответствующей шкалы температур - упорядоченной последовательности значений температуры, позволяющей количественно определять температуру того или иного тела. Температурная шкала позволяет косвенным образом определять температуру тела путем прямого измерения какого-либо его физического параметра, зависящего от температуры.

Наиболее часто при получении шкалы температур используются свойства вода. Точки таяния льда и кипения воды при нормальном атмосферном давлении выбраны в качестве реперных точек в современных (но не обязательно изначальных) температурных шкалах, предложенных Андерсом Цельсием (1701 - 1744), Рене Антуаном Фершо Реомюром (1683 - 1757), Даниэлем Габриэлем Фаренгейтом (1686 - 1736). Последний создал первые практически пригодные спиртовой и ртутный термометры, широко используемые до сих пор. Температурные шкалы Реомюра и Фаренгейта применяют в настоящее время в США, Великобритании и некоторых других странах.

Введенную в 1742 году температурную шкалу Цельсия, который предложил температурный интервал между температурами таяния льда и кипения воды при нормальном давлении (1 атм или 101 325 Па) разделить на сто равных частей (градусов Цельсия), широко используют и сегодня,

правда в уточненном виде, когда один градус Цельсия считается равным одному кельвину (см. ниже). При этом температура таяния льда берется равной 0°C , а температура кипения воды становится приблизительно равной $99,975^{\circ}\text{C}$. Возникающие при этом поправки, как правило, не имеют существенного значения, так как большинство используемых спиртовых, ртутных и электронных термометров не обладают достаточной точностью (поскольку в этом обычно нет необходимости). Это позволяет не учитывать указанные, очень небольшие поправки.

После введения Международной системы единиц (СИ) к применению рекомендованы две температурные шкалы. Первая шкала - термодинамическая, которая не зависит от свойств используемого вещества (рабочего тела) и вводится посредством цикла Карно. Единицей измерения температуры в этой температурной шкале является один кельвин (1 K), одна из семи основных единиц в системе СИ. Эта единица названа в честь английского физика Уильяма Томсона (лорда Кельвина) (1824 - 1907), который разрабатывал эту шкалу и сохранил величину единицы измерения температуры такой же, как и в температурной шкале Цельсия. Вторая рекомендованная температурная шкала - международная практическая. Эта шкала имеет 11 реперных точек - температуры фазовых переходов ряда чистых веществ, причём значения этих температурных точек постоянно уточняются. Единицей измерения температуры в международной практической шкале также является 1 K .

В настоящее время основной реперной точкой, как термодинамической шкалы, так и международной практической шкалы температур является тройная точка воды. Эта точка соответствует строго определенным значениям температуры и давления, при которых вода может одновременно существовать в твердом, жидком и газообразном состояниях. Причем, если состояние термодинамической системы определяется только значениями температуры и давления, то тройная точка может быть только одна. В системе СИ температура тройной точки воды принята равной $273,16\text{ K}$ при давлении 609 Па .

Кроме задания реперных точек, определяемых с помощью эталона температуры, необходимо выбрать термодинамическое свойство тела, описывающееся физической величиной, изменение которой является признаком изменения температуры или термометрическим признаком. Это свойство должно быть достаточно легко воспроизводимо, а физическая величина - легко измеряемой. Измерение указанной физической величины позволяет получить набор температурных точек (и соответствующих им значений температуры), промежуточных по отношению к реперным точкам.

Тело, с помощью измерения термометрического признака которого осуществляется измерение температуры, называется термометрическим телом.

По принципу действия все термометры делятся на следующие группы, которые используются для различных интервалов температур:

1. Термометры расширения от -260 до $+700^{\circ}\text{C}$, основанные на изменении объемов жидкостей или твердых тел при изменении температуры.

2. Манометрические термометры от -200 до $+600^{\circ}\text{C}$, измеряющие температуру по зависимости давления жидкости, пара или газа в замкнутом объеме от изменения температуры.

3. Термометры электрического сопротивления стандартные от -270 до $+750^{\circ}\text{C}$, преобразующие изменение температуры в изменение электрического сопротивления проводников или полупроводников.

4. Термоэлектрические термометры (или пирометры), стандартные от -50 до $+1800^{\circ}\text{C}$, в основе преобразования которых лежит зависимость значения электродвижущей силы от температуры спая разнородных проводников.

5. Пирометры излучения от 500 до 100000°C , основанные на измерении температуры по значению интенсивности лучистой энергии, испускаемой нагретым телом,

Термометры, основанные на электрофизических явлениях от -272 до $+1000^{\circ}\text{C}$ (термошумовые термоэлектрические преобразователи, объемные резонансные термопреобразователи, ядерные резонансные).

Термометры расширения

Термометры расширения подразделяются на три группы:

- жидкостные термометры,
- дилатометрические термометры,
- биметаллические термометры.

Принцип действия жидкостных термометров основан на свойствах теплового расширения термoeлектрического вещества при изменениях температуры. Определение температуры в данном случае происходит по величине видимого изменения объема жидкости в капиллярной трубке. В качестве термометрической жидкости применяется ртуть, этиловый спирт, керосин, толуол, пентан. Диапазон измерения температур составляет от -100 до $+600^{\circ}\text{C}$. К недостаткам жидкостных термометров относится их хрупкость, возможность загрязнения окружающей среды, непригодность для ремонта. Для защиты от механических повреждений для термометров разработаны защитные арматуры.

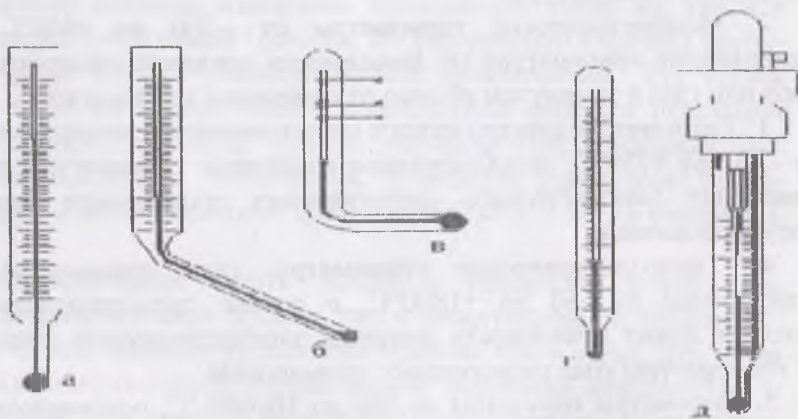


Рис.11.1. Жидкостные стеклянные термометры расширения
а, б - технические; г - лабораторный химический;
в - электротерморегулятор палочный двух контактный угловой;
д - контактный термометр.

Дилатометрические и биметаллические термодатчики.

Дилатометрические и биметаллические термодатчики предназначены для сигнализации и регулирования температуры воздуха в помещениях, а также для контроля жидких и газообразных сред (воздуха, воды и т.д.).

Принцип действия дилатометрических термометров основан на преобразовании изменений температуры в разность удлинений двух твердых тел, обусловленную различием их температурных коэффициентов линейного расширения. Диапазон измерения температур составляет от -30 до $+1000^{\circ}\text{C}$.

Принцип действия биметаллических термометров основан на преобразовании изменений температуры в изгиб пластин, состоящих из двух металлов с разными температурными коэффициентами расширения. Диапазон измерения температур составляет от -100 до $+600^{\circ}\text{C}$.

Датчики-реле являются не показывающими приборами, а имеют шкалу задания температуры срабатывания контактов. Чувствительный элемент дилатометрических термодатчиков состоит из трубки 1 (см. рис.11.2), изготовленной из металла с большим коэффициентом температурного линейного расширения (латунь, алюминий и др.), и находящегося внутри трубки стержня 2 из металла с малым коэффициентом расширения (например инвара). Трубку прибора полностью помещают в контролируемую среду. При изменении температуры среды изменяется длина трубки. Связанный с ней стержень перемещается, в результате чего замыкаются (размыкаются) контакты или перемещается чувствительный элемент преобразователя.

В качестве чувствительного элемента в биметаллических преобразователях используется пластинка или спираль, состоящая из двух сваренных по всей длине металлических пластин 1, 2 (рис.11.3) с разными коэффициентами температурного линейного расширения (например из меди и инвара). При изменении температуры среды биметаллическая пластинка (спираль) изгибается, перемещая чувствительный элемент преобразователя или переключая контакты.

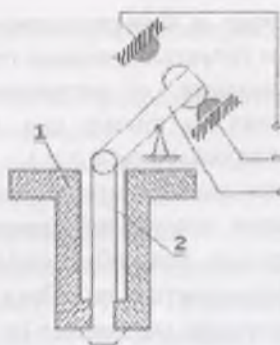


Рис.11.2. Строение dilatометрических термометров.

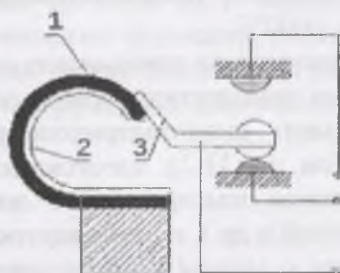


Рис.11.3. Строение bimеталлических термометров.

В производстве используют термодатчики двухпозиционные типа ДТКБ (bиметаллические) и типа ТУДЭ (дилатометрические), а также трехпозиционные типа ТБ-ЭЗК (bиметаллические).

Дилатометрические и bиметаллические термодатчики всех модификаций монтируют в любом положении (вертикальном, наклонном горизонтальном). Датчики камерные bиметаллические типа ДТКБ устанавливают на высоте 1,5...1,8 м от пола, типа ТБ-ЭЗК - на высоте 1,8...2 м. При измерении температуры среды в трубопроводе середина чувствительного элемента дилатометрического термометра должна совпадать с осью потока.

При необходимости чувствительный элемент помещают в гильзу, однако при этом сильно возрастает тепловая инерционность термометра. Биметаллические датчики-реле нельзя устанавливать в нишах и за различными декоративными элементами, что препятствует нормальной циркуляции воздуха около прибора и значительно увеличивает погрешность измерения, а также в местах, подверженных воздействию внешних источников тепла (отопительные батареи, солнечная радиация и т.д.). Расстояние прибора от стены должно быть не менее 50...70 мм. При монтаже и эксплуатации следят, чтобы циркуляция воздуха вокруг приборов была свободной, относительная влажность окружающей среды - 30...80 %.

Биметаллические термометры наиболее распространены при измерении комнатной температуры. Основанная погрешность термометров составляет 1-3% от диапазона регулирования. Одним из главных недостатков биметаллических термометров является требование индивидуальной градуировки, которая происходит путем сравнения показаний с образцовыми термометрами, что приводит к невозможности оперативной замены чувствительных биметаллических пластин.

Техническое обслуживание термодатчиков состоит в периодическом осмотре и проверке согласно графикам, установленным метрологической службой.

Монометрические термометры

Манометрические термометры предназначены для дистанционного измерения температуры газов (воздуха, аммиака, углекислого газа, сероводорода, метана и др.), паров жидкостей. К преимуществам манометрических термометров по сравнению с аналогичными преобразователями другого принципа действия относят возможность дистанционного измерения параметров без использования источников дополнительной энергии; простоту конструкции и большую надежность при эксплуатации; равномерность шкалы; взрывобезопасность; отсутствие чувствительности к внешним электромагнитным полям.

Манометрические термометры (рис.11.4) состоят из герметично замкнутой термосистемы (термобаллон, соединительный дистанционный капилляр, упругий чувствительный элемент) и показывающего или записывающего устройства. В зависимости от заполнителя термосистемы манометрические термометры изготовляют трех видов: газовые - с азотом; жидкостные - с полиметилсилоксановыми жидкостями; конденсационные (парожидкостные) - с ацетоном, метилом, хлоридом фреона.

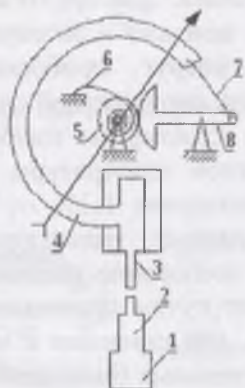


Рис.11.4. Схема устройства манометрического термометра:
 1 - термобаллон; 2 - хвостовик; 3 - капилляр; 4 - манометрическая трубка (пружина); 5 - зубчатое колесо, соединенное со стрелкой; 6 - спиральная пружина, служащая для устранения люфта в зубчатом зацеплении; 7 - тяга; 8 - зубчатый сектор.

Термоэлектрические термометры

Термоэлектрическим термометром называют термопару, снабженную защитной арматурой. Принцип работы термопары состоит в следующем. Если составить замкнутую цепь из двух разнородных проводников и нагреть один её спай, то в цепи возникнет электрический ток. Замкнутая электрическая цепь (рис.11.5а), состоящая из двух разнородных проводников - термоэлектродов А и В, образует термоэлемент (термопару).

Спай, погружаемый в измеряемую среду, называется рабочим или горячим спаем термопары; второй спай носит название свободного или холодного.

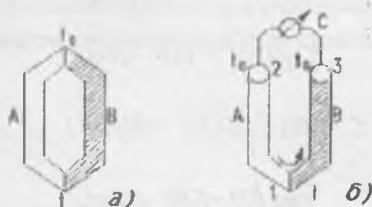


Рис.11.5. Схемы термоэлектрических цепей:

а - цепь состоящая из двух разнородных проводников; б - схема включения третьего проводника в цепь термопары.

Суммарную электродвижущую силу замкнутой цепи из проводников А и В, спай которых нагреты до температуры t и t_0 можно выразить уравнением:

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0),$$

где $E_{AB}(t, t_0)$ – суммарная т.э.д.с. термопары; $e_{AB}(t)$, $e_{BA}(t_0)$ – потенциалы, возникающие в местах соприкосновения проводников.

Индексы при E и e указывают направление т.э. д. с.: от А к В или от В к А. При изменении порядка индексов, например, у символа e_{BA} 0 должен измениться также и знак, т.е.:

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0).$$

Так как потенциалы e спаев зависят от температуры, то суммарная т.э.д.с., наблюдаемая в цепи из двух разнородных проводников с разными температурами спаев, равна разности функций температур t и t_0 :

$$E_{AB}(t, t_0) = f_1(t) - f_2(t_0).$$

Поддерживая температуру одного из спаев постоянной, например полагая, что $t_0 = \text{const}$, т.е. $f_2(t_0) = \text{const}$, получим:

$$E_{AB}(t, t_0) = f_1(t) - \text{const}$$

$$\text{или } E_{AB}(t, t_0) = f(t), (*)$$

$$\text{где } f(t) = f_1(t) - \text{const}.$$

Таким образом, если для данной термопары экспериментально, т.е. путем градуировки, найдена последняя зависимость (*), то измерение неизвестной температуры сводится к определению т.э.д.с. термопары, которая невелика (0,01 – 0,06 мВ на 1°C), но все же достаточна для измерения посредством измерительного прибора. При введении в цепь термопары третьего проводника (рис. 11.56), если концы последнего имеют одинаковые температуры, т.э.д.с. термопары не изменяется (то же относится и к нескольким проводникам). Поэтому включение цепь термопары соединительных проводов, измерительных приборов и подгоночных сопротивлений не отражается на точности измерения.

Термопары, как правило, градуируются при температуре свободного спае $t_0 = 0^\circ\text{C}$. В действительности же температура холодных спаев термопары отличается от 0°C , поэтому для нахождения действительной температуры вводят поправку по уравнению:

$$E_{AB}(t, t_2) = E_{AB}(t, t'_0) \pm E_{AB}(t'_0, t_0),$$

где $E_{AB}(t, t_0)$ — т.э.д.с., развиваемая термопарой при температурах рабочего t и свободного t_0 спаев; $E_{AB}(t'_0, t_0)$ — т.э.д.с., развиваемая термопарой при температуре рабочего спае t'_0 и свободного t_0 .

Поправка $E(t'_o, t_o)$ имеет знак плюс в случае, когда $t'_o > t_o$, а минус – в случае, когда $t'_o < t_o$.

Конструктивно термопара представляет собой две проволоки из разнородных металлов, нагреваемые концы которых скручиваются, а затем свариваются или спаиваются (рис. 11.6).

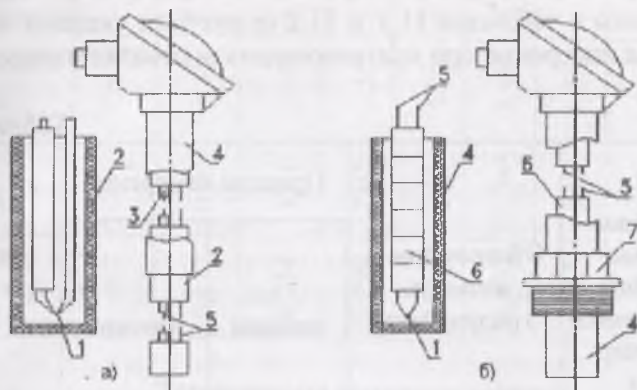


Рис. 11.6. Технические термопары:

А-термопара ТПП; б-термопары ТХК и ТХА ; 1- рабочий спай;
2- фарфоровый защитный чехол; 3 фарфоровая трубка; 4-металлическая трубка; 5-термоэлектроды; 6- фарфоровые бусы;
7- неподвижный штуцер.

Термоэлектроды изолируются обычно одноканальными или двухканальными фарфоровыми трубками и помещаются в защитный чехол. Для соединения термоэлектродов в внешней цепи служит головка термопары, выполненная из электроизоляционного материала.

Для устранения влияния изменения температуры окружающей среды на величину возникающей т.э.д.с. свободные концы термопары термостатируют или применяют специальные компенсирующие устройства. Соединение термопары с вторичными приборами производится термоэлектродными проводами, изготовленными из таких же материалов что и сама

термопара, или из других сплавов, развивающих в пределах до 100 °С т.э.д.с. равную т.э.д.с. термопары.

В качестве вторичных приборов в комплекте с термопарами для измерения температуры используются, как правило, лабораторные или автоматические потенциометры или милливольтметры.

Основные данные серийно выпускаемых термопар приведены в таблицах 11.1 и 11.2 (в скобках указаны верхние пределы измерения при кратковременном режиме измерения).

Таблица 11.1

Основные данные серийно выпускаемых термопар Тип	Обозначение и название градуировки	Пределы измерений		т.э.д. при $t_0=0\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t=100\text{ }^{\circ}\text{C}$
		нижний	верхний	
ТХК	ХК(хромель- копель)	-50 °С	600 (800) °С	6,95 мВ
ТХА	ХА (хромель- аломель)	-50 °С	1000 (1300) °С	4,1 мВ
ТПР	ПР-30/6 (платинородий 30% платина 6%)	+300 °С	1600 (1800) °С	0 мВ
ТПП	ПП- 1(платинородий 10%-платина)	-20 °С	1300 (1600) °С	0,643 мВ

Таблица 11.2

Стандартные градуировочные характеристики некоторых термомпар приведены в таблице 11.2.

t, °C	0	20	40	50	60	80	100	200	300
градуировка									
ХК	0	1,31	2,66	3,35	4,05	5,48	6,95	14,66	22,91
ХА	0	0,80	1,61	2,02	2,43	3,26	4,10	8,13	12,21
ПП-1	0	0,112	0,234	0,299	0,368	0,500	0,643	1,436	2,314

Термометры сопротивления

Термометры сопротивления широко применяют для измерения температуры в интервале от -- 260 до 750°C (рис.11.7). В отдельных случаях они могут быть использованы для измерения температур до 1000°C.



Рис. 11.7. Общий вид термометров сопротивления

Действие термометров сопротивления основано на свойстве вещества изменять свое электрическое сопротивление с изменением температуры.

Термометры сопротивления подразделяются на два вида:

1. Термометры сопротивления, которые изготовлены из хороших проводников – металлов.

2. Термометры сопротивления, которые изготовлены из полупроводников.

У хороших проводников – металлов удельное сопротивление изменяется линейно в зависимости от температуры, а в полупроводниках удельное сопротивление в зависимости от температуры постепенно уменьшается. На основании этого калибруется температура среды в зависимости от удельного сопротивления.

С развитием измерительной техники, наиболее удобными техническими видами термометров стали те, в которых термометрическим признаком является электрический сигнал. Это термосопротивления (металлические и полупроводниковые) и термопары.

В металлическом термометре сопротивления измерение температуры основано на явлении роста сопротивления металла с ростом температуры. Для большинства металлов вблизи комнатной температуры эта зависимость близка к линейной, а для чистых металлов относительное изменение их сопротивления при повышении температуры на 1 К (температурный коэффициент сопротивления) имеет величину близкую к $4 \cdot 10^{-3}$ 1/К. Термометрическим признаком является электрическое сопротивление термометрического тела – металлической проволоки. Чаще всего используют платиновую проволоку, а также медную проволоку или их различные сплавы. Диапазон применения таких термометров от водородных температур (~20 К) до сотен градусов Цельсия. При низких температурах в металлических термометрах зависимость сопротивления от температуры становится существенно нелинейной, и термометр требует тщательной калибровки.

В полупроводниковом термометре сопротивления (термисторе) измерение температуры основано на явлении уменьшения

сопротивления полупроводников с ростом температуры. Так как температурный коэффициент сопротивления полупроводников по абсолютной величине может значительно превосходить соответствующий коэффициент металлов, то и чувствительность таких термометров может значительно превосходить чувствительность металлических термометров.

Специально изготовленное полупроводниковое термосопротивление могут быть использованы при низких (гелиевых) температурах порядка нескольких кельвин. Однако следует учитывать то, что в обычных полупроводниковых сопротивлениях возникают дефекты, обусловленные воздействием низких температур. Это приводит к ухудшению воспроизводимости результатов измерений и требует использования в термосопротивлениях, специально подобранных полупроводниковых материалов.

Другой принцип измерения температуры реализован в термопарах. Термопара представляет собой электрический контур, спаянный из двух различных металлических проводников, один спай которых находится при измеряемой температуре (измерительный спай), а другой (свободный спай) - при известной температуре, например, при комнатной температуре. Из-за разности температур спаев возникает электродвижущая сила (термо-ЭДС), измерение которой позволяет определять разность температур спаев, а, следовательно, температуру измерительного спая.

В таком термометре термометрическим телом является спай двух металлов, а термометрическим признаком - возникающая в цепи термо-ЭДС. Чувствительность термопар составляет от единиц до сотен мкВ/К, а диапазон измеряемых температур от нескольких десятков кельвин (температуры жидкого азота) до полутора тысяч градусов Цельсия. Для высоких температур применяются термопары из благородных металлов. Наибольшее применение нашли термопары на основе спаев следующих материалов: медь-константан, железо-константан, хромель-алюмель, платинородий-платина.

Следует отметить, что термопара способна измерить только разность температур измерительного и свободного

спаев. Свободный спай находится, как правило, при комнатной температуре. Поэтому для измерения температуры термопарой необходимо использовать дополнительный термометр для определения комнатной температуры или систему компенсации изменения температуры свободного спаия.

В радиотехнике часто применяют понятие шумовой температуры, равной температуре, до которой должен быть нагрет резистор, согласованный с входным сопротивлением электронного устройства, чтобы мощность тепловых шумов этого устройства и резистора были равными в определенной полосе частот. Возможность введения такого понятия обусловлена пропорциональностью средней мощности шума (среднего квадрата шумового напряжения на электрическом сопротивлении) абсолютной температуре сопротивления. Это позволяет использовать шумовое напряжение в качестве термометрического признака для измерения температуры. Шумовые термометры используются для измерения низких температур (ниже нескольких кельвинов), а также в радиоастрономии для измерения радиационной (яркостной) температуры космических объектов.

При измерении температуры термометр сопротивления погружают в среду, температуру которой необходимо определить. Зная зависимость сопротивления термометра от температуры, можно по изменению сопротивления термометра судить о температуре среды, в которой он находится. При этом необходимо иметь в виду, что длина чувствительного элемента у большинства термометров сопротивления составляет несколько сантиметров, и поэтому при наличии температурных градиентов в среде термометром сопротивления измеряют некоторую среднюю температуру тех слоев среды, в которых находится его чувствительный элемент.

Термометры сопротивления из чистых металлов, получившие наибольшее распространение, изготавливают обычно в виде обмотки из тонкой проволоки на специальном каркасе из изоляционного материала. Эту обмотку принято называть чувствительным элементом термометра сопротивления. В целях предохранения от возможных механических повреждений и

воздействия среды, температура которой измеряется термометром, чувствительный элемент его заключают в специальную защитную гильзу.

К числу достоинств металлических термометров сопротивления следует отнести: высокую степень точности измерения температуры; возможность выпуска измерительных приборов к ним со стандартной градуировкой шкалы практически на любой температурный интервал в пределах допустимых температур применения термометра сопротивления; возможность централизации контроля температуры путем присоединения нескольких взаимозаменяемых термометров сопротивления через переключатель к одному измерительному прибору; возможность использования их с информационно-вычислительными машинами.

При измерении температуры в промышленных условиях термометры сопротивления применяют в комплекте с логометрами, автоматическими уравновешенными мостами и автоматическими компенсационными приборами. При этом необходимо иметь в виду, что эти приборы снабжают шкалой, отградуированной в градусах Цельсия, которая действительна только для определенной градуировки термометра сопротивления и заданного значения сопротивления проводов, соединяющих термометр с измерительным прибором.

Строение и принцип работы оптических пирометров излагается на лабораторной работе №12

Настоящая методика поверки распространяется на термометры лабораторные электронные различного типа и устанавливает порядок проведения первичной и периодической поверок. Рекомендуемый межповерочный интервал – 12 месяцев.

Операции поверки

При проведении поверки должны выполняться операции, указанные в таблице 11.3. Поверка может быть прекращена при выполнении любой операции, в результате которой получены отрицательные результаты.

Таблица 11.3

№	Наименование операции	Номер пункта методики поверки	Проведение операции при	
			Первичной поверке	Периодической поверке
1.	Внешний осмотр	1.1	+	+
2.	Опробование	2.1	+	+
3.	Определение метрологических характеристик	3.1	+	+

Средства поверки

При проведении поверки рекомендуется применять следующие средства измерений и вспомогательные средства:

- термостаты жидкостные серии «ТЕРМОТЕСТ», ТУ 4211-054-44229117-2008 («ТЕРМОТЕСТ-05-02»: диапазон термостатирования от -80 до +30 °С; стабильность термостатирования в пределах ± 0.02 °С; «ТЕРМОТЕСТ-100»: диапазон термостатирования от -30 до +100 °С; стабильность термостатирования в пределах ± 0.01 °С; «ТЕРМОТЕСТ-300»: диапазон термостатирования от +100 до +300 °С; стабильность термостатирования в пределах ± 0.01 °С);

- термометр сопротивления платиновый эталонный 1 разряда, диапазон температур от -50 до 0.01 °С;

- термометр сопротивления эталонный 1 разряда, диапазон температур от 0 до 300 °С;

- преобразователь сигналов ТС и ТП прецизионный «Теркон» ТУ 4221-040-44229117-2003, погрешность преобразования ТС в значение температуры в диапазоне от -200 до 600 °С ± 0.011 °С;

- кассета для установки эталонного и поверяемых термометров в термостате, которая должна содержать элементы, при помощи которых возможно регулирование глубины погружения датчиков;

- персональный компьютер с установленной программой расчета и установки индивидуальных коэффициентов термометра.

Допускается применение других средства поверки с аналогичными или лучшими метрологическими характеристиками.

1. Проведение поверки

Внешний осмотр. При внешнем осмотре термометра проверяют:

- комплектность согласно руководству по эксплуатации, отсутствие механических повреждений;

- ухудшающих его эксплуатационные свойства;

- правильность и разборчивость маркировки.

Термометр, не удовлетворяющий предъявляемым требованиям, бракуется, его дальнейшая поверка не производится.

2. Опробование

Датчик термометра устанавливается в произвольное положение при комнатной температуре и подключается к электронному блоку, либо непосредственно, либо через кабель-соединитель, входящий в комплект поставки термометра. По истечении двух минут проверяется работоспособность термометра. Далее датчик помещается в сосуд с теплой водой и по истечении двух минут вновь проверяется работоспособность термометра. Термометр подключают к компьютеру посредством кабеля связи из комплекта поставки термометра. При помощи программы «ThermoChart», также входящей в комплект поставки термометра, считывают индивидуальные градуировочные коэффициенты термометра, установленные при предыдущей поверке, и сверяют их с указанными в свидетельстве о поверке (порядок работы с программой «ThermoChart» прилагается в Государственных стандартах).

Термометр считается пригодным к дальнейшей поверке, если:

– термометр реагирует на изменение температуры среды, в которой находится датчик, и характеристики цифровой индикации соответствуют указанным в руководстве по эксплуатации;

– индивидуальные градуировочные коэффициенты термометра соответствуют градуировочным коэффициентам, указанным в его свидетельстве о поверке.

Если индивидуальные градуировочные коэффициенты термометра отличаются от указанных в свидетельстве о поверке, то поверка приостанавливается и термометр бракуется. Дальнейшая поверка возможна только после определения и установки новых значений, индивидуальных градуировочных коэффициентов с участием поверителя по методике.

3. Определение метрологических характеристик

Определение метрологических характеристик производится методом непосредственного сличения показаний поверяемого термометра с показаниями эталонного термометра. Для этого оба термометра помещаются в жидкостные термостаты со следующими температурами теплоносителя: -50; 0; +50; +100; +150; +199.90; +250; +300 °С. Допускается отклонение температур от указанных значений на ± 1 °С, за исключением точек 0 и +199.90°С. В точке 0°С не допускается отклонение температуры теплоносителя в отрицательную сторону. В точке +199.90°С не допускается отклонение температуры теплоносителя в положительную сторону.

3.1 Определение абсолютной погрешности термометра в области отрицательных температур.

3.1.1 Включают низкотемпературный термостат (например, «Термотест-05-02»), обеспечивающий поддержание температуры теплоносителя в диапазоне от -50 до 0°С. На термостат устанавливают кассету, с помощью которой эталонный и поверяемые термометры помещаются в теплоноситель. Термостат переводят в режим поддержания температуры теплоносителя равной (-50 ± 1) °С. Температуру теплоносителя контролируют по показаниям эталонного термометра.

3.1.2 Датчик термометра погружают в теплоноситель на глубину не менее 75 мм. По истечении двух минут снимают не менее 10 показаний эталонного и поверяемого термометров с интервалом в 30 секунд. Результаты поверки заносят в таблицу. Определяют средние значения показаний термометров и подсчитывают их разность.

3.1.3 Термостат переводят в режим поддержания температуры теплоносителя от 0 до +1 °С. Температуру теплоносителя контролируют по показаниям эталонного термометра. Поверку осуществляют так же, как описано в пункте 3.1.2.

3.2 Определение абсолютной погрешности термометра в диапазоне от 0 до +100 °С.

3.2.1 Включают термостат (например «Термотест-100»), обеспечивающий поддержание температуры теплоносителя в диапазоне от 0 до +100 °С. Устанавливают на термостат кассету для термометров.

3.2.2 Осуществляют поверку при температурах +50 и +100 °С по методике, изложенной в пункте 3.1.2.

3.3 Определение абсолютной погрешности термометра в диапазоне от +100 до +300 °С

3.3.1 Включают термостат (например, «Термотест-300»), обеспечивающий поддержание температуры теплоносителя в диапазоне от +100 до +300 °С. Устанавливают на термостат кассету для термометров (кассета сборная из кассет, которые прилагается в приложениях Госстандарта).

3.3.2 Осуществляют поверку термометра при температурах +150, +199,90, +250 и +300 °С по методике, изложенной в пункте 3.1.2.

3.4 Результаты поверки считаются положительными, если абсолютная погрешность термометра не превысит по модулю 0,05 °С в диапазоне от -50 до +199,99 °С и не превысит по модулю 0,2 °С в диапазоне от +200 до +300 °С. Если абсолютная погрешность термометра превысит по модулю 0,05 °С в диапазоне измерений от -50 до +199,99 °С и, соответственно, 0,2 °С в диапазоне измерений от +200 до +300 °С, то поверитель может скорректировать индивидуальные коэффициенты термометра по методике. После коррекции

градуировочных коэффициентов процедуру определения метрологических характеристик термометра следует провести повторно. Если же и после коррекции абсолютная погрешность термометра превысит по модулю $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ в диапазоне измерений от -50 до $+199,99\text{ }^{\circ}\text{C}$ и, соответственно, $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ в диапазоне измерений от $+200$ до $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$, то термометр бракуется.

Описания лабораторной установки

Для поверки термометров надо собрать специальную установку которая используется для поверки различных видов термометров по методике Государственного стандарта. На рисунке 11.8 приведен общий вид лабораторной установки по поверке термометров. А на рисунке 11.9 приведена принципиальная схема лабораторной установки.

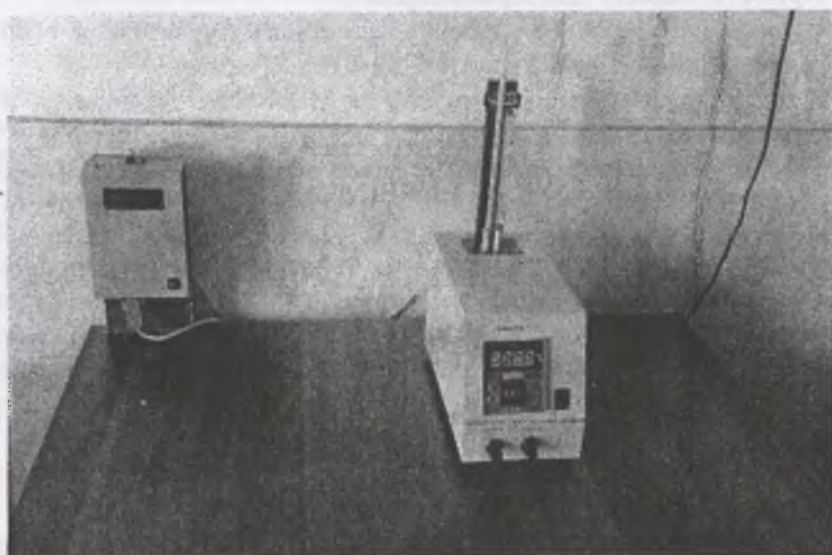


Рис.11.8. Общий вид лабораторной работы для поверки термометров.

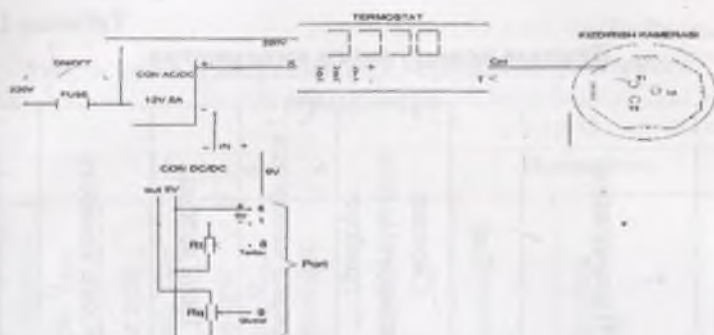


Рис. 11.9. Принципиальная схема лабораторной установки.

Установка для поверки термометров рассчитана, одновременно для поверки двух различных термометров (рис. 11.9.). В качестве образцового термометра берется ртутный термометр с классом точности 0,01. Все три термометры установлены в одной камере, на одном уровне. В качестве поверяемого термометра установлен электронный термоэлектрический термометр и спиртовой термометр. Электронный термометр максимальна измеряют до 300°C, ртутный термометр измеряют до 90°C и спиртной термометр измеряют до 70°C. На нагревательную камеру термостата подается напряжение с значением 12 В. Поверка термометров производится по методике Государственного стандарта при повышении и при понижении значений термометров. Установка соединена на компьютер. После занесения данных в память регистратор, необходимо нажать кнопку регистратора и при этом данные автоматический отправляются на компьютер.

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему (рис. 11.9) и дать ее проверить преподавателю.
2. Заполнить таблицу №11.4
3. Общий вид лабораторной работы приведена на рис.11.8.

Таблица 11.4

Данные испытуемого амперметра

№ пп	Наименование	Тип	Система измерительного прибора	Предел измерения	Цена деления	Класс точности	Заводской номер
1.	Образцовый прибор						
2.	Испытуемый прибор						
3.	Испытуемый прибор						

4. Запишем показания термометров при комнатной температуре.

5. С помощью ручки «улаш» подключаем в сеть лабораторной установки.

6. С помощью ручки «+» постепенно увеличиваем температуру на 2, 5 или 10 градусов и после установления стабильности температуры запишем показания термометров и занесем в таблицу 11.5. для термоэлектрического термометра и 11.6 для спиртового термометра.

7. Температуру повышая до 60°C запишем все показания термометров и выключаем установку и запишем все показания термометров при понижении при тех же значениях и запишем в таблицу.

8. Определить абсолютные, относительные и приведенные погрешности и поправки.

8. Сделать заключение о годности испытуемого вольтметра.

9. По полученным данным построить кривую поправок в зависимости от показаний испытуемого прибора.

Таблица 11.5

**Результаты измерений для термоэлектрического
термометра**

№	Измерено				Вычислено							
	Показание образц. амперметра, $V_{\text{ном}}$	Значение при повышении, $V_{\text{изм}}$	Значение при понижении, $V_{\text{изм}}$	Среднее значение	Абс. ошибка, $\Delta V_{\text{абс}}$	Отн. ошибка $E, \%$			Прив. Ошибка $\gamma, \%$			Поправка
1.												
2.												
3.												

Таблица 11.6

Результаты измерений для спиртового термометра

№	Измерено				Вычислено			
	Показание образц. амперметра, $V_{\text{ном}}$	Значение при повышении, $V_{\text{изм}}$	Значение при понижении, $V_{\text{изм}}$	Среднее значение	Абс. ошибка, $\Delta V_{\text{абс}}$	Отн. ошибка $E, \%$	Прив. Ошибка $\gamma, \%$	Поправка
1.								
2.								
3.								

Обработка полученных результатов

1. Среднеарифметическое значение термометра при повышении и при понижении:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_0^I + T_0^{II}}{2}$$

2. Абсолютная ошибка вольтметра:

$$\Delta T^I = T_x - T_0^I; \Delta T^{II} = T_x - T_0^{II}; \Delta T_{\text{ср}} = T_x - T_{0\text{ср}}$$

3. Относительная ошибка вольтметра:

$$T^I = \frac{\Delta T^I}{T_0^I} \cdot 100\%; T^{II} = \frac{\Delta T^{II}}{T_0^{II}} \cdot 100\%; T_{\text{ср}} = \frac{\Delta T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}}} \cdot 100\%$$

4. Приведенная ошибка вольтметра:

$$\gamma^I = \frac{\Delta T^I}{T_{\text{мах}}} \cdot 100\%; \gamma^{II} = \frac{\Delta T^{II}}{T_{\text{мах}}} \cdot 100\%; \gamma_{\text{ср}} = \frac{\Delta T_{\text{ср}}}{T_{\text{мах}}} \cdot 100\%;$$

где $T_{\text{мах}}$ — максимальная граница измерительного прибора.

Из анализа экспериментальных данных выводятся годность измерительного прибора к использованию. Если рассчитанное максимальное значение приведенной ошибки термометра, ниже по сравнению указанного класса точности, то показания измерительного прибора считается правильными и она годная к дальнейшему использованию. Значение приведенной ошибки больше по сравнению указанного класса точности, то такой термометр считается негодным к использованию.

5. Поправка для термометра:

$$\Delta T = T_x - T_0.$$

6. Сопротивление термометра:

$$R_{UX} = \frac{U_0}{I_0}$$

Контрольные вопросы

1. Основные понятия температуры.
2. Применение термометров.
3. Разновидности термометров.
4. Значение термометров в повседневной жизни.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12

ДИСТАНЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ ПИРОМЕТРА

Цель работы: Изучение принципа работы и действия инфракрасных пирометров и определение температуры нагретого тела.

Задание: Провести поверку прибора результат записать в таблицу.

Теоретическая часть

Пирометр — прибор для бесконтактного измерения температуры тел. Принцип действия основан на измерении мощности теплового излучения объекта измерения преимущественно в диапазонах инфракрасного излучения и видимого света (рис.12.1).



Рис. 12.1 Общий вид оптических пирометров

Пирометры применяют для дистанционного определения температуры объектов в промышленности, быту, сфере ЖКХ, на предприятиях, где большое значение приобретает контроль температур на различных технологических этапах производства (сталелитейная промышленность, нефтеперерабатывающая отрасль). Пирометры могут выступать в роли средства безопасного дистанционного измерения температур раскаленных объектов, что делает их незаменимыми для обеспечения должного контроля в случаях, когда физическое взаимодействие с контролируемым объектом невозможно из-за высоких температур. Их можно применять в качестве теплотокаторов (усовершенствованные модели), для определения

областей критических температур в различных производственных сферах.

Один из первых пирометров изобрёл Питер ван Мушенбрук. Изначально термин использовался применительно к приборам, предназначенным для измерения температуры визуально, по яркости и цвету сильно нагретого (раскалённого) объекта. В настоящее время смысл несколько расширен, в частности, некоторые типы пирометров (такие приборы правильнее называть *инфракрасные радиометры*) измеряют достаточно низкие температуры (0°C и даже ниже).

Развитие современной пирометрии и портативных пирометров началось с середины 60-х годов прошлого столетия и продолжается до сих пор. Именно в это время были сделаны важнейшие физические открытия, позволившие начать производство промышленных пирометров с высокими потребительскими характеристиками и малыми габаритными размерами. Первый портативный пирометр был разработан и произведен американской компанией Wahl в 1967 году. Новый принцип построения сравнительных параллелей, когда вывод о температуре тела производился на основе данных инфракрасного приемника, определяющего количество излучаемой телом тепловой энергии, позволил существенно расширить границы измерения температур твердых и жидких тел.

Пирометры можно разделить по нескольким основным признакам:

Оптические пирометры – позволяют визуально определять, как правило, без использования специальных устройств, температуру нагретого тела, путем сравнения его цвета с цветом эталонной нити.

Радиационные пирометры – оценивают температуру посредством пересчитанного показателя мощности теплового излучения. Если пирометр измеряет в широкой полосе спектрального излучения, то такой пирометр называют пирометром полного излучения.

Цветовые пирометры – (другие названия: мультиспектральные, спектрального отношения) — позволяют делать вывод

о температуре объекта, основываясь на результатах сравнения его теплового излучения в различных спектрах.

Низкотемпературные пирометры обладают способностью показывать температуры объектов, обладающих даже отрицательными значениями этого параметра.

Высокотемпературные оценивают лишь температуру сильно нагретых тел, когда определение «на глаз» не представляется возможным. Обычно имеют сильное смещение в пользу «верхнего» предела измерения.

По назначению пирометры разделяются на переносные и стационарные.

Переносные пирометры – удобны в эксплуатации в условиях, когда необходима высокая точность измерений, в совокупности с хорошими подвижными свойствами, например, для оценки температуры труднодоступных участков трубопроводов. Обычно снабжены небольшим дисплеем, отображающим графическую или текстово-цифровую информацию.

Стационарные пирометры – предназначены для более точной оценки температуры объектов. Используются в основном в крупной промышленности, для непрерывного контроля технологического процесса производства расплавов металлов и пластиков.

Текстово-цифровым методом измеряемая температура выражается в градусах на цифровом дисплее. Попутно можно видеть дополнительную информацию.

Графический метод – позволяет видеть наблюдаемый объект в спектральном разложении областей низких, средних и высоких температур, выделенных различными цветами.

Вне зависимости от классификации, пирометры могут снабжаться дополнительными источниками питания, а также средствами передачи информации и связи с компьютерами или специализированными устройствами.

Самыми важными характеристиками пирометра, определяющими точность измерения температуры, являются оптическое разрешение и настройка степени черноты объекта.

Иногда оптическое разрешение называют показателем визирования. Этот показатель рассчитывается как отношение

диаметра пятна (круга) на поверхности, излучение с которого регистрируется пирометром, к расстоянию до объекта. Чтобы правильно выбрать прибор, необходимо знать сферу его применения. Если необходимо проводить измерения температуры с небольшого расстояния, то лучше выбрать пирометр с небольшим разрешением, например, 4:1. Если температуру необходимо измерять с расстояния в несколько метров, то рекомендуется выбирать пирометр с большим разрешением, чтобы в поле зрения не попали посторонние предметы. У многих пирометров есть лазерный целеуказатель для точного наведения на объект.

Коэффициент эмиссии ϵ (коэффициент излучения, степень черноты) – способность материала отражать падающее излучение. Данный показатель важен при измерении температуры поверхности с помощью инфракрасного термометра (пирометра). Этот показатель определяется как отношение энергии, излучаемой данной поверхностью при определенной температуре к энергии излучения абсолютно чёрного тела при той же температуре. Он может принимать значения от 0 до 1.

Применение неверного коэффициента эмиссии — один из основных источников возникновения погрешности измерений для всех пирометрических методов измерения температуры. На коэффициент излучения сильно влияет окисленность поверхности металлов. Так, если для стали окисленной коэффициент составляет примерно 0,85, то для полированной стали он снижается до 0,075.

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

В основе люминесцентных методов измерения температуры лежит температурная зависимость интенсивности люминесцентного излучения некоторых люминофоров, которое находит применение в различных датчиках измерения температуры и термопокрытиях.

Современные волоконно-оптические датчики позволяют измерять многие характеристики лабораторных и промыш-

ленных объектов, в частности температуру. Не смотря на то, что их использование достаточно трудоемко, оно дает ряд преимуществ, использования подобных датчиков на практике:

безындукционность (т.е. неподверженность влиянию электромагнитной индукции); малые размеры датчиков, эластичность, механическая прочность, высокая коррозионная стойкость и т.д.

1. Датчик на основе теплового излучения. В качестве устройств для измерения температуры могут быть использованы волоконно-оптические датчики на основе теплового излучения, сущность которых раскрываемая в частности состоит в следующем. Изучаемое вещество при температуре большей 0 К вследствие тепловых колебаний атомов и молекул испускает тепловое излучение. Энергия излучения увеличивается по мере повышения температуры, а длина волны, на которой излучение максимально, уменьшается. Соответственно для определения температуры можно использовать формулу Планка для энергии теплового излучения черного тела на фиксированной длине волны или в диапазоне волн.

Основным преимуществом данного способа является возможность бесконтактного измерения высоких температур. В зависимости от диапазона измеряемых температур выбирают световые детекторы и оптические волокна. Область измерения температур для волоконно-оптических датчиков излучения находится в пределах от 400 до 2000 °С. При использовании оптических волокон, прозрачных для инфракрасных лучей с длиной волны 2 мкм и более, можно осуществлять измерение и более низких температур.

2. Датчик на основе поглощения света полупроводником. Известны также волоконно-оптические датчики, работа которых основана на оптических свойствах некоторых полупроводников. Используемый полупроводник имеет граничную длину волны спектра оптического поглощения. Для света с более короткой длиной волны, чем у проводника, поглощение усиливается, причем по мере роста температуры граничная длина волны отодвигается в сторону более длинных волн (около 3 нм/К). При подаче на полупроводниковый

кристалл луч от источника света, имеющего спектр излучения в окрестности указанной границы спектра поглощения, интенсивность света, проходящего через светочувствительную часть датчика, с повышением температуры будет падать. По выходному сигналу детектора, указанным методом можно регистрировать температуру.

Используя данный метод можно мерить температуру в интервале от 30 до 300 °C с погрешностью $\pm 0,5$ °C.

3. Датчик на основе флуоресценции. Данный датчик устроен следующим образом. На торец оптического волокна светочувствительной части нанесено флуоресцентное вещество. Флуоресцентное излучение, возникающее под воздействием ультрафиолетовых лучей, проводимых оптическим волокном, принимается этим же волокном. Температурный сигнал выявляется путем вычисления отношения соответствующих значений интенсивности флуоресцентного излучения для сигнала с длиной волны, сильно зависящего от температуры к интенсивности сигнала с другой длиной волны, слабо зависящего от температуры.

Область измеряемых температур таким датчиком находится в пределах от -50 до 200 °C с погрешностью $\pm 0,1$ °C. Использование волоконно-оптических датчиков, при всей своей привлекательности, позволяет производить измерение температуры только в локальной точке объекта, что несколько сужает область их применения.

Пирометром называют прибор, который измеряет температуру по тепловому электромагнитному излучению и представляет информацию в форме, удобной для пользователя. Инфракрасные пирометры, использующие метод радиационной пирометрии, являются наиболее распространенным классом среди устройств подобного рода (другие названия — инфракрасный термометр или инфракрасный радиометр). Конструктивно такой пирометр представляет собой пирометрический преобразователь и устройство отображения информации, аналоговое или цифровое.

Принцип действия инфракрасного пирометра основан на измерении абсолютного значения амплитуды электромаг-

нитного излучения от объекта в инфракрасной части спектра и последующем преобразовании измеренного значения в температуру. Схема такого пирометра с оптическим видоискателем изображена на рисунке 12.2.

Тепловой луч, сфокусированный оптической системой, падает на датчик (первичный пирометрический преобразователь), в результате на выходе образуется электрический сигнал, пропорциональный значению температуры объекта измерения. Этот сигнал проходит через электронный преобразователь (вторичный пирометрический преобразователь), попадает в измерительно-счетное устройство и обрабатывается в нем. Результат отображается на дисплее. Чтобы получить точное значение температуры объекта, пользователю нужно лишь включить прибор, навести его на объект измерения и нажать на кнопку. Измерения можно проводить практически на любом расстоянии, дальность действия современных пирометров ограничивается только площадью измеряемого пятна и прозрачностью среды.

К основным техническим характеристикам пирометров относят:

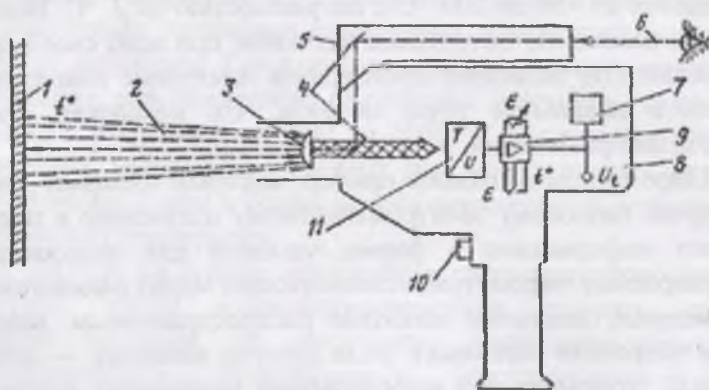


Рис.12.2. Устройство пирометра:

- 1 — объект измерения; 2 — тепловое излучение; 3 — оптическая система; 4 — зеркало; 5 — видоискатель; 6 — ось видоискателя;
7 — измерительно-счетное устройство; 8 — корпус; 9 —
электронный преобразователь; 10 — кнопка; 11 — датчик.

- оптическое разрешение (встречаются модели с разрешением от 2 до 600 ± 1);
 - диапазон измеряемых температур (max от -50 до 4000°C или меньше);
 - измеряемое разрешение — 1 или $0,1^{\circ}\text{C}$;
 - точность измерения (оптимальная $\pm 1,5\%$);
 - быстродействие (у современных очень высокое — менее 1 секунды);
 - коэффициент излучения — переменный либо фиксированный;
 - способ нацеливания — оптический либо лазерный прицел.
- Рассмотрим некоторые из этих характеристик подробнее.

Оптическое разрешение

Оптическим разрешением (другое название — показатель визирования) называют отношение диаметра светового пятна и расстояния до объекта измерения. В технической документации к пирометру обычно указывается конкретное значение показателя визирования или приводится диаграмма направленности.



Рис.12.3. Пример диаграммы направленности пирометра.

Соответственно, диаметр измеряемого пятна определяется оптическим разрешением и зависит от расстояния между пирометром и объектом измерения ($S = k \cdot D$, где k — показатель визирования, D — расстояние до объекта). Минимальный диаметр пятна соответствует наименьшему размеру объекта, который может быть измерен этим пирометром на заданном расстоянии. Чем больше величина оптического разрешения (S/D , хотя иногда используют обратную величину D/S), тем более мелкие предметы может различать пирометр. Точность измерения не зависит от расстояния до объекта до тех пор, пока диаметр измеряемого пятна меньше размера объекта. Если же диаметр пятна становится больше, прибор начинает принимать излучение от других объектов, и это оказывает значительное влияние на результаты измерения.

На рисунке 12.4 приведены различные варианты расположения пятна визирования:



Рис.12.4. Различные варианты положения пятна визирования.

1. правильно — в этом случае точность определяется исключительно характеристиками прибора и не зависит от расстояния;
2. критическое — диаметр пятна равен размеру поверхности объекта, возможно увеличение погрешности измерения;
3. закритическое — точность измерения значительно падает, измерения проводить не рекомендуется.

Фокусное расстояние

Для многих пирометров диаграмму направленности пирометра можно считать конической только на достаточно больших расстояниях, вблизи она имеет гораздо более сложную форму. Очень часто зона чувствительности пирометра сначала

сужается до своего минимального диаметра, а затем начинает расширяться в виде конуса. Расстояние, на котором достигается минимальный диаметр, называется фокусным расстоянием F , для пирометров с подобной диаграммой направленности этот параметр должен указываться в технической документации. Существует класс специальных короткофокусных пирометров с фокусом в районе 30...60 см и диаметром пятна 5...8 мм.

Диапазон температур и рабочая длина волны

Диапазон измеряемых температур для конкретной модели пирометра определяется рабочей длиной волны. Пирометры, предназначенные для измерения высоких температур, работают на более коротких волнах, поскольку с ростом температуры спектр излучения смещается в сторону коротких частот. Как правило, для пользователя рабочая частота не так важна, поэтому в технических характеристиках данный параметр часто не указывается, но обязательно указывается диапазон рабочих температур.

Описание установки лабораторной работы

Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рис. 12.5. Как видно из схемы, сетевое напряжение поступает на AC/DC конвертор через предохранитель и тумблер «Ulash». С выхода конвертора снимается напряжения 12 В и подается на нагревательный элемент через схему стабилизатора и регулятора напряжения, которое выполнено на элементах R_1 , R_2 , R_3 и стабилизатора напряжения DA1(TL317). Выходное напряжение выводится на клеммах и через провод подключается к нагревательному элементу. Переменным сопротивлением R_2 регулируется выходное напряжение в диапазоне 1-12В и соответственно регулируется температура нагревательного элемента. Температура нагревательного элемента достигается до 450 градуса при токе 4А.

Установка имеет узел для ввода значение температуры нагретого тела. Регистратору данные о значении температуры вводиться вручную с помощью переменного резистора R_t .

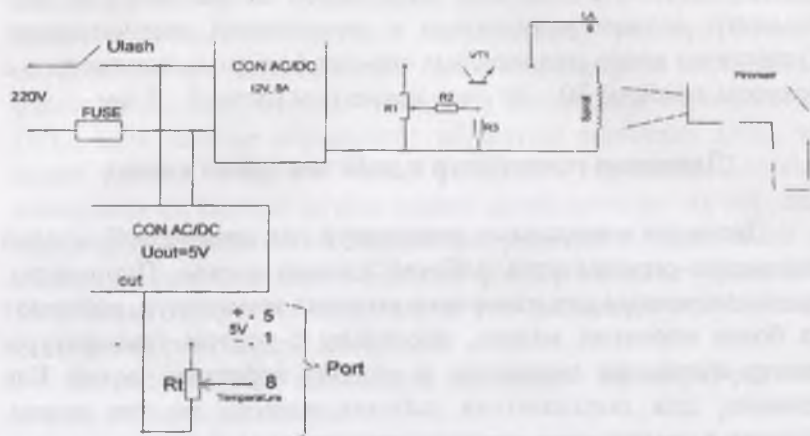


Рис.12.5. Принципиальная схема лабораторной установки

Для контроля и передачи в компьютер, ток в цепи снижается прямо с выхода коммутирующего транзистора. В качестве сопротивления шунта, использовано сопротивление нагревающего элемента.

После занесения данных в память регистратор, необходимо нажать кнопку регистратора и при этом данные автоматический отправляются на компьютер.

Порядок выполнения работы

1. Общий вид лабораторной работы определение температуры с помощью пирометра приведена на рис. 12.6.
2. Лабораторный стенд работает от сети напряжение 220 В. Для безопасности работ и согласно по технике безопасности стенд необходимо заземлить.
3. Убедиться в том, что пирометр и нагревательный элемент стоит ровно, кабель связи с регистратором подключен.

4. Произвести расчет охвата зоны измеряемого объекта, согласно вышеуказанной описании.
5. Включить питания установки тумблером «Ulash» .

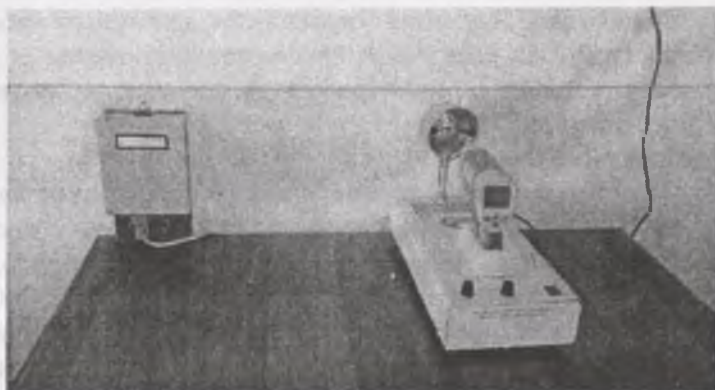


Рис.12.6. Общий вид лабораторной работы определение температуры с помощью пирометра.

6. Регулятором «I» установить начальный ток нагревателя. Установленный ток высвечивается на регистраторе.
7. Нажатием кнопки пирометра измерить температуру нагревателя.
8. Снимите пирометр с места и произвести измерение температуры в разных расстояниях. Запишите результаты измерения в таблицу.
9. Регулятором «I» установите следующие значение тока и повторите измерение.
10. Результаты измерения температуры занесите в регистратор с помощью ручки «Т», а потом нажмите кнопки на регистраторе. Информация отправляется на компьютер.

Контрольные вопросы

1. Принцип работы пирометров.
2. Типы пирометров.
3. Применение пирометров.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13

ПОВЕРКА АНАЛИТИЧЕСКИХ ВЕСОВ

Цель работы: Изучения строения и принципа работы аналитических весов. Ознакомление с методами поверки.

Задание: Освоить принцип работы и произвести поверку аналитических весов.

Теоретическая часть

Аналитические весы служат для точного определения массы тел. В лабораториях распространены 2 типа весов: весы с рейтером, которые уже не выпускаются промышленностью, но еще находятся в эксплуатации, и весы типа АДК-200 с накладными гирями и оптическим отсчетом. Основной частью весов является равноплечий рычаг, называемый коромыслом. В середине коромысла перпендикулярно к его плоскости укреплена агатовая призма. Ребром своим призма опирается на плоскую агатовую подушку, укрепленную на верху колонки. На равных расстояниях от средней призмы, у нижних концов рамы коромысла, расположены еще 2 призмы, на которые с помощью сережек подвешены чашки. В середине нижней части коромысла укреплена стрелка, позволяющая отсчитывать отклонения коромысла от положения равновесия по шкале, укрепленной в нижней части колонки весов. Весы монтируются на пластмассовом или стеклянном основании и закрыты ящиком с подъемной стеклянной передней стенкой и стеклянными боковыми дверцами.

Для предохранения ребер агатовых призм от преждевременного изнашивания весы снабжены арретиром – приспособлением, позволяющим коромысла и чашки поднять немного вверх и вывести ребра призм из соприкосновения с соответствующими подушками. Для арретирования весов и освобождения призмы от давления служит рукоятка, помещенная под плитой весов. Арретирование производится вращением этой рукоятки. Когда весами не пользуются, а также при смене нагрузок во время взвешивания, весы обязательно должны быть арретированы.



Рис.13.1. Общий вид аналитических весов.

Разновес, который прилагается к аналитическим весам с рейтером состоит из набора гирь массой от 100 гр. до 10 мг. Для взвешивания с точностью большей, чем позволяет разновес, весы снабжаются рейтером – проволоочной гирькой, которую удобно сажать верхом на одно из плеч коромысла весов. Каждое из плеч коромысла обычно разделено попереху на 10 частей. Рейтеры изготавливаются весом 1 или 10 мг. Будучи повешен на 1 деление, рейтер создает действующий на коромысла момент, эквивалентный нагрузке 1 мг., положенный в чашку, если рейтер повешен на второе деление, то момент эквивалентен 2 мг и т. д.

Навешивание и перемещение рейтера производят специальным подвижным стержнем, пропущенным через правую стенку ящика весов. Стержень оканчивается крючком, которым зацепляют уши рейтера.

Существуют два вида поверки весов:

Первичная – производится при выпуске весов(гирь) из производства или ремонта или при ввозе по импорту;

Периодическая – ей подлежат весы (гири), находящиеся в эксплуатации, периодичность такой поверки - 1 раз в год;

После необходимой подготовки производится поверка весов. Вы получаете годные к эксплуатации весы и Вам не нужно тратить своё время на поездку в уполномоченный метрологический орган, который может забраковать Ваши весы

из-за не соответствия требуемым метрологическим характеристикам и другим параметрам, включая внешний вид.

Поверка осуществляется при помощи эталонных гирь, которые с точностью воспроизводят заданную массу. Для весов различного класса точности применяются разные наборы гирь: от 1 мг для аналитических весов и до 10 кг для торговых. Исследование состояния весов осуществляется в три этапа:

- на первом этапе поверка происходит без нагрузки и заключается в осмотре весов на правильность установки и наблюдении их реакции при намеренной нагрузке.

- на втором этапе используется образцовая гиря, имеющая массу $1/10$ от максимально допустимой нагрузки взвешивания, которая ставится по углам и в центре платформы.

- на третьем этапе определяется точность весов при их максимальной нагрузке, при этом гиря ставится в центр платформы.

Если весы прошли поверку и соответствуют требованиям, то представитель государственных метрологических органов оформляет свидетельство и наносит на оборудование поверительное клеймо. Если полученные в ходе взвешиваний данные не соответствуют заявленным в паспорте, владельцу выдается извещение о непригодности оборудования, в котором указывается, что весы нуждаются в калибровке либо ремонте. После удачной поверки свидетельство остается у владельца оборудования, а клеймо – на самих весах.

Аналитические весы допускают взвешивание тел не больше определенного предельного веса. Эта предельная нагрузка либо указывается на самих весах или в их паспорте, либо может быть определена, как суммарный вес приложенного к весам разновеса.

Весы АДК-200-М для удобства работы снабжены демпфером – устройством, увеличивающим затухания колебаний коромысла настолько, что движение стрелки становится апериодическим и она не колеблется около положения равновесия, а медленно приближается к нему и останавливается вблизи этого положения с той стороны, с которой к нему двигалась.

Рейтер в этих весах отсутствует. Весы снабжены встроенными в них миллиграммовыми гирями от 10 до 1210 мг, навешиваемыми на планку, укрепленную на серге правой чашки весов. Управление гирями производится с помощью вращающихся лимбов, расположенных справа на футляре весов, через рычаги. При вращении внутреннего лимба происходит накидывание или снятие десятков мг., при вращении внешнего лимба сотен мг. Стрелка весов снабжена в своем нижнем конце шкалой с отсчетом от 0 до 10 мг. в обе стороны. Микрошкала с помощью оптического устройства проецируется на экран, расположенный перед колонкой весов. Включение подсветки оптического устройства (вейтографа) производится одновременно с разарретированием весов рукоятки, в механических и электромеханических весах процесс взвешивания заключается в сравнении взвешиваемого груза с системой встроенных гирь и пружин, а также внешних гирь с помощью индикатора положения равновесия.

В электронных весах процесс взвешивания заключается в процессе сравнения взвешиваемого груза и эталонного груза калибровки, значение которого сохраняется в памяти электронного блока весов. По принципу измерения электронной весы могут быть тензовесами или весами с электромагнитной системой.

В наиболее простых из электронных весов - тензовесах взвешивание происходит посредством измерения напряжения упругого тела, с которым связана чашка весов.

Весы с электромагнитной системой - это весы, в которых через сложную систему рычагов и пружин уравнивание взвешиваемого груза происходит при помощи электромагнитной катушки и измерения, проходящего через нее тока. Такие весы более долговечны при эксплуатации, поскольку в них все механические части фактически являются неподвижными - весы находятся в постоянном состоянии равновесия.

1. Операции и средства поверки

1.1. При проведении поверки должны быть выполнены операции и применены средства, указанные в таблице 13.1.

Таблица 13.1

Наименование операции	Номер пункта методических показаний	Средства поверки и их нормативно-технические характеристики
Внешний осмотр	3.1.	---
Опробование	3.2.	---
Определение метрологических параметров	3.3.	---
Определение непостоянства показаний ненагруженных весов	3.3.1.	Образцовые гири III разряда по ГОСТ 7328
Проверка независимости показаний весов от положения груза на грузоприемном устройстве	3.3.2.	Средства по п.3.3.1.
Определение погрешности нагруженных весов и размах показаний при наибольшем пределе взвешивания (НВП)	3.3.3.	Средства по п.3.3.1
Определение влияния компенсации массы тары на погрешность ненагруженных весов	3.3.4.	Средства по п.3.3.1
Определение погрешности вычисления количества изделий (для режима счетных весов)	3.3.5.	Средства по п.3.3.1

2. Условия поверки и подготовка к ней

2.1. Условия поверки должны соответствовать рабочему диапазону: температур, относительной влажности и атмосферного давления, предусмотренному в эксплуатационной документации на весы конкретного типа.

2.2. Питание весов переменным током частотой, Гц (50±1)

напряжением, В $220 \pm 10\% - 15\%$

2.3. Весы должны быть выдержаны при температуре поверки не менее 2 часов, время прогрева весов до начала поверки должно быть не менее 30 минут.

Проведение поверки

3.1. Внешний осмотр

3.1.1. При внешнем осмотре весов должно быть установлено:

отсутствие на внешних частях весов сколов, трещин и признаков коррозии;

наличие всех органов управления и всех устройств, указанных в эксплуатационной документации;

3.2. Опробование

3.2.1 При опробовании весов проверяют все функции весов, включая счетные функцию, и работоспособность устройств (при наличии), сигнализирующих о неисправностях и перегрузке, систему компенсации массы тары в соответствии с требованиями эксплуатационной документации.

3.3. Определение метрологических параметров

Определяют непостоянство показаний ненагруженных весов, независимость показаний весов от положения груза на грузоприемном устройстве, чувствительность и погрешность показаний нагруженных весов, размах показаний при НВП весов методами, указанными в п.п.3.3.1.-3.3.4. Метрологические параметры весов определяют методом непосредственной оценки при помощи образцовых гирь 3-го разряда.

3.3.1. Определение непостоянства показаний ненагруженных весов. Непостоянство показаний ненагруженных весов определяют перед определением других метрологических параметров нагруженных весов. Непостоянство показаний

ненагруженных весов определяют помещением груза, равного НВП на грузоприемное устройство. После снятия груза следят за возвращением отсчетного устройства в нулевое положение. Непостоянство показаний ненагруженных весов не должно превышать $+1e$.

3.3.2. Проверка независимости показаний весов от положения груза на грузоприемном устройстве. Независимость показаний весов от положения груза на грузоприемном устройстве проверяют при нагружении весов образцовыми гириями массой, соответствующей $1/3$ НПВ (НВП – наибольший предел взвешивания). Образцовые гири размещают в центре грузоприемного устройства, а затем поочередно на одну из половин грузоприемного устройства как показано на чертеже. Гири не должны выходить за пределы грузоприемного устройства. При каждом положении гирь на грузоприемном устройстве снимают показания весов. Операцию проводят дважды. Наибольшая разность между показаниями весов при любом положении гирь грузоприемном устройстве и показанием весов при центральном расположении гирь не должна превышать предела допускаемой погрешности, указанного в эксплуатационной документации.

3.3.3. Определение погрешности нагруженных весов и размаха показаний при НПВ. Погрешность нагруженных весов определяют при нагружении и разгрузке нагрузками, равными десяти значениям массы, равномерно распределенным во всем диапазоне взвешивания, включая НмПВ (НмПВ – наименьший предел взвешивания), $5000e$ и НПВ. За погрешность нагруженных весов принимают разность между показаниями весов и действительным значением массы образцовых гирь, помещенных на грузоприемное устройство.

Погрешность весов не должна превышать предела допускаемой погрешности указанного в эксплуатационной документации на весы конкретного типа.

Размах показаний весов при НПВ определяют наложением образцовых гирь массой, равной НПВ весов, в центр грузоприемного устройства, после этого снимают показания весов и образцовые гири убирают с грузоприемного устройства, затем

образцовые гири снова помещают на грузоприемное устройство и снимают показания весов. Эту операцию повторяют пять раз. За размах показаний принимают наибольшую разность между показаниями нагруженных весов. Размах показаний весов не должен превышать предела допускаемой погрешности ненагруженных весов.

3.3.4. Определение влияния компенсации массы тары на погрешность при нагружении весов. Определение влияния компенсации массы тары производят не менее чем в 3-х точках диапазона взвешивания. Для этого на грузоприемное устройство помещают гири равные по массе максимально возможному значению компенсации массы тары, указанному в эксплуатационной документации. После этого производят компенсацию массы тары и, помещая на грузоприемное устройство образцовые гири определяют погрешность нагруженных весов.

Погрешность нагруженных весов с использованием компенсации массы тары не должна превышать предела допускаемой погрешности, установленного в эксплуатационной документации.

3.3.5. Определение погрешности вычисления количества изделий (для режима счетных весов). Определение погрешности вычисления количества изделий, среднее значение массы которых введено в весы, проводят сравнением показаний количество изделий с частным от деления значения массы взвешиваемых изделий на заданное значение массы одного изделия.

Погрешность вычисления количества изделий, среднее значение массы которых введено в весы, не должна быть более одного изделия.

Контрольные вопросы

1. Применение аналитических весов.
2. Разновидности аналитических весов.
3. Принцип действия аналитических весов.
4. Расскажите поверка аналитических весов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14

ПОВЕРКА pH- МЕТРОВ

Цель работы: Изучение принципа работы pH – метров и ознакомление с методиками поверки.

Задание: Провести измерения различных растворов. Произвести поверку прибора.

Теоретическая часть

pH-метр — прибор для измерения водородного показателя (показателя pH), характеризующего активность ионов водорода в растворах, воде, пищевой продукции и сырьё, объектах окружающей среды и производственных системах непрерывного контроля технологических процессов, в том числе в агрессивных средах (рис.14.1). В частности, pH-метр применяется для аппаратного мониторинга pH растворов, разделения урана и плутония, где требования к корректности показаний аппаратуры без её калибровки.



Рис.14.1. Общий вид лабораторного pH – метра.

Действие pH-метра основано на измерении величины ЭДС электродной системы, которая пропорциональна активности ионов водорода в растворе — pH (водородному показателю). Измерительная схема, по сути, представляет собой вольтметр, проградуированный непосредственно в единицах pH для

конкретной электродной системы (обычно измерительный электрод — стеклянный, вспомогательный — хлорсеребряный).

Входное сопротивление прибора должно быть очень высоким — входной ток не более 10^{-10} А (у хороших приборов менее 10^{-12} А), сопротивление изоляции между входами не менее 10^{11} Ом, что обусловлено высоким внутренним сопротивлением зонда — стеклянного электрода. Это основное требование к входной схеме прибора.

Исторически, сначала ЭДС измерялась компенсационным методом с помощью потенциометра и чувствительного гальванометра. Когда схема в равновесии, ток через гальванометр не течет, и нагрузка на электроды не действует — по шкале потенциометра корректно отсчитывается ЭДС. Так же применялся метод с баллистическим гальванометром. Сначала от электродов заряжался конденсатор, затем он разряжался на рамку гальванометра, максимальное отклонение которой пропорционально заряду конденсатора, а следовательно — напряжению.

Далее появились приборы с входным усилителем на электронных лампах. Специальные («электрометрические») лампы имеют ток утечки сетки порядка пикоампер, что позволяет получать большие входные сопротивления. Недостатком таких схем является большой дрейф и уход калибровки из-за неизбежного старения и изменения характеристик лампы.

Решить проблему дрейфа и одновременно высокого входного сопротивления позволили компенсационные схемы с усилителем, построенным по принципу модулятор — демодулятор. Механический ключ (вибропреобразователь) поочередно соединяет небольшой конденсатор с входом и цепью обратной связи. Если постоянные напряжения на них отличаются, то через конденсатор протекает небольшой переменный ток, который создаст переменное напряжение на сеточном резисторе входной лампы. Далее пульсации усиливаются несколькими каскадами, и поступают в фазу чувствительного демодулятора (в простейшем случае — такой же вибропреобразователь, электромагнит которого включен параллельно электромагниту первого). На выходе получается напряжение, пропорциональное разности напряжений на входе. Цепь

обратной связи (резистивный делитель) задает общий коэффициент усиления, стремясь поддерживать на входе усилителя нулевую разность напряжений. Эта схема практически лишена дрейфа, усиление мало зависит от степени износа ламп. Снижаются требования к самим лампам — вместо дорогих электрометрических можно применять массовые приёмно-усилительные лампы. Так работает, например, отечественный прибор рН-340.

В более поздних моделях вместо контактного преобразователя применялся динамический конденсатор, позднее ключ на фотосопротивлении, освещаемом импульсами света (например иономер ЭВ-74), а лампы на входе сменились полевыми транзисторами.

В настоящее время большинство прецизионных, операционных усилителей с входом на полевых МОП-транзисторах, и даже простейшие АЦП удовлетворяют требованиям по входному сопротивлению. Так как ЭДС электродной системы сильно зависит от температуры, то важной является схема термокомпенсации. Изначально применялись медные термометры сопротивления, включенные в сложные мостовые схемы обратной связи, или потенциометр со шкалой в градусах, ручкой которого устанавливали значение температуры, измеренное ртутным термометром. Такие схемы имеют большое число построечных резисторов и крайне сложны в настройке и калибровке. Сейчас датчик температуры работает на отдельный АЦП, все необходимые корректировки вносит микроконтроллер.

Примерная зависимость напряжения от рН (для системы со стеклянным и хлорсеребряным электродами) следующая:

- большинство современных стеклянных электродов делают так, чтобы в паре с хлорсеребряным ЭДС была примерно равна нулю при рН = 7, то есть в нейтральной среде.

- при основном (щелочном) рН, (но, обычно, не более 14 — предел для стеклянных электродов) напряжение на выходе датчика варьируется от 0 до $-0,41\text{В}$ $((14-7) \cdot -0,059 = -0,41)$. Например, рН 10 (на 3 ед. выше нейтрального), $(10-7) \cdot -0,059 = -0,18\text{В}$.

- при кислотном рН, напряжение на выходе датчика колеблется от 0 до +0,41В. Так, например, рН 4 (3 ед. ниже нейтрального), $(3-7) \cdot -0,059 = +0,18В$.

Две главные настройки выполняются при калибровке по буферным растворам с точно известным значением рН — устанавливается крутизна усиления и смещение нуля. Так же настраивается так называемая изопотенциальная точка (рН и, Еи) — значение рН и соответствующая ему ЭДС, при которых ЭДС системы не зависит от температуры. Современные электродные системы (за исключением специальных электродов для сильных кислот и щелочей) делают с изопотенциальной точкой около рН = 7 и ЭДС в пределах $\pm 50мВ$. Эти характеристики указываются для каждого типа стеклянного электрода.

Операции поверки

При проведении поверки должны быть выполнены операции, указанные в таблице 14.1.

Таблица 14.1

№	Наименование операции	Номер пункта настоящих рекомендаций	Необходимость проведения операции при	
			Первичной поверке	Периодической поверке
1.	Внешний осмотр	1	+	+
2.	Опробование	2	+	+
3.	Определение предела основной допускаемой погрешности измерения рН (рХ)	3	+	+
4.	Определение предела основной допускаемой погрешности измерения температуры	4	+	+

5.	Определение предела дополнительной допускаемой погрешности измерения рН (рХ), связанной с изменением температуры контролируемой среды (погрешность термокомпенсации)	5	+	+
6.	Определение предела дополнительной допускаемой погрешности измерения рН (рХ), связанной с изменением сопротивления измерительного (стеклянного) электрода и (или) электрода сравнения (вспомогательного электрода)	6	+	+

Примечания: 1. Знак «+» означает, что операцию проводят.
2. Для приборов, предназначенных для работы в режиме измерения рХ, операцию по пункту 3 таблицы при первичной поверке не проводят.
3. Для приборов с ИП на основе дифференциального модулятор-демодулятор-модулятор усилителя (МДМ усилителя) с жидкокристаллическим индикатором и автономным источником питания операцию по пункту 6 таблицы не проводят.

Средства поверки

1. Для проведения поверки должны быть применены средства, указанные в таблице 14.2.

Таблица 14.2

№	Номер пункта настоящих рекомендаций	Перечень основных и вспомогательных средств поверки
1.	3; 5	Буферные растворы - рабочие эталоны рН 1-го, 2-го или 3-го разрядов по ГОСТ 8.120 (готовят из стандарт-титров по [2])
2.	3	Химические реактивы и (или) Государственные стандартные образцы (ГСО) состава водных растворов катионов и анионов*

3.	3-5	Водяной термостат с диапазоном регулирования температуры от 0 °С до 100 °С, допускаемая погрешность установления температуры контролируемой среды - в пределах $\pm 0,2$ °С
4.	3-5	Вода дистиллированная по ГОСТ 6709
5.	3-5	Посуда лабораторная стеклянная мерная по ГОСТ 1770
6.	3-5	Термометры ртутные стеклянные лабораторные типа ТЛ-4, класс 1, по[3]**
7.	6	Калибратор напряжения постоянного тока 3-го разряда по ГОСТ 8.027***
8.	6	Магазин сопротивлений*** класса точности 0,2
9.	6	Набор сопротивлений*** типа С5-29 мощностью рассеяния 0,5 Вт и номинальными значениями сопротивления 10 кОм, 20 кОм, 500 МОм
10.	2	Тераомметр типа Е6-13А
* Химические реактивы и (или) тип и номенклатуру ГСО устанавливают в эксплуатационной документации (паспорте) на ионоселективные электроды.		
** Допускается использование других типов термометров с метрологическими характеристиками не хуже указанных в таблице.		
*** Допускается использование компаратора типа «рН ТЕСТ 01» по [4].		

2. Средства измерений должны быть исправны, иметь эксплуатационную документацию (ЭД) и свидетельства о поверке по ПР 50.2.006, а оборудование - аттестаты по ГОСТ Р 8.568.

Требования к квалификации поверителя

К проведению поверки приборов допускаются лица, имеющие высшее или среднетехническое образование, опыт работы в области аналитической химии, ежегодно проходящие проверку знаний по технике безопасности, владеющие техни-

кой потенциометрических измерений, изучившие настоящие рекомендации и аттестованные в качестве поверителя.

Требования безопасности

1. При проведении поверки соблюдают требования техники безопасности: при работе с химическими реактивами - по ГОСТ 12.1.007 и ГОСТ 12.4.021; при работе с электроустановками - по ГОСТ 12.1.019 и ГОСТ 12.2.007.0.

2. Помещение, в котором осуществляется поверка, должно соответствовать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004 и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009.

3. Исполнители должны быть проинструктированы о мерах безопасности, которые должны соблюдаться при работе с приборами, в соответствии с инструкциями, прилагаемыми к приборам. Обучение работающих лиц правилам безопасности труда проводят по ГОСТ 12.0.004.

Условия проведения поверки

1. Поверка должна проводиться в следующих условиях:
температура окружающей среды.....(20 ± 5) °С;
относительная влажность воздуха.....от 30 % до 80 %;
атмосферное давление.....от 84,0 до 106,7 кПа (от 630 до 800 мм рт. ст.);
питание..... от сети переменного тока частотой ($50 \pm 0,5$) Гц и напряжением ($220 \pm 4,4$) В.

Вибрация, тряска, удары, влияющие на работу прибора, не допускаются.

Подготовка к поверке

1. Для выполнения операций по 3 - 5 собирают установку для поверки прибора, схема которой приведена на рисунке 14.3. Для выполнения операций по 6 дополнительно собирают установку, схема которой приведена на рисунке 14.3.

Примечание - При использовании компаратора «рН ТЕСТ 01» при выполнении операций по 6 установку собирают в соответствии со схемой.

2. Основное и вспомогательное оборудование, указанное в разделе 4, подготавливают к работе в соответствии с требованиями нормативных документов и ЭД. Поверяемый прибор в комплекте с ИП, датчиком температуры и электродами подготавливают к работе в соответствии с требованиями ЭД.

3. Буферные растворы – рабочие эталоны рН приготавливают, как указано в инструкции на стандарт-титры для рН-метрии. Калибровочные растворы – аттестованные смеси для ионометрии готовят в соответствии с указаниями ЭД (паспортом) на ионоселективный электрод, входящий в состав прибора.

Примечание: Буферные растворы и аттестованные смеси готовят непосредственно перед проведением измерений.

4. Для поверки приборов с пределом допускаемой погрешности измерения не более 0,03 рН готовят буферные растворы из стандарт-титров рН 1-го разряда; для приборов с пределом допускаемой погрешности измерения не более 0,1 рН используют буферные растворы - рабочие эталоны рН 2-го разряда. Для приборов с пределом допускаемой погрешности измерения более 0,1 рН допускается использование буферных растворов - рабочих эталонов рН 3-го разряда.

Проведение поверки

Внешний осмотр. При проведении внешнего осмотра проверяют визуально:

- комплектность прибора (ИП, электроды, соединительные провода) в соответствии с ЭД;
- наличие в ЭД на прибор его метрологических характеристик;
- наличие автономного источника питания (при необходимости);

- целостность корпусов, электродов, соединительных проводов (кабелей), отсутствие механических повреждений, препятствующих нормальному функционированию прибора;
- чистоту и целостность соединителей и гнезд;
- четкость и правильность маркировки в соответствии с ЭД (обозначение прибора, наименование или товарный знак предприятия-изготовителя, заводской номер ИП, заводской номер электродов, обозначение переключателей, соединителей, гнезд, зажимов).

Приборы, имеющие дефекты, которые затрудняют эксплуатацию, бракуют и к дальнейшей проверке не допускают.



Рис.14.2. Установка для проверки рН-метров:

1 - термостат водяной; 2 - термометр эталонный; 3 - стакан с буферным раствором - рабочим эталоном рН (аттестованной смесью); 4 - электрод сравнения (вспомогательный электрод) из состава прибора; 5 - измерительный (стеклянный или ионоселективный) электрод из состава прибора; 6 - измерительный преобразователь из состава прибора; 7 - термокомпенсатор с соединительным кабелем.

Примечание: Вместо измерительных и вспомогательных электродов могут использоваться комбинированные электроды.

Опробование

1. В соответствии с ЭД проверяют функционирование прибора в различных режимах работы. При изменении положения переключателей диапазонов (пределов) измерений и режимов работы и при возвращении их в исходное положение показания прибора должны восстанавливаться.

Примечание: При укомплектовании приборов гальваническими элементами питания проверяют их работоспособность.

2. В соответствии с указаниями ЭД при испытательном напряжении 10 В тераомметром проверяют сопротивление изоляции соединительных проводов (кабелей) электродов и входное сопротивление ИП. Измеренные значения сопротивлений должны соответствовать требованиям ЭД.

3. Погрешность измерения потенциала проверяют в соответствии с требованиями ЭД на ИП.

4. Приборы, результаты опробования которых не соответствуют требованиям ЭД, бракуют и к дальнейшей проверке не допускают.

Определение предела основной допускаемой погрешности измерения рН (рХ)

1. Предел основной допускаемой погрешности измерения рН (рХ) определяют в режиме ручной или автоматической термокомпенсации в условиях, оговоренных в разделе 7.

2. Операции по настоящему подразделу проводят с использованием буферных растворов - рабочих эталонов рН, приготовленных в соответствии с 3 и 4 по следующей методике.

2.1. С помощью двух буферных растворов - рабочих эталонов рН, воспроизводящих значения $\text{pH} = 1,65$ и $\text{pH} = 9,18$ при температуре растворов $(25 \pm 0,2)^\circ\text{C}$, проводят настройку (градуировку) прибора в соответствии с указаниями ЭД.

2.2. Для приборов с пределом допускаемой погрешности измерения менее 0,03 рН проводят измерения рН трех буферных растворов - рабочих эталонов рН, воспроизводящих

значения $pH = 3,56$, $pH = 4,01$ и $pH = 10,00$ при температуре растворов $(25 \pm 0,2) ^\circ C$.

Измерения повторяют не менее трех раз ($n \geq 3$) на каждом буферном растворе. Если максимальное расхождение результатов измерений pH не превышает предела основной допускаемой погрешности измерения, установленного ЭД, результаты измерений усредняют и находят среднеарифметическое измеренных значений $pH_{изм}$ для данного буферного раствора.

2.3. Для приборов с пределом допускаемой погрешности измерения более $0,03 pH$ измеряют pH одного из трех (с учетом преимущественного диапазона измерений при эксплуатации прибора) буферных растворов - рабочих эталонов pH , воспроизводящих значения $pH = 3,56$, $pH = 4,01$ и $pH = 10,00$ при температуре растворов $(25 \pm 0,2) ^\circ C$. Далее выполняют операции по 2.2.

3. Предел E_{pH} основной допускаемой погрешности измерения pH рассчитывают для каждого значения pH буферных растворов (см. 2.2) по формуле:

$$E_{pH} = pH_{изм} - pH_{эт}, \quad (1)$$

где $pH_{изм}$ - среднеарифметическое измеренных значений pH буферного раствора;

$pH_{эт}$ - значение pH по ГОСТ 8.134, воспроизводимое буферным раствором - рабочим эталоном pH при температуре $25 ^\circ C$.

4. Если для каждого (см. 2.2) и (или) выбранного (см. 2.3) буферного раствора значение E_{pH} , рассчитанное по формуле (1), не превышает пределов допускаемой погрешности измерений, указанных в ЭД, прибор признают пригодным к дальнейшему проведению поверки. В противном случае измерения повторяют на свежеприготовленных буферных растворах. Если при повторных измерениях погрешность не соответствует требованиям ЭД, прибор бракуют.

Примечание: Если прибор является многоканальным, то поверке подлежат все измерительные каналы.

5. Предел основной допускаемой погрешности измерения рХ определяют по методике, указанной в 1-4, используя вместо буферных растворов - рабочих эталонов рН калибровочные растворы - аттестованные смеси, приготовленные в соответствии с 3.

Определение предела основной допускаемой погрешности измерения температуры

1. Предел основной допускаемой погрешности измерения температуры контролируемых сред определяют на отметках: 0, 20, 40, 60, 80, 100 °С шкалы температур поверяемого прибора путем сравнения его показаний с показаниями эталонного термометра.

Примечание: Количество отметок шкалы может быть увеличено или уменьшено исходя из реального диапазона измерений температуры поверяемого прибора, но с обязательным включением начального и конечного значений диапазона измерений поверяемого прибора.

2. Предел основной допускаемой погрешности измерения температуры контролируемых сред определяют по следующей методике.

2.1. В соответствии с указаниями руководства по эксплуатации проводят настройку (градуировку) прибора в режиме измерения температуры.

2.2. Погружают термокомпенсатор и термометр на глубину не менее 25 мм (или в соответствии с требованиями ЭД) в термостатируемый стакан с интенсивно перемешиваемой водой, имеющей температуру поверяемой отметки шкалы.

2.3. После выдержки в воде в течение не менее 3 мин регистрируют показания термометра и прибора.

3. Предел E основной допускаемой погрешности измерения температуры контролируемых сред рассчитывают по формуле

$$E_t = t_{\text{изм}} - t_{\text{эт}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{изм}}$ – температура воды, измеренная прибором, °С;

$t_{\text{ст}}$ — температура воды, измеренная эталонным термометром, °С.

4. Если значение E_t , рассчитанное для каждой выбранной отметки шкалы температур поверяемого прибора, не превышает пределов допускаемой погрешности измерения, указанных в ЭД, прибор признают пригодным к дальнейшему проведению поверки. В противном случае прибор бракуют и дальнейшую проверку не проводят.

Определение предела дополнительной допускаемой погрешности измерения рН (рХ), связанной с изменением температуры контролируемой среды (погрешность термокомпенсации)

1. Для определения предела допускаемой погрешности термокомпенсации применяют буферные растворы - рабочие эталоны из числа указанных в 9.3 с учетом преимущественного диапазона измерений при эксплуатации прибора.

Примечание: Для иономеров предел допускаемой погрешности термокомпенсации проверяют в режиме измерения рХ по аттестованным поверочным смесям.

2. Предел допускаемой погрешности термокомпенсации определяют по следующей методике.

2.1. Измеряют значения рН буферного раствора - рабочего эталона рН при температуре, соответствующей верхнему пределу диапазона температурной компенсации (например, 50 °С), или при максимальной температуре, допускаемой для эксплуатации используемого измерительного (стеклянного) электрода.

2.2. Измерения повторяют не менее трех раз ($n = 3$) и оценивают максимальное расхождение результатов измерения рН. Если максимальное расхождение результатов измерения рН не превышает предела допускаемой погрешности измерения рН, то результаты измерений усредняют. Далее находят измеренное среднеарифметическое значение $pH'_{\text{см}}$ для данного буферного раствора в данной температурной точке.

3. Предел допускаемой погрешности термокомпенсации E_t рассчитывают по формуле:

$$E_t = pH_{\text{ИМ}}^i - pH_{\text{ЭМ}}, \quad (3)$$

где $pH_{\text{ИМ}}^i$ — измеренное среднеарифметическое значение рН буферного раствора в проверяемой температурной точке;

$pH_{\text{ЭМ}}$ — воспроизводимое по ГОСТ 8.134 значение рН буферного раствора - рабочего эталона рН при температуре, равной температуре проверяемой точки.

4. Если значение E_t , рассчитанное по формуле (3), не превышает пределов допускаемой погрешности, указанных в ЭД, то прибор признают пригодным к дальнейшему проведению поверки. В противном случае прибор бракуют и дальнейшую проверку не проводят.

5. Погрешность ручной температурной компенсации определяют аналогично для числовых отметок шкалы термокомпенсатора.

Определение предела дополнительной допускаемой погрешности измерения рН (рХ), связанной с изменением сопротивления измерительного (стеклянного) электрода и (или) электрода сравнения (вспомогательного электрода)

1. Для определения предела дополнительной допускаемой погрешности измерения рН (рХ) используют: калибратор напряжения постоянного тока 3-го разряда по ГОСТ 8.027; магазин сопротивлений класса точности 0,2 по ГОСТ 8.028; набор сопротивлений в соответствии с таблицей 14.2. Операции по настоящему подразделу выполняют в режиме измерения рН.

2. Погрешность ИП, связанную с изменением сопротивления измерительного (стеклянного) электрода, определяют по следующей методике.

2.1. На вход ИП подают регулируемое выходное напряжение, снимаемое с зажимов калибратора напряжения, затем последовательно устанавливают показания ИП на начало и

конец шкалы диапазона измерений рН (отметки N1 и N2 шкалы ИП соответственно).

2.2. Измеряют выходные напряжения U_0 калибратора, соответствующие показаниям ИП на двух отметках шкалы N1 и N2.

2.3. В соответствии со схемой В.1 (приложение В) устанавливают дополнительное сопротивление R_1 , равное 0,5 ГОм, в цепи измерительного электрода и измеряют выходные напряжения U_1 калибратора, соответствующие показаниям ИП на двух отметках шкалы N1 и N2.

2.4. Предел $\sigma_{\text{вкл}}$ дополнительной допускаемой погрешности измерения рН (рХ), связанной с изменением сопротивления измерительного электрода, рассчитывают для каждой отметки шкалы N1 и N2 по формуле

$$\delta_{\text{вкл}} = \frac{U_1 - U_0}{59,157}, \quad (4)$$

где U_0 – измеренное напряжение при дополнительном сопротивлении $R_1 = 0$ ГОм в цепи измерительного электрода, мВ;

U_1 – измеренное напряжение при дополнительном сопротивлении $R_1 = 0,5$ ГОм в цепи измерительного электрода, мВ.

2.5. Если значения, $\sigma_{\text{вкл}}$ рассчитанные для каждой из отметок N1 и N2, не превышают пределов, указанных в ЭД, прибор признают пригодным к проведению дальнейшей поверки. В противном случае прибор бракуют.

3. Погрешность ИП, связанную с изменением сопротивления электрода сравнения (вспомогательного электрода), определяют по следующей методике.

3.1 На вход ИП подают регулируемое выходное напряжение, снимаемое с зажимов калибратора напряжения, затем последовательно устанавливают показания прибора на отметках N1 и N2 шкалы ИП и измеряют соответствующее выходное напряжение U_1 калибратора.

3.2. Устанавливают дополнительное сопротивление R_2 цепи электрода сравнения (вспомогательного электрода), равное 20 кОм, и далее проводят операции по 3.1.

3.3. Напряжение U_0 измеряют следующим образом. Устанавливают дополнительное сопротивление R_2 , равное 10 кОм, и далее проводят операции по 3.1.

3.4. Предел $\sigma_{\text{нп}}$ дополнительной допускаемой погрешности измерения рН (рХ), связанной с изменением сопротивления электрода сравнения (вспомогательного электрода), рассчитывают для каждой отметки шкалы N1 и N2 и каждого значения R_2 по формуле

$$\delta_{\text{нп}} = \frac{U_1 - U_2}{59,157} \quad (5)$$

где U_0 – напряжение компаратора, измеренное при сопротивлении $R_2 = 10$ кОм, мВ;

U_1 – напряжение компаратора, измеренное при R_2 , равном 0 кОм или 20 кОм, мВ.

3.5. Если значения $\sigma_{\text{нп}}$, рассчитанные по формуле (5) для каждой отметки N1 и N2 шкалы ИП прибора и каждого значения R_2 , не превышают пределов, указанных в ЭД, прибор признают пригодным к дальнейшему проведению поверки. В противном случае прибор бракуют.

Контрольные вопросы

1. Что такое рН ?
2. рН – метры и их принцип действия.
3. Разновидности и типы рН – метров.
4. Применение рН – метров.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15

ПОВЕРКА СПЕКТРОФОТОМЕТРОВ

Цель работы: Изучить принцип работы и строение спектрофотометров. Ознакомление с методами поверки.

Задание: Произвести поверку прибора результаты записать в таблицу.

Приборы и оборудование: спектрофотометр КФК-2М, растворы различных веществ.

Теоретическая часть

Спектрофотометр — прибор, предназначенный для измерения отношений двух потоков оптического излучения, один из которых — поток, падающий на исследуемый образец, другой — поток, испытавший то или иное взаимодействие с образцом. Позволяет производить измерения для различных длин волн оптического излучения, соответственно в результате измерений получается *спектр* отношений потоков. Обычно используется для измерения спектров пропускания или спектров отражения излучения.



Рис.15.1. Общий вид спектрофотометра.

Спектрофотометр является основным прибором, используемым в спектрофотометрии который применяется в фотоколориметрии и спектральном анализе. Спектрофотометры могут работать в различных диапазонах длин волн — от ультрафиолетового до инфракрасного. В зависимости от этого приборы имеют разное назначение.

На рисунках приведены две основные схемы спектрофотометров, измеряющих спектральный апертурный коэффициент отражения данного объекта относительно рабочего стандарта с известной спектральной характеристикой:

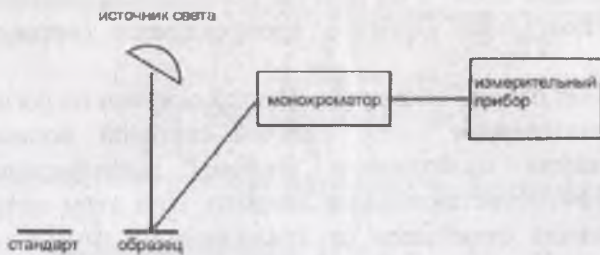


Рис.15.2. Измеряемый образец освещается белым светом.

Монохроматор расположен в исходящем потоке. Для улучшения характеристик и точности измерений в современных спектрофотометрах также используются двойные монохроматоры



Рис.15.3. Измеряемый образец освещается монохроматическим светом.

Конструктивные схемы

Есть две схемы построения спектрофотометров: спектрофотометр в виде клиновидной пластинки и с применением гетеродинной схемы приема светового излучения.

В виде клиновидной пластинки

Спектрофотометр выполнен в виде клиновидной пластинки, на одну из поверхностей которой нанесен тонкий, частично пропускающий слой, а на другую поверхность нанесено отражающее покрытие, частично пропускающее световое излучение.

Принцип работы спектрофотометра основан на регистрации интерференционных полос стоячей световой волны путём проецирования изображения системы интерференционных полос на фоточувствительные линейки. При этом метод обработки сигнала отличается от традиционной Фурье-спектроскопии лишь тем, что преобразованию подвергаются сигналы не временной, а пространственной частоты. Спектрофотометр обладает высокой помехоустойчивостью к некогерентному световому излучению.

Гетеродинная схема приема светового излучения

Для этого спектрофотометр снабжают вторым лазером с частотой излучения, отличающегося от первого на частоту светового биения. При этом от излучения второго лазера образуются интерференционные полосы практически с тем же периодом d , а на тонком слое, как на смесителе, возникают световые биения. Полученные электрические сигналы регистрируют и подвергают двумерному преобразованию Фурье.

Светофильтры

В полиграфии могут использоваться следующие светофильтры:

- POL — поляризационный фильтр. Используется для получения предположительного спектра после закрепления краски.

- D65 — применяется для имитации источника излучения D65.

- UV-cut применяется при измерении оптических плотностей бумаг, в которых используются флюоресцентные оптические отбеливатели.

- No — обозначение отсутствия светофильтра. Обычно используется прозрачное стекло, защищающее спектрофотометр от пыли.

Источники излучения

Основными источниками излучения в спектрофотометрах являются:

- *A* (свет лампы накаливания, 2856 K);
- *C* (непрямой солнечный свет, 6774 K);
- *D* (дневной свет, 5000 K);
- *D65* (дневной свет, 6500 K);
- *F11* (флуоресцентное излучение узкого диапазона отвечающее трубке Philips TL84) и т. п.

Спектральное разрешение — минимально возможная ширина спектра оптического излучения, которое в спектрофотометре направляется на исследуемый образец. Выражается в длинах волн.

Спектральная разрешающая способность — безразмерная величина, равная отношению длины волны излучения к спектральному разрешению на этой длине волны.

Спектральный диапазон это диапазон в пределах которого может работать спектрофотометр. Для большинства случаев в полиграфии оценивается спектр светового излучения в видимом диапазоне длин волн от 380 до 730 нм. Для некоторых случаев бывает необходимым оценить ультрафиолетовую и инфракрасную составляющую излучения. Спектрофотометры измеряют только спектр излучения. Все остальные характеристики рассматриваются по спектральным данным.

Межприборная согласованность — это разброс измеряемых значений одного и того же образца, измеряемого с помощью эталонного и исследуемого прибора.

Повторяемость (воспроизводимость) определяет точность измерений, которые осуществляются теми же операторами при

нескольких измерениях одинаковыми приборами одних и тех же образцов.

Операции и средства поверки

1. При проведении поверки выполняют операции и применяют средства поверки, указанные в таблице 15.1.

2. Допускается применение других средств поверки, обеспечивающих определение (контроль) метрологических характеристик поверяемого спектрофотометра с требуемой точностью.

Таблица 15.1

№	Наименование операции	Номер пункта стандарта	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки; обозначение нормативного документа, устанавливающего технические требования и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
1.	Внешний осмотр	1	-
2.	Опробование	2	Пленка полистирола толщиной 0,025...0,070 мм по ГОСТ 20282
3.	Определение разрешающей способности	3	Газовая кювета, заполненная аммиаком под давлением $4 \cdot 10^3$ Па, с длиной поглощающего слоя 100 мм из набора поверочных средств для инфракрасных спектрофотометров НПС-ИКС; пары воды в атмосфере
4.	Определение погрешности градуировки шкалы волновых чисел	4	Эталонные средства измерений 2-го разряда по рекомендации [1] (стандартные образцы): пленка полистирола толщиной 0,025...0,070 мм или кюветы, заполненные инденом, с поглощающим слоем толщиной 0,1 и

			0,025 мм, или кювета, наполненная аммиаком под давлением $4 \cdot 10^3$ Па, с длиной поглощающего слоя 100 мм, или диоксид углерода и пары воды в атмосфере (характеристики спектров приведены в приложениях А и Б). Лупа с десятикратным увеличением по ГОСТ 25706
5.	Определение уровня мешающего излучения	5	Фотометрический секторный диск с коэффициентом пропускания 10% из эталонного средства измерений ПКС-731. Фильтры из набора поверочных средств для инфракрасных спектрофотометров НПС-ИКС по <u>приложению В</u>
6.	Определение абсолютной основной погрешности спектрофотометра	6	Фотометрические секторные диски с коэффициентами пропускания 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% и 90% из эталонного средства измерений ПКС-731. Предел допускаемой погрешности измерений коэффициентов пропускания - не более 0,3%

Требования безопасности

При проведении поверки должны быть соблюдены требования безопасности, предусмотренные в соответствующих разделах эксплуатационной документации на применяемые средства поверки и поверяемый спектрофотометр.

Требования к квалификации поверителей

К проведению поверки допускают лиц, аттестованных в качестве поверителя в установленном порядке, изучивших

настоящий стандарт и эксплуатационную документацию на применяемые средства поверки и спектрофотометры и прошедших инструктаж по технике безопасности.

Условия поверки и подготовка к ней

1. При проведении поверки соблюдают следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °C 20 ± 5 ;
- относительная влажность воздуха, % 60 ± 10 ;
- атмосферное давление, кПа $84 \dots 107$;
- напряжение сети электрического питания, В 220 ± 22 ;
- частота сети электрического питания, Гц $50 \pm 0,5$.

2. Источники теплового излучения должны находиться на расстоянии не менее 1,5 м от спектрофотометра.

3. Спектрофотометр должен быть заземлен.

4. Время предварительного прогрева спектрофотометров типов ИКС-24 и ИКС-29 должно быть не менее 45 мин, а типов ИКС-22, ИКС-22А и ИКС-22В - не менее 2 ч.

5. Средства поверки готовят к работе в соответствии с их эксплуатационной документацией.

Проведение поверки

1. Внешний осмотр

При проведении внешнего осмотра устанавливают:

- соответствие комплектности спектрофотометра паспортным данным на спектрофотометр конкретного типа. При периодической поверке допускается отсутствие ЗИП, кроме пленки полистирола для спектрофотометров талон ИКС-22, ИКС-22А, ИКС-24 и ИКС-29;

- наличие четких надписей и отметок на шкалах и органах управления;

- наличие маркировки (наименование или товарный знак предприятия-изготовителя, тип и номер спектрофотометра).

2. Опробование

2.1. Опробование спектрофотометра проводят в соответствии с эксплуатационной документацией на спектрофотометр конкретного типа.

2.2. При опробовании устанавливают отсутствие механических и электрических повреждений или неисправностей, влияющих на нормальную работу спектрофотометров.

2.3. У спектрофотометров типов ИКС-22, ИКС-22А, ИКС-22В и ИКС-24 должна функционировать система водяного охлаждения источника излучения.

2.4. На спектрофотометрах типов ИКС-22, ИКС-22А, ИКС-24 и ИКС-29 записывают спектр поглощения пленки полистирола, а на спектрофотометре типа ИКС-22В - спектр поглощения паров воды в атмосфере. Толщина пленки полистирола и условия записи должны соответствовать указаниям контрольной записи, прилагаемой к спектрофотометру. На спектрограмме число и форма линии должны соответствовать контрольной записи.

3. Определение разрешающей способности

3.1. Разрешающую способность R спектрофотометров типов ИКС-22, ИКС-24 и ИКС-29 определяют по наблюдаемой на спектрограмме ширине линии поглощения аммиака, максимальная ордината которой соответствует волновому числу $\nu = 1122,1 \text{ см}^{-1}$ *

* Здесь и далее: по рекомендации нормируют длину волны: $\lambda [\text{мкм}] = 10000/\nu [\text{см}]$.

3.1.1 Устанавливают наибольший коэффициент усиления и наименьшие щели, при которых будет обеспечена нормальная работа регистрирующей системы, а уровень шумов на спектрограмме составит не более 1%. Уровень шумов определяют как одну пятую размаха флуктуации сигнала, зарегистрированного на спектрограмме в течение 2 мин. Положения переключателей органов управления, которые следует

спектрофотометрах типов ИКС-22, ИКС-22А и ИКС-22В значения волновых чисел, соответствующие максимальным ординатам линий поглощения, определяют с помощью лупы на бланке. На спектрофотометре типа ИКС-24 значения волновых чисел определяют по счетчику в момент записи на бланке максимальных ординат линий поглощения.

На спектрофотометре типа ИКС-29 значения волновых чисел определяют по шкале волновых чисел в момент записи на бланке максимальных ординат линии поглощения.

4.4. Линии поглощения паров воды или диоксида углерода в атмосфере записывают в однолучевом режиме. Каждую линию записывают три раза. При записи на спектрофотометре типа ИКС-24 устанавливают постоянную ширину щели в зависимости от спектрального диапазона в соответствии с таблицей 15.3.

Таблица 15.3

Спектральный диапазон, см ⁻¹	Ширина щели, мкм
3940...3750	40...70
1950...1400	100...150
600...400	800...1000

На спектрофотометре типа ИКС-29 линию поглощения паров воды в атмосфере, соответствующую волновому числу 1387,5 см⁻¹, записывают по три раза с каждой из двух решеток. Значения волновых чисел на спектрофотометрах определяют по методике.

4.5. Для каждой записи вычисляют разность

$$\Delta \nu = \nu_i - \nu_{д.},$$

где ν_i — значение волнового числа, соответствующее максимальной ординате линии поглощения при записи на проверяемом спектрофотометре;

$\nu_{д.}$ — действительное значение волнового числа, соответствующее той же линии, указанное в стандарте.

4.6. За погрешность градуировки шкалы волновых чисел для указанных точек спектрального диапазона принимают наибольшее значение $\Delta\nu$ для каждой линии.

Предел допускаемой относительной погрешности градуировки шкалы волновых чисел для спектрофотометров типов ИКС-22, ИКС-22А и ИКС-22В - не более 0,5% волнового числа во всем спектральном диапазоне.

Предел допускаемой абсолютной погрешности градуировки шкалы волновых чисел для спектрофотометра типа ИКС-24 - не более 1 см^{-1} во всем спектральном диапазоне.

Предел допускаемой относительной погрешности градуировки шкалы волновых чисел для спектрофотометра типа ИКС-29 - не более 0,1% волнового числа в спектральном диапазоне $4200\ldots 1000\text{ см}^{-1}$ и 0,15% волнового числа - в спектральном диапазоне $1000\ldots 400\text{ см}^{-1}$.

5. Определение уровня мешающего излучения

5.1. Уровень мешающего излучения определяют по коэффициенту пропускания, измеренному на спектрофотометре при полном поглощении излучения в выделяемом спектральном диапазоне.

5.2. В канал сравнения устанавливают фотометрический секторный диск с коэффициентом пропускания 10%. Затем поочередно в измерительный канал устанавливают фильтры из набора НПС-ИКС и записывают их спектры пропускания. Условия записи и типы фильтров указаны в приложении Д.

Наибольшее из полученных значений коэффициента пропускания, характеризующих уровень мешающего излучения, не более:

2% - для спектрофотометра типа ИКС-22 в диапазоне $2500\ldots 800\text{ см}^{-1}$ и 5% - в диапазоне $800\ldots 650\text{ см}^{-1}$;

2% - для спектрофотометра типа ИКС-22А в диапазоне $2500\ldots 2000\text{ см}^{-1}$ и 3% - в диапазоне $2000\ldots 1250\text{ см}^{-1}$;

3% - для спектрофотометра типа ИКС-22В во всем спектральном диапазоне;

устанавливать при определении разрешающей способности спектрофотометров, приведены в таблице 15. 2.

3.1.2. Кювету из набора НПС-ИКС, заполненную аммиаком, устанавливают в измерительный канал спектрофотометра и записывают линию поглощения аммиака, соответствующую волновому числу $\nu = 1122,1 \text{ см}^{-1}$.

На спектрограмме измеряют ширину S линии поглощения и вычисляют разрешающую способность R по формуле

$$R = \frac{1122}{S}.$$

Таблица 15.2

Тип спектрофотометра	Положение переключателей		
	скорости раз- вертки спектра	масштаба записи	шкалы множительного механизма
ИКС-22	17	2	0,3
ИКС-22А	12	1:5	
ИКС-22В	7,5	1:1	
ИКС-24	0,3	3	-
ИКС-29	2	-	-

Примечания:

1. Для спектрофотометра типа ИКС-24 ширина щели постоянная - 70...100 мкм.

2. Для спектрофотометра типа ИКС-29 программа щелей - 1 или 2, постоянная времени - 2, редуктор развертки - 6.

3.2. Разрешающую способность спектрофотометров типов ИКС-22А и ИКС-22В определяют по наличию на спектрограмме двух линий поглощения паров воды в атмосфере. На спектрофотометре типа ИКС-22А записывают линии поглощения, соответствующие волновым числам 1473,5 и 1472,0 см^{-1} (см. полосы поглощения a и b на рисунке Б.4), на спектрофотометре типа ИКС-22В - волновым числам 327,6 и 323,8 см^{-1} (см. полосы поглощения c и d на рисунке Б.9). Линии

поглощения записывают в однолучевом режиме при соблюдении требования 3.1.1.

Разрешающая способность в области спектральной полосы поглощения $1122,1 \text{ см}^{-1}$ не менее:

250 - для спектрофотометров типа ИКС-22;

2000 - для спектрофотометров типа ИКС-24;

850 - для спектрофотометров типа ИКС-29.

Разрешающая способность спектрофотометра типа ИКС-22А в области спектральной полосы поглощения 1470 см^{-1} - не менее 980.

Разрешающая способность спектрофотометра типа ИКС-22В в области спектральной полосы поглощения 330 см^{-1} - не менее 85.

4. Определение погрешности градуировки шкалы волновых чисел

4.1. Погрешность градуировки шкалы волновых чисел определяют методом прямых измерений как разность между значением волнового числа, соответствующим максимальной ординате линии поглощения стандартного образца, определяемым с помощью поверяемого спектрофотометра, и действительным значением волнового числа, соответствующим максимальной ординате той же линии, взятым из таблицы А.1 приложения А.

4.2. В качестве стандартных образцов применяют пленку полистирола, инден, аммиак или используют пары воды и диоксида углерода в атмосфере. Выбирают по три линии или полосы поглощения из числа указанных в приложении А для каждого диспергирующего элемента. Линии или полосы поглощения следует выбирать в начале, середине и в конце спектрального диапазона диспергирующего элемента. Стандартные образцы, а также условия их применения при проверке спектрофотометров приведены в приложении Г.

4.3. Пленку полистирола или кювету, заполненную аммиаком, устанавливают в измерительный канал спектрофотометра, и три раза записывают каждую линию поглощения. На

1%-для спектрофотометра типа ИКС-24 в диапазоне 2500...800 см^{-1} и 2%-в диапазоне 800...400 см^{-1} ;

1.5% - для спектрофотометра типа ИКС-29 в спектральном диапазоне 2500...1000 см^{-1} ; 2% - в спектральном диапазоне 1000...500 см^{-1} и 3% - в спектральном диапазоне 500...400 см^{-1} .

6. Определение абсолютную основную погрешности спектрофотометра

6.1. Абсолютную основную погрешность спектрофотометра определяют как наибольшую разность между значениями коэффициентов пропускания фотометрических секторных дисков, определенными с помощью поверяемого спектрофотометра, и их действительными значениями.

Абсолютную основную погрешность определяют в девяти точках диапазона измерений коэффициентов пропускания.

6.2. Перед измерениями коэффициентов пропускания дисков записывают линию, соответствующую спектральному коэффициенту пропускания 100% во всем спектральном диапазоне при условиях, соответствующих указанным в эксплуатационной документации на спектрофотометре конкретного типа. Отклонение этой линии от линии, соответствующей на бланке 100% коэффициента пропускания, - не более 2% для спектрофотометров типов ИКС-22, ИКС-22А и ИКС-22В и 1% для спектрофотометров типов ИКС-24 и ИКС-29. При этом допускается превышение нормированного значения на 1,5% в спектральных диапазонах линий поглощения паров воды и диоксида углерода в атмосфере: от 3900 до 3500 см^{-1} , от 2400 до 2300 см^{-1} , от 1800 до 1350 см^{-1} , от 720 до 660 см^{-1} и от 400 до 200 см^{-1} .

6.3. Для одного значения волнового числа спектрального диапазона спектрофотометра, кроме спектральных диапазонов, указанных в 7.6.2, устанавливают по бланку показание 100%. Поочередно на ось двигателя устанавливают девять фотометрических секторных дисков, вводят их в измерительный канал и измеряют коэффициенты пропускания. Вычисляют разность между полученными значениями коэффициентов пропускания

фотометрических секторных дисков и их действительными значениями.

Наибольшая разность, характеризующая предел допускаемой основной абсолютной погрешности спектрофотометра, - не более 1%.

6.4. Для одного значения волнового числа в начале спектрального диапазона измеряют пять раз коэффициент пропускания диска с действительным значением 50%.

Определяют размах показаний как разность между наибольшим и наименьшим показаниями. Размах показаний - не более 1%.

Контрольная работа

1. Принцип работы спектрофотометров.
2. Разновидности спектрофотометров.
3. Объясните такие понятия как спектральное разрешение, спектральный диапазон.
4. Область применения спектрофотометров

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 16

ПОВЕРКА КОНДУКТОМЕТРОВ

Цель работы: Изучение принципа работы и устройства кондуктометров. Ознакомление с методикой поверки.

Задание: произвести поверку кондуктометра в соответствии с методикой и записать заключение о проделанной лабораторной работе.

Теоретическая часть

Кондуктометр — прибор для измерения электропроводности электролитов (водных и неводных растворов, коллоидных систем, расплавов, твёрдых веществ).

Кондуктометрический анализ основан на изменении концентрации вещества или химического состава среды в межэлектродном пространстве; он не связан с потенциалом электрода, который обычно близок к равновесному значению. Кондуктометрия включает прямые методы анализа (используемые, например, в солемерах) и косвенные (например, в газовом анализе) с применением постоянного или переменного тока (низкой и высокой частоты), а также хронокондуктометрию, низкочастотное и высокочастотное титрование.

Принцип действия кондуктометра основан на прямой зависимости электропроводности воды (силы тока в постоянном электрическом поле, создаваемом электродами прибора) от количества растворённых в воде соединений. Применяют для определения концентрации растворов солей, кислот, оснований, контроля состава некоторых промышленных растворов.

Кондуктометр представляет собой малогабаритный микропроцессорный прибор, предназначенный для измерения удельной электрической проводимости. Для удобства контроля удельной электрической проводимости в кондуктометре находится температурный компенсатор, который приводит абсолютное значение удельной электрической проводимости к удельной электрической проводимости при 25 °C. В кондуктометре предусмотрен режим измерения абсолютного значения

удельной электрической проводимости, который достигается отключением температурного компенсатора

Кондуктометр применяется для:

- оценки качества дистиллированной воды
- оценки засоления почв
- кондуктометрического титрования

Портативный кондуктометр – переносной прибор, предназначенный для оперативного контроля показателя преломления веществ в лаборатории, на производстве или в полевых условиях.

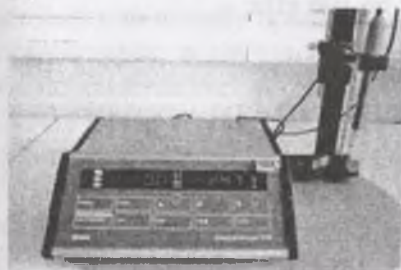


Рис.16.1. Портативный кондуктометр



Рис.16.2. Портативный кондуктометр

Лабораторный кондуктометр – настольный прибор, предназначенный для исследования веществ в научных лабораториях и периодического контроля технологических процессов в производственных лабораториях.



**Рис.16.3. Лабораторный кондуктометр
Conductivity Meter 703**



**Рис.16.4. Лабораторный кондуктометр
Mettler Toledo S30**

Методика поверки Требования безопасности

При проведении поверки соблюдают меры безопасности в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации на поверяемые кондуктометры и средства поверки.

Помещения, в которых проводят работы с поверочными растворами, должны быть оборудованы устройствами приточно-вытяжной вентиляции и вытяжными шкафами в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004.

При работе с поверочными растворами применяют индивидуальные средства защиты по типовым отраслевым нормам, утвержденным в установленном порядке.

Помещение, в котором проводят работы с поверочными растворами должно быть обеспечено подводом проточной питьевой воды. Использованные поверочные растворы сливают только в специально подготовленную посуду с крышками. Не допускается слив поверочных растворов в общую канализационную сеть.

Условия поверки и подготовка к ней

При проведении поверки должны быть соблюдены нормальные условия по ГОСТ 8.395:

- температура окружающего воздуха от 15 °С до 25°С;
- относительная влажность воздуха от 30 % до 80 %;
- атмосферное давление от 84 до 106 кПа;
- напряжение питания (220 ± 4.4) В.

Перед проведением поверки выполняют следующие работы:

- приготавливают поверочные растворы по методике, приведенной в приложении Государственного стандарта в количестве, необходимом для проведения всего объема измерений при поверке;
- термостат и выносную термостатирующую ванну соединяют между собой трубопроводами и заполняют дистиллированной водой;

- средства поверки и поверяемые кондуктометры готовят к работе в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации на них и в том числе проводят проверку и регулировку поверяемых кондуктометров, предусмотренные в качестве мер их профилактического обслуживания;

- к выходу кондуктометрических преобразователей подключают соответствующий прибор;

- задают на термостате требуемую температуру и включают его;

- средства поверки и поверяемый кондуктометр прогревают в течение времени, указанного в руководстве по эксплуатации, но не менее чем за 30 мин.

Проведение поверки Внешний осмотр

1. При внешнем осмотре устанавливают соответствие поверяемого кондуктометра следующим требованиям:

- кондуктометр должен быть представлен на поверку с паспортом (формуляром) и руководством по эксплуатации, а также со свидетельством о предыдущей поверке;

- комплектность кондуктометра при периодической поверке должна соответствовать комплектности указанной в паспорте. При первичной поверке после ремонта допускается несоответствие по запасным частям;

- эталонный кондуктометр должен иметь неповрежденное клеймо или пломбу предприятия-изготовителя или поверяющей организации; в случае повреждения клейма (пломбы) должен быть представлен акт с указанием причин повреждения.

2. Кондуктометр не должен иметь следующих внешних дефектов:

- неисправности органов управления, разъемов, зажимов, клемм, штуцеров, соединительных проводов, кабелей, трубопроводов;

- загрязненности циферблатов и цифровых табло;

- нечеткости надписей и маркировок;

- повреждения корпуса и выходящих наружу конструктивных элементов;
- утечки жидкости из внутренних полостей первичных преобразователей.

Опробование

1. При опробовании кондуктометра проверяют:

- возможность установки органов управления и настройки в любом из предусмотренных положений, плавность хода, отсутствие заеданий и надежность фиксации в установленном положении;
- исправность устройств сигнализации включения кондуктометра в сеть питания и соответствие значения номинального тока предохранителя требуемому значению;
- техническое состояние кондуктометра по другим параметрам в соответствии с руководством по эксплуатации на него.

2. Определение основной погрешности.

2.1. Основную погрешность определяют методом прямого сличения результатов измерения удельной электрической проводимости одних и тех же контрольных растворов при использовании поверяемого и эталонного кондуктометров.

2.2. Основную погрешность определяют не менее чем в трех точках каждого диапазона (поддиапазона) кондуктометра, расположенных на начальном 10%—30 %, среднем 40 %—60 % и конечном 70 %—90 % участках диапазона (поддиапазона) измерений; для кондуктометров с отношением верхних пределов измерений к нижнему в диапазонах (поддиапазонах) измерений более 10:1 и с нормированной относительной погрешностью число проверяемых точек должно быть не менее трех в каждом десятичном разряде диапазона (поддиапазона) измерений.

В каждой из поверяемых точек проводят не менее трех измерений удельной электрической проводимости при проверке кондуктометров, для которых нормирована основная погрешность, и не менее пяти измерений при проверке кондуктометров,

для которых нормированы составляющие (систематическая и случайная) погрешности. Перед каждым измерением обеспечивают существенное изменение показаний (выходного сигнала) поверяемого кондуктометра. Этого добиваются, заменяя пробы одного и того же поверочного раствора для кондуктометров с заполняемыми и проточными преобразователями или переключением поддиапазона измерений, причем интервал времени между последующими измерениями должен быть не менее 5 мин.

2.3. При поверке кондуктометров с пределами допускаемых значений основной погрешности более 1,0% разрешается не учитывать при оценке погрешности результаты первых двух измерений, если они отличаются друг от друга и (или) от результатов последующих измерений более чем на два предела допускаемых значений основной погрешности; при этом общее число измерений должно быть увеличено на число неучтенных.

2.4. Перед измерением первичные преобразователи эталонного и поверяемого кондуктометров промывают контрольным раствором, подлежащим измерению, в порядке, указанном в руководстве по эксплуатации на кондуктометры.

Основную погрешность кондуктометра определяют со всеми первичными преобразователями, входящими в комплект поставки (кроме запасных, применение которых требует обязательной настройки кондуктометра).

Допускаемая разность температур контрольного раствора в первичных преобразователях эталонного и поверяемого кондуктометров не должна превышать:

- 0,02° С — для кондуктометров с пределами допускаемых значений основной погрешности (или ее систематической составляющей) менее $\pm 1,0\%$;

- 0,1°С — для кондуктометров с пределами допускаемых значений основной погрешности (или ее систематической составляющей) $\pm 1,0\%$ и более.

При поверке кондуктометров с термокомпенсацией температура контрольного раствора в первичных преобразователях эталонного и поверяемого кондуктометров должна быть 25°С с допустимыми отклонениями для поверяемого кондуктометра,

соответствующими отклонениям для нормальных условий указанных в руководстве по эксплуатации на него, для эталонного (не имеющего термокомпенсации) — в пределах $\pm 0,02$ °C или $\pm 0,1$ °C.

Измерение удельной электрической проводимости (отсчет показаний) проводят при установлении стабильной температуры контрольного раствора в первичных преобразователях, о чем свидетельствует постоянство показаний (выходного сигнала) кондуктометров в течение времени, достаточного для снятия показаний, но не менее 1 мин. При этом время, необходимое для выполнения одного измерения, не должно превышать 30 мин.

Показания кондуктометров с аналоговыми отсчетными устройствами отсчитывают с округлением до 0,5 цены деления, что составляет погрешность отсчета не более 0,25 цены деления.

2.5. Значения основной погрешности %, вычисляют по формуле:

$$\gamma = \frac{\Delta \rho_{\text{дел}}}{\rho_{\text{мик}}} \cdot 100\%$$

где X_j — наибольший результат измерений из всех полученных результатов измерений на j -й отметке шкалы поверяемым кондуктометром при измерении удельной электрической проводимости поверочного раствора, См/м; x_0 — значение удельной электрической проводимости поверочного раствора на j -й отметке шкалы, измеренное эталонным кондуктометром и принятое за действительное, См/м.

где x_N — нормирующее значение удельной электрической проводимости, указанное в руководстве по эксплуатации на поверяемый кондуктометр. См/м; x — x_0 — наибольшая разность по всей шкале кондуктометра, См/м.

Значение основной погрешности не должно превышать допускаемых значений, указанных в руководстве по эксплуатации поверяемого кондуктометра.

3. Определение основной погрешности поэлементным методом.

3.1. Основную погрешность в диапазоне удельной электрической проводимости (УЭП) более чем 30 См/м и менее чем $1 \cdot 10$ См/м определяют с помощью электрических имитаторов (мер сопротивления) поэлементно: определяют основную погрешность измерительного блока анализатора и постоянную первичного преобразователя.

3.2. Заменяют первичный преобразователь анализатора магазином сопротивления, и подбором сопротивления на нем добиваются показания измерительного блока анализатора, соответствующего показанию эталонного кондуктометра.

Постоянную первичного преобразователя кондуктометра C_0 , м^{-1} , вычисляют по формуле:

$$C_0 = x_{\text{эл}} \cdot R_{\text{м}}. \quad (3)$$

где $x_{\text{эл}}$ — значение УЭП по эталонному кондуктометру, См/м;
 $R_{\text{м}}$ — значение имитирующего сопротивления, Ом.

За постоянную первичного преобразователя кондуктометра принимают среднее арифметическое значение результатов трех измерений.

Относительную погрешность определения постоянной первичного преобразователя кондуктометра в % вычисляют по формуле:

$$E = \frac{C_0}{C_{\text{изм}}} \cdot 100\%$$

где C_0 — значение постоянной первичного преобразователя, рассчитанное по формуле, м^{-1} ;

$C_{\text{изм}}$ — значение постоянной, приведенное в руководстве по эксплуатации на кондуктометр, м^{-1} .

Значение не должно превышать значения, указанного в руководстве по эксплуатации.

3.3. Основную погрешность измерительного блока кондуктометра определяют методом замещения первичного преобразователя имитирующим сопротивлением (мерой

сопротивления или проводимости) 20 %, 50 % и 80 % каждого диапазона (поддиапазона) кондуктометра.

3.4. Значение основной погрешности измерительного блока кондуктометра не должно превышать значения, указанного в руководстве по эксплуатации.

Оформление результатов поверки

1. Результаты поверки вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Государственного стандарта.

2. Положительные результаты поверки кондуктометра оформляют выдачей свидетельства о поверке в порядке, установленном национальным органом по стандартизации.

3. Кондуктометр, не удовлетворяющий требованиям настоящего стандарта, к выпуску и применению не допускают. Поверительное клеймо гасят, свидетельство о поверке аннулируют и выдают извещение о непригодности с указанием причин в порядке, установленном национальным органом по стандартизации.

Контрольные вопросы

1. Принцип действия кондуктометров?
2. Где применяется кондуктометры?
3. Типы кондуктометров.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 17

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЧЕСКОГО МОСТА И ПОТЕНЦИОМЕТРА

Цель работы: Изучения принципа действия, конструкции и измерительной схемы автоматического моста КСМЗ-І. Определение статистической характеристики и погрешности моста. Приобретение навыков работы с такими приборами при измерении температуры: определить время пробега всей шкалы, чувствительность и вариацию показаний автоматического моста.

Задание: Наладить и подготовить приборы к работе произвести измерения и определить температуру, записать заключение о проделанной лабораторной работе.

Теоретическая часть

Автоматические уравновешенные мосты переменного тока типа КВМІ с вращающимся циферблатом предназначены для измерения температуры и других величин, значение которых может быть преобразовано в активное сопротивление.

Прибор может быть изготовлен одно-, шести- или двенадцатиточечными. Уравновешенный мост работает в комплекте с термопреобразователями сопротивления стандартных градуировок.

Одноточечные приборы могут иметь регулирующее (сигнальное) устройство для регулирования (сигнализации) измеряемой величины, реостатное устройство, предназначенное для работы в комплекте с датчиками унифицированных сигналов постоянного тока с пульсацией переменной составляющей, не превышающей 1% от максимального значения пределов измерения.

Одноточечные приборы могут иметь регулирующее (сигнальное) устройство для регулирования (сигнализации) измеряемой величины. Реостатное устройство, предназначенное для работы в комплекте с программным регулирующим устройством, реостатное устройство на выходе для дистанционной передачи показаний, реостатный задатчик со 100% -

ной зоной пропорциональности для работы в комплекте с одним из регулирующих устройств: пропорциональным (П), пропорционально-интегральным (ПИ), пропорционально-интегрально-дифференциальными (ПИД).

Прибор выпускается обыкновенного исполнения для работы в стационарных условиях (исполнение V, категория 4 ГОСТ 15150-69) при температуре окружающего воздуха от плюс 5 до плюс 50°C и относительной влажности 30-80%.

Прибор выпускается для работы в тропических условиях сухо-го и влажного климата (исполнение Т, категория 4 ГОСТ 15150-69) при температуре окружающего воздуха от плюс 1 до плюс 55°C, относительной влажности минимальной 10% при температуре плюс 40°C и максимальной 98% при температуре плюс 35°C.

Потенциометры и уравновешенные мосты в обыкновенном исполнении могут быть изготовлены с искробезопасными входными цепями «Вход И/4Т5».

Прибор типа КВМ1И работает в комплекте с датчиками, не имеющими собственного источника питания, индуктивности, емкости, установленными в помещениях классов В-1, В-1а, В-1б, содержащих взрывоопасные концентрации смесей 1,2, 3, 4-й категорий групп Т1-Т5, а также на наружных установках класса В-1г.

Прибор типа КВМ1И должен устанавливаться только вне взрывоопасных помещений.

Общие сведения

Мост автоматический показывающих с самопишущий и регулирующий температуру в одной точке, с записью на диске диаграммном в полярных координатах. Работает в комплекте с термопреобразователями сопротивления.

В приборе установлен полупроводниковый усилитель, повышающий надежность и долговечность работы. Диапазоны измерений для градуировочных характеристик 10П, 50П, 21, 100П, и 100Н. Градуировочная таблица термопреобразователя сопротивления ТСП ($R_0 = 46,00 \text{ Ом}$).

Основная погрешность показаний $\pm 0,5\%$. Основная погрешность записи $\pm 1\%$. Время прохождения показателей всей шкалы 16 с.

Скорость вращения диска диаграммного - 1 оборот за 24 часа.

Наружный диаметр диска диаграммного 250 мм. Запись длительная.

Питания силовой части прибора 220 В, 50 Гц. Потребляемая мощность 4,0 Квт.

Монтаж прибора щитовой. Габаритные размеры 320X320X395 (460) мм. Масса не более 19 кг.

Градуировка автоматического моста измерителя температуры в зависимости от сопротивления приведена в таблице 17.1. Предел измерения температуры от 0 до 200°C. Магазин сопротивлений (МС) - подключается вместо ТСП и с помощью его снимается градуировочная характеристика.

Прибор является стационарным - и предназначен для работы при температуре окружающего воздуха от 5 до 60°C и относительной влажности от 30 до 60 %.

В основу прибора положен метод непрерывной автоматической компенсации измеряемой величины в следящей система приборов.

Таблица 17.1

Температура, °C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Сопротивление, ом	46	47	49	51	53	55	55	56	58	60	62
Температура, °C	110	120	130	140	160	170	180	190	200		
Сопротивление, ом	63	65	67	71	74	76	77	79	81		

Следовательно, обязательной частью прибора КСМ-З-П является измерительная схема и усилитель, реверсивный двигатель, элементы компенсации, входящие в измерительную схему и устройство выдачи информации: показания на шкале, регистрация и различные выходные сигналы.

Приборы КСМЗ-П выпускаются с различными выходными устройствами для связи с системой автоматического контроля и регулирования температуры. Выходные устройства всех приборов унифицированы.

На рис. 17.1 приведена общая принципиальная схема внешних соединений установки.

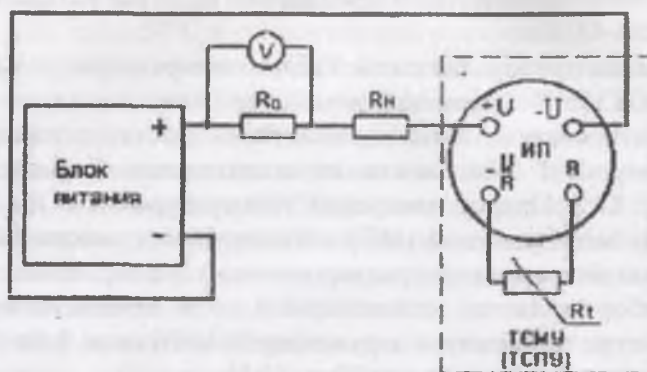


Рис.17.1. Термопреобразователь сопротивления платиновый ТСП ГОСТ 6651-71. Сопротивление термопреобразователя при 0°C равно 460 ом.

Градуировка 21, предел измерения от 0 до 200°C , номер диаграммного диска 2259. МС – магазин сопротивлений, подключается вместо ТСП и с помощью его снимается градуировочная характеристика,

Технические данные автоматического моста-измерителя температуры:

- основная погрешность приборов от нормирующего значений должна превышать пределов допускаемых значений, равных ± 0.5 . Для мостов за нормирующее значение принимают разность верхнего и нижнего предельных значений сопротивления, т.е. 200°C .

- вариация показателей приборов не должна превышать абсолютного значения предела погрешностей показателей.

- основная погрешность приборов по регистрации показаний на диаграммном диске не всех отметках диаграммного диска, выраженная в процентах от нормирующего значения, не должна превышать пределов допускаемых значений, равных $\pm 1,0$.

- приборы имеют контроль исправности. При переключении прибора в положение "Контроль" указатель устанавливается против контрольной отметки. Число колебаний указателей возле положения равновесия при скачкообразном измерении входного сигнала не должно превышать трех.

Электрическая функциональная схема уравновешенного моста приведена на рисунке 17.2. При измерении сопротивления преобразователя вследствие разбалансированности моста на его диагонали появляется напряжение, усиливается усилителем 2 и приводящее во вращение ротор двигателя, механически связанный с движком реохорда.

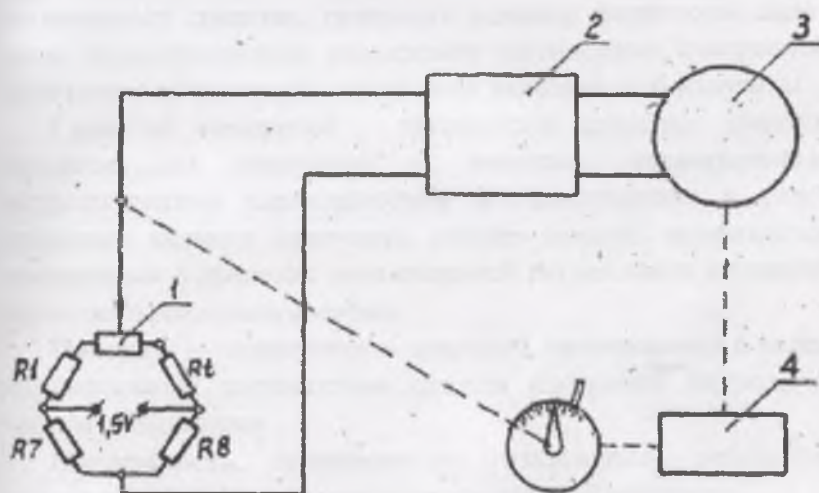


Рис.17.2. Схема электрического функционального уравновешенного моста:

1-реохорд, 2-усилитель, 3-электродвигатель, 4-редуктор; 1,7,8- резисторы измерительной схемы; - сопротивление термопреобразователя.

Контрольные вопросы

1. Как определяется абсолютная, относительная и удельная чувствительности мостовых схем?
2. Дайте определение, что такое вариация показаний прибора в какой погрешности она связана.
3. Каким образом экспериментально определяют вариацию показаний прибора?
4. Какие требования предъявляются мерам емкости?
5. От каких параметров и величин зависит емкость цилиндрического емкостного датчика?



СИЛЛАБУС - **основные термины и определения понятий в области** **метрологии**

Единство измерений — состояние измерений, характеризующееся тем, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимым первичными эталонами, а погрешности результатов измерений известны и с заданной вероятностью не выходят за установленные пределы.

Физическая величина — одно из свойств физического объекта, общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Измерение — совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения измеряемой величины с её единицей и получения значения этой величины.

Средство измерений — техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные метрологические характеристики воспроизводящие и (или) хранящие единицу величины, размер которой принимается неизменным в пределах установленной погрешности в течение известного интервала времени.

Поверка — совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям.

Погрешность измерения — отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Погрешность средства измерения — разность между показанием средства измерений и действительным значением измеряемой физической величины.

Точность средства измерений — характеристика качества средства измерений, отражающая близость его погрешности к нулю.

Лицензия — это разрешение, выдаваемое органам государственной метрологической службы на закрепленной за ним территории физическому или юридическому лицу на осуществление ему деятельности по производству и ремонту средств измерения.

Эталон единицы величины — техническое средство, предназначенное для передачи, хранения и воспроизведения единицы величины.

Физическая величина — одно из свойств физического объекта (физической системы или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Измеряемая физическая величина — физическая величина, подлежащая измерению, измеряемая или измеренная в соответствии с основной целью измерительной задачи.

Размер физической величины — количественная, определённая физическая величина, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу.

Значение физической величины — выражение физической величины в виде некоторого числа принятых для неё единиц.

Числовое значение физической величины — отвлеченное число, входящее в значение величины.

Истинное значение физической величины — значение физической величины, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую физическую величину.

Действительное значение физической величины — значение физической величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной задаче может быть использовано вместо него.

Физический параметр – физическая величина, рассматриваемая при измерении данной физической величины как вспомогательная.

Влияющая физическая величина – физическая величина, оказывающая влияние на размер измеряемой величины и (или) результат измерений.

Система физических величин – совокупность физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимают за независимые, а другие определяют как функции независимых величин.

Основная физическая величина – физическая величина, входящая в систему величин и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы.

Производная физическая величина – физическая величина, входящая в систему величин и определяемая через основные величины этой системы.

Размерность физической величины – выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных физических величин в различных степенях и отражающее связь данной физической величины с физическими величинами, принятыми в данной системе величин за основные с коэффициентом пропорциональности равным 1.

Показатель размерности физической величины – Показатель степени, в которую возведена размерность основной физической величины, входящая в размерность производной физической величины.

Размерная физическая величина – Физическая величина, в размерности которой хотя бы одна из основных физических величин возведена в степень не равную нулю.

Безразмерная физическая величина – физическая величина, в размерность которой основные физические величины входят в степени равной нулю.

Шкала физической величины – упорядоченная совокупность значений физической величины, служащая исходной основой для измерения данной величины.

Условная шкала физической величины – шкала физической величины, исходные значения которой выражены в условных единицах.

Аддитивная физическая величина – физическая величина, разные значения которой могут быть суммированы, умножены на числовой коэффициент, разделены друг на друга.

Неаддитивная физическая величина – физическая величина, для которой суммирование, умножение на числовой коэффициент или деление друг на друга её значений не имеет физического смысла.

Единица измерения физической величины – физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено значение, равное 1, и применяемая для количественного выражения однородных с ней физических величин.

Система единиц физических величин – совокупность основных и производных единиц физических единиц, образованная в соответствии с принципами для заданной системы физических величин.

Основная единица системы единиц физических величин – единица основной физической величины в данной системе единиц.

Производная единица системы единиц физических величин – единица производной физической величины системы единиц, образованная в соответствии с уравнением, связывающем её с основными единицами или с основными и уже определёнными производными.

Системная единица физической величины – единица физической величины, входящая в принятую систему единиц.

Внесистемная единица физической величины – единица физической величины, не входящая в принятую систему единиц.

Когерентная производная единица физической величины — производная единица физической величины, связанная с другими единицами системы единиц уравнением, в котором числовой коэффициент принят равным 1.

Когерентная система единиц физических величин — система единиц физических величин, состоящая из основных единиц и когерентных производных единиц.

Кратная единица физической величины — единица физической величины, в целое число раз большая системной или внесистемной единицы.

Дольная единица физической величины — единица физической величины, в целое число раз меньшая системной или внесистемной физической величины.

Размер единицы физической величины — количественная определённость физической величины, воспроизводимой или хранимой средством измерений.

Измерение физической величины — совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с её единицей и получение значения этой величины.

Равноточные измерения — ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью.

Неравноточные измерения — ряд измерений, какой-либо величины, выполненных различающимися по точности средствами измерений и (или) в разных условиях.

Однократное измерение — измерение, выполненное один раз.

Многократное измерение — измерение физической величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, т.е. состоящее из ряда однократных измерений.

Статическое измерение – измерение физической величины, принимаемую в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения.

Динамическое измерение – измерение изменяющейся по размеру физической величины.

Абсолютное измерение – измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант.

Относительное измерение – измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемую за исходную.

Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно.

Косвенное измерение – определение искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной.

Совокупные измерения – проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в разных сочетаниях.

Совместные измерения – проводимые одновременно измерения двух или нескольких величин для определения зависимости между ними.

Наблюдение при измерении – операции, проводимые при измерении и имеющие целью своевременно и правильно произвести отсчет

Отсчет показаний средства измерений – фиксация значений величины или числа по показывающему устройству средства измерений в заданный момент времени.

Измерительный сигнал – сигнал, содержащий количественную информацию об измеряемой физической величине

Измерительная информация – информация о значениях физических величин.

Измерительная задача – задача, заключающаяся в определении физической величины путем её измерения с требуемой точностью в данных условиях измерений.

Объект измерений – тело (физическая система, процесс, явление и т.д.), которое характеризуется одной или несколькими измеряемыми физическими величинами.

Область измерений – совокупность измерений физических величин, свойственных какой-либо области науки или техники и выделяющихся своей спецификой.

Вид измерений – часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин.

Подвид измерений – часть вида измерений, выделяющаяся особенностями измерений однородной величины (по диапазону, по размеру величины и др.).

Средство измерительной техники – обобщающее понятие, охватывающее технические средства, специально предназначенные для измерений.

Средство измерений – техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

Рабочее средство измерений – средство измерений, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений.

Основное средство измерений – средство измерений той физической величины, значение которой необходимо получить в соответствии с измерительной задачей.

Вспомогательное средство измерений — средство измерений той физической величины, влияние которой на основное средство измерений или объект измерений необходимо учитывать для получения результатов измерений требуемой точности.

Стандартизованное средство измерений — средство измерений, изготовленное и применяемое в соответствии с требованиями государственного или отраслевого стандарта.

Нестандартизованное средство измерений — средство измерений, стандартизация требований к которому признана нецелесообразной.

Автоматическое средство измерений — средство измерений, производящее в автоматическом режиме одно или часть измерительных операций

Автоматизированное средство измерений — средство измерений, производящее в автоматическом режиме одну или часть измерительных операций.

Мера физической величины — средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью.

Измерительный прибор — средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне.

Измерительная установка — совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенных для измерений одной или нескольких физических величин и расположенных в одном месте.

Измерительная машина — измерительная установка крупных размеров, предназначенная для точных измерений физических величин, характеризующих изделие.

Измерительная система – совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещенных в разных точках контролируемого объекта и т.п. с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях.

Измерительно – вычислительный комплекс – функционально объединённая совокупность средств измерений, ЭВМ и вспомогательных устройств, предназначенная для выполнения в составе измерительной системы конкретной измерительной задачи.

Стандартный образец – образец вещества (материала) с установленными в результате метрологической аттестации значениями одной или более величин, характеризующими свойство или состав этого вещества (материала).

Измерительный преобразователь – техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

Первичный измерительный преобразователь – измерительный преобразователь, на который непосредственно воздействует измеряемая физическая величина, то есть первый преобразователь в измерительной цепи измерительного прибора (установки, системы).

Датчик – конструктивно обособленный первичный преобразователь, от которого поступают измерительные сигналы.

Средство сравнения – техническое средство или специально созданная среда, посредством которых возможно выполнять сравнение друг с другом мер однородных величин или показания измерительных приборов.

Компаратор — средство сравнения, предназначенное для сличения мер однородных величин.

Узаконенное средство измерений — средство измерений, признанное годным и допущенное для применения уполномоченным на то органом.

Измерительные принадлежности — вспомогательные средства, служащие для обеспечения необходимых условий для выполнения измерений с требуемой точностью.

Измерительная цепь — совокупность элементов средств измерений, образующих непрерывный путь прохождения измерительного сигнала одной физической величины от входа до выхода.

Измерительное устройство — часть измерительного прибора (установки или системы), связанная с измерительным сигналом и имеющая обособленную конструкцию и назначение.

Индикатор — техническое средство или вещество, предназначенное для установления наличия какой либо физической величины или превышение уровня её порогового значения.

Чувствительный элемент средства измерений — часть измерительного преобразователя в измерительной цепи, воспринимающая входной измерительный сигнал.

Измерительный механизм средства измерений — совокупность элементов средства измерений, которые обеспечивают необходимое перемещение указателя.

Показывающее устройство средства измерений — совокупность элементов средства измерений, которые обеспечивают визуальное восприятие значений измеряемой величины или связанных с ней величин.

Указатель средства измерений — часть показывающего устройства, положение которой относительно отметок шкалы определяет показания средств измерений.

Регистрирующее устройство средства измерений — совокупность элементов средства измерений, которые

регистрируют значение измеряемой или связанной с ней величины.

Шкала средства измерений — часть показывающего устройства средства измерений, представляющая собой упорядоченный ряд отметок вместе со связанной с ними нумерацией.

Отметка шкалы — знак на шкале средства измерений (черточка, зубец, точка и др.), соответствующий некоторому значению физической величины.

Числовая отметка шкалы — отметка шкалы средства измерений, у которой проставлено число.

Деление шкалы — промежуток между двумя соседними отметками шкалы средства измерений.

Длина деления шкалы — расстояние между осями (или центрами) двух соседних отметок шкалы, измеренное вдоль воображаемой линии, проходящей через середины самих коротких отметок шкалы.

Цена деления шкалы — разность значения величины, соответствующим двум соседним отметкам шкалы средства измерений.

Длина шкалы — длина линии, проходящей через центры всех самых коротких отметок шкалы средства измерений т ограниченной начальной и конечной отметками.

Начальное значение шкалы — наименьшее значение измеряемой величины, которое может быть отсчитано по шкале средства измерений.

Конечное значение шкалы — наибольшее значение измеряемой величины, которое может быть отсчитано по шкале средства измерений.

Табло цифрового измерительного прибора — показывающее устройство цифрового измерительного прибора.

Метрологическая характеристика средства измерений — характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений и на его погрешность.

Показание средства измерений – значение величины или число на показывающем устройстве средства измерений.

Вариа́ция показаний средства измерений – разность показаний прибора в одной и той же точке при плавном подходе к этой точке со стороны меньших и больших значений измеряемой величины.

Диапазон показаний средства измерений – область значений шкалы прибора, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы.

Диапазон измерений средства измерений – область значения величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности средства измерений.

Номинальное значение меры – значение величины, приписанное мере или партии мер при изготовлении.

Действительное значение меры – значение величины, приписанное мере в результате ей калибровки или поверки.

Чувствительность средства измерений – свойство средства измерений, определяемое отношением изменения выходного сигнала этого средства к вызывающему его изменению измеряемой величины.

Порог чувствительности средства измерений – характеристики средства измерений в виде наименьшего значения изменения физической величины, начиная с которого может осуществляться ей измерение данным средством.

Разрешение средства измерений – характеристика средства измерений, выражаемая наименьшим интервалом времени между тдельными импульсами или наименьшим расстоянием между объектами, которые фиксируются прибором отдельно.

Градуировочная характеристика средства измерений – зависимость между значениями величин на входе и выходе средства измерений, полученная экспериментально.

Смещение нуля – Показание средства измерений отличное от нуля, при входном сигнале равном нулю.

Дрейф показаний средства измерений – изменение показаний средства измерений во времени, обусловленное изменением влияющих величин или других факторов.

Зона нечувствительности средства измерений – диапазон значений измеряемой величины, в пределах которого её изменения не вызывают изменения выходного сигнала средства измерений.

Средства поверки – эталоны, поверочные установки и другие средства измерений, применяемые при поверке в соответствии с установленными правилами.

Тип средства измерений – совокупность средств измерений одного и того же назначения, основанного на одном и том же принципе действия, имеющих одинаковую конструкцию и изготовленных по одной и той же технической документации.

Вид средства измерений – совокупность средств измерений, предназначенных для измерений данной физической величины.

Метрологическая исправность средства измерений – состояние средства измерений, при котором все нормированные характеристики соответствуют установленным требованиям.

Метрологическая надежность средства измерений – надежность средства измерений в части сохранения его метрологической исправности.

Метрологический отказ средства измерений – выход метрологической характеристики средства измерений за установленные пределы.

Принцип измерений – физическое явление или эффект, положенное в основу измерений.

Метод измерений – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с её единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

Метод непосредственной оценки – метод измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по показывающему средству измерений.

Метод сравнения с мерой – метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Нулевой метод измерений – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля.

Метод измерений замещением – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины.

Метод измерений дополнением – метод сравнения с мерой, в котором значение измеряемой величины дополняется мерой этой же величины с таким расчетом, чтобы на прибор сравнения воздействовала их сумма, равная заранее заданному значению.

Дифференциальный метод измерений – метод измерений, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающегося от значения измеряемой величины, и при котором измеряется разность между этими двумя величинами.

Контактный метод измерений – метод измерений, основанный на том, что чувствительный элемент прибора приводится в контакт с объектом измерения.

Бесконтактный метод измерений – метод измерений, основанный на том, что чувствительный элемент средства измерений не приводится в контакт с объектом измерения.

Методика выполнения измерений – установленная совокупность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с гарантированной точностью в соответствии с принятым методом.

Результат измерения физической величины – значение величины, полученное путем её измерения.

Неисправленный результат измерения – значение величины, полученное при измерении до введения в него поправок, учитывающих систематические погрешности.

Исправленный результат измерений – полученное при измерении значение величины и уточненное путем введения в него необходимых поправок на действие систематических погрешностей.

Сходимость результатов измерений – близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

Воспроизводимость результатов измерений – близость результатов измерений одной и той же величины, полученных в разных местах, разными средствами, разными операторами, в разное время, но приведенных к одним и тем же условиям измерений (температуре, давлению, влажности и др.).

Ряд результатов измерений – значения одной и той же величины, последовательно полученные из следующих друг за другом измерений.

Среднее взвешенное значение величины – среднее значение величины из ряда неравноточных измерений, определённое с учетом веса каждого единичного измерения.

Вес результата измерений – положительное число (p), служащее оценкой доверия к тому или иному отдельному результату измерений, входящему в ряд неравноточных измерений.

Погрешность результата измерения – отклонение результата измерений от истинного (действительного) значения измеряемой величины:

$$X_{\text{пог}} = X_{\text{изм}} - X_{\text{д}}$$

Систематическая погрешность измерения – составляющая погрешности результата измерений, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.

Инструментальная погрешность результата измерения – составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства измерения.

Погрешность метода измерений – составляющая систематической погрешности измерений, обусловленного несовершенством принятого метода измерений.

Погрешность измерения из-за изменений условий измерения – составляющая систематической погрешности измерения, являющаяся следствием неучтенного влияния отклонения в одну сторону какого либо из параметров, характеризующих условия измерения, от установленного значения.

Субъективная погрешность измерения – составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная индивидуальными особенностями оператора.

Неисключенная систематическая погрешность – составляющая погрешности результата измерений, обусловленная погрешностями вычисления и введения поправок на влияние систематических погрешностей или систематической погрешностью, поправка на действие которой, не введена вследствие её малости.

Случайная погрешность измерения – составляющая погрешности результата измерений, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же физической величины.

Абсолютная погрешность результата измерения – Погрешность измерений, выраженная в единицах измеряемой величины.

Абсолютное значение погрешности – значение погрешности без учета её знака (модуль погрешности).

Относительная погрешность результата измерения – Погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к действительному или измеренному значению измеряемой величины.

$$\delta = \frac{\Delta_x}{x}; \text{ или } \delta = \frac{\Delta_x}{x} \cdot 100\%.$$

Рассеяние результатов в ряду измерений – несовпадение результатов измерений одной и той же величины в ряду равноточных измерений, как правило, обусловленное действием случайных погрешностей.

Размах результатов измерений – оценка R_n рассеяния результатов единичных измерений физической величины, образующих ряд (или выборку из n измерений), вычисляемая по формуле:

$$R_n = X_{\max} - X_{\min}$$

Средняя квадратическая погрешность результатов единичных измерений в ряду измерений – Оценка S рассеяния единичных результатов измерений одной и той же физической величины около среднего их значения, вычисляемая по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

где x_i – результат i -го единичного измерения;

- среднее арифметическое значение измеряемой величины из n единичных результатов.

Средняя квадратическая погрешность результата измерений среднего арифметического – Оценка S случайной погрешности среднего арифметического значения результата измерений одной и той же величины в данном ряду измерений, вычисляемая по формуле:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

где S – средняя квадратическая погрешность результатов единичных измерений, полученная из ряда равноточных измерений; n – число единичных измерений в ряду.

Доверительные границы погрешности результата измерений – наибольшее и наименьшее значения погрешности измерений, ограничивающие интервал, внутри которого с заданной вероятностью находится искомое (истинное) значение погрешности результата измерений.

Доверительные границы в случае нормального закона распределения вычисляются как $\pm tS$, $\pm tS$, где S , S – средние квадратические погрешности, соответственно единичного и среднего арифметического результата измерений; t – коэффициент, зависящий от доверительной вероятности P и числа измерений n .

Поправка – значение величины, вводимое в неисправленный результат измерения с целью исключения составляющих систематической погрешности.

Поправочный множитель – числовой коэффициент, на который умножают исправленный результат измерений с целью исключений влияния систематической погрешности.

Точность результата измерений – одна из характеристик качества измерения, отражающая близость в нулю погрешности результата измерения.

Неопределенность измерений – параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые можно приписать измеряемой величине.

Погрешность метода поверки – погрешность применяемого метода передачи размера единицы при поверке.

Погрешность градуировки средств измерений – погрешность действительного значения величины, приписываемое той или иной отметке шкалы средства измерений при градуировке.

Погрешность воспроизведения единицы физической величины – погрешность результата измерений, выполняемых при передаче размера единицы.

Погрешность передачи размера единицы физической величины – погрешность результата измерений, выполняемых при передаче размера единицы.

Статическая погрешность измерений – погрешность результата измерений, свойственная условиям статического измерения

Динамическая погрешность измерений – погрешность результата измерений, свойственная условиям динамического измерения.

Промех – погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда.

Предельная погрешность измерения в ряду измерений – максимальная погрешность измерения (плюс, минус), допускаемая для данной измерительной задачи.

Погрешность результата однократного измерения – погрешность одного измерения (не входящего в ряд измерений), оцениваемая на основании известных погрешностей средства и метода измерений в данных условиях (измерениях).

Суммарная средняя квадратическая погрешность результата измерений – погрешность результата измерений (состоящая из суммы случайных и неисклученных погрешностей, принимаемых за случайные) вычисляется по формуле:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S^2 + S_{\Theta}^2}.$$

Где $S_{\Theta} = \sqrt{\frac{1}{3} \sum \Theta_i^2}$ – средняя квадратическая погрешность суммы неисклученных систематических погрешностей при равномерном распределении (принимаемых за случайные).

Погрешность средства измерений – разность между показаниями средства измерений и истинным (действительным) значением измеряемой величины.

Систематическая погрешность средства измерений – составляющая погрешности средства измерений, принимаемая за постоянную или закономерно изменяющуюся.

Случайная погрешность средства измерений – составляющая погрешности средства измерений, изменяющаяся случайным образом.

Абсолютная погрешность средства измерения – погрешность средства измерений, выраженная в единицах измеряемой физической величины.

Относительная погрешность средства измерения – погрешность средства измерений, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к результату измерений или к действительному значению измеренной физической величины.

Приведенная погрешность средства измерения – относительная погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины, постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона.

Основная погрешность средства измерения – погрешность средства измерения, применяемого в нормальных условиях.

Дополнительная погрешность средства измерения – составляющая погрешности средства измерения, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального её значения. Или вследствие её выхода за пределы нормальной области значений.

Статическая погрешность средства измерений – погрешность средства измерений, применяемого при измерении физической величины, принимаемой за неизменную.

Динамическая погрешность средства измерений – погрешность средства измерений, возникающая при измерении изменяющейся (в процессе измерения) физической величины.

Погрешность меры – разность между номинальным значением меры и действительным значением воспроизводимой ею величины.

Стабильность средства измерений – качественная характеристика средства измерений, отражающая неизменность во времени его метрологических характеристик.

Нестабильность средства измерений – изменение метрологических характеристик средства измерений за установленный интервал времени.

Точность средства измерения – характеристика качества средства измерений, отражающая близость его погрешности к нулю.

Класс точности средств измерений – обобщенная характеристика данного типа средств измерений, как правило, отражающая уровень их точности. Выражается пределами допускаемой основной и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

Предел допускаемой погрешности средства измерений – наибольшее значение погрешности средств измерений, устанавливаемое нормативным документом для данного типа средств измерений, при котором оно ещё признаётся годным к применению.

Нормируемые метрологические характеристики средства измерений – совокупность метрологических характеристик данного типа средств измерений, устанавливаемая нормативными документами на средства измерений.

Точностные характеристики средства измерений – совокупность метрологических характеристик средства измерений, влияющих на погрешность измерения.

Нормальные условия измерений – условия измерения, характеризующие совокупностью значений или областей значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие малости.

Нормальное значение влияющей физической величины – значение влияющей величины установленное в качестве номинального.

Нормальная область значений влияющей физической величины – область значений влияющей величины, в пределах которой изменением результата измерений под её воздействием можно пренебречь в соответствии с установленными нормами точности.

Рабочая область значений влияющей физической величины – область значений влияющей величины, в пределах которой нормируют дополнительную погрешность или изменение показаний средства измерений.

Рабочие условия измерений – условия измерений, при которых значения влияющих величин находятся в пределах рабочих областей.

Рабочее пространство – часть пространства (окружающего средство измерений и объект измерений), в котором нормальная область значений влияющих величин находится в установленных пределах.

Предельные условия измерений – условия измерений, характеризующиеся экстремальными значениями измеряемой и влияющих величин, которые средство измерений может выдержать без разрушений и ухудшения его метрологических характеристик.

Эталон единицы физической величины – средство измерений (или комплекс средств измерений), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи её размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Первичный эталон – эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью.

Вторичный эталон – эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы.

Эталон сравнения – эталон, применяемый для сличений эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом.

Исходный эталон – эталон, обладающий наивысшими метрологическими свойствами (в данной лаборатории, организации, на предприятии), от которого передают размер единицы подчинённым эталонам и имеющимися средствами измерений.

Рабочий эталон – эталон, предназначенный для передачи единицы рабочим средствам измерений.

Государственный первичный эталон – первичный эталон, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории страны.

Национальный эталон – эталон, признанный официальным решением служить в качестве исходного для страны.

Международный эталон – эталон, принятый по международному соглашению в качестве международной основы для согласования с ним размеров единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами.

Одиночный эталон – эталон, в составе которого имеется одно средство измерений (мера, измерительный прибор, эталонная установка) для воспроизведения и (или) хранения единицы.

Групповой эталон – эталон, в состав которого входит совокупность средств измерений одного типа, номинального значения или диапазона измерений, применяемых совместно для повышения точности воспроизведения единицы или её хранения.

Эталонный набор – эталон, состоящий из совокупности средств измерений, позволяющих воспроизводить и (или) хранить единицу в диапазоне, представляющих объединение диапазонов указанных средств

Транспортируемый эталон – эталон (иногда специальной конструкции), предназначенный для его транспортирования к

месту поверки (калибровки) средств измерений или сличений эталонов данной единицы.

Хранение эталона – совокупность операций, необходимых для поддержания метрологических характеристик эталона в установленных пределах.

Эталонная база страны – совокупность государственных первичных и вторичных эталонов, являющая основой единства измерений в стране.

Эталонная установка – измерительная установка, входящая в состав эталона.

Поверочная установка – измерительная установка, укомплектованная рабочими эталонами и предназначенная для поверки рабочих средств измерений и подчиненных рабочих эталонов.

Воспроизведение единицы физической величины – совокупность операций по материализации единицы физической величины с помощью государственного первичного эталона.

Воспроизведение основной единицы – воспроизведение единицы путем создания фиксированной по размеру физической величины в соответствии с определением единицы.

Воспроизведение производной единицы – определение значения физической величины в указанных единицах на основании измерений других величин, функционально связанных с измеряемой величиной.

Передача размера единицы – приведение размера единицы физической величины, хранимой поверяемым средством измерений, к размеру единицы, воспроизводимой или хранимой эталоном, осуществляемое при их поверке (калибровке).

Хранение единицы – совокупность операций, обеспечивающих неизменность во времени размера единицы, присущего данному средству измерений.

Поверочная схема для средств измерений – нормативный документ, устанавливающий соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона рабочим

средствам измерений (с указанием методов и погрешности при передаче).

Государственная поверочная схема – поверочная схема, распространяющаяся на все средства измерений данной физической величины, имеющиеся в стране.

Локальная поверочная схема – поверочная схема, распространяющаяся на средства измерений данной физической величины, применяемые в регионе, отрасли, ведомстве или на отдельном предприятии (в организации).

Ученый хранитель государственного эталона – должностное лицо государственного научного метрологического центра, несущее ответственность за правильное хранение и применение государственного эталона и его совершенствование.

Единство измерений – состояние измерений, характеризующееся тем, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимых первичными эталонами, а погрешности результатов измерений известны и с заданной вероятностью не выходят за установленные пределы.

Обеспечение единства измерений – деятельность метрологических служб, направленная на достижение и поддержание единства измерений в соответствии с законодательными актами, а так же правилами и нормами, установленными государственными стандартами и другими нормативными документами по обеспечению единства измерений.

Государственная система обеспечения единства измерений – комплекс нормативных документов межрегионального и межотраслевого уровней, устанавливающий правила, нормы, требования, направленные на достижение и поддержание единства измерений в стране, (при требуемой точности), утверждаемых Госстандартом страны.

Метрологическая служба – служба, создаваемая в соответствии с законодательством для выполнения работ по

обеспечению единства измерений и для осуществления метрологического контроля и надзора.

Государственная метрологическая служба — метрологическая служба, выполняющая работы по обеспечению единства измерений в стране на межрегиональном и межотраслевом уровне и осуществляющая метрологический контроль и надзор.

Метрологическая служба государственного органа управления — метрологическая служба, выполняющая работы по обеспечению единства измерений и осуществляющая метрологический контроль и надзор в пределах данного министерства (ведомства).

Метрологическая служба юридического лица — метрологическая служба, выполняющая работы по обеспечению единства измерений и осуществляющая метрологический контроль и надзор на данном предприятии (организации).

Государственный научный метрологический центр — метрологический научно-исследовательский институт (как центр государственных эталонов), несущий в соответствии с законодательством страны ответственность за создание, хранение и применение государственных эталонов, разработку нормативных документов по обеспечению единства измерений в закреплённом виде измерений.

Орган государственной метрологической службы — структурное подразделение Госстандарта страны, осуществляющий метрологический контроль и надзор на закреплённой территории.

Государственный инспектор по обеспечению единства измерений — должностное лицо Госстандарта страны, осуществляющее функции государственного метрологического контроля и надзора на соответствующей территории.

Государственный метрологический контроль — деятельность, осуществляемая государственной метрологической службой по утверждению типа средств измерений, поверке

средств измерений (включая рабочие эталоны), по лицензированию деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений

Государственный метрологический надзор – деятельность, осуществляемая органами государственной метрологической по надзору за выпуском, состоянием и применением средств измерений (включая рабочие эталоны), за аттестованными методиками измерений, соблюдением метрологических правил и норм, за количеством товаров при продаже, а так же за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже.

Испытания средств измерений – обязательные испытания образцов средств измерений в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора с целью утверждения типа средств измерений.

Утверждение типа средств измерений – решение (уполномоченного на это государственного органа управления) о признании типа средств измерений узаконенным для применения на основании результатов их испытаний государственным научным метрологическим центром или другой специализированной организацией, аккредитованной Госстандартом страны.

Поверка средств измерений – установление органом государственной метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

Первичная поверка средств измерений – поверка, выполняемая при выпуске из производства или после ремонта, а так же при ввозе средства измерений из-за границы партиями, при продаже.

Периодическая поверка средств измерений — поверка средств измерений, находящихся в эксплуатации или на хранении, выполняемая через установленные интервалы времени.

Внеочередная поверка средств измерений — поверка средства измерений, проводимая до наступления срока его очередной периодической поверки.

Инспекционная поверка средств измерений — поверка, проводимая органом государственной метрологической службы при проведении государственного надзора за состоянием и применением средств измерений.

Комплектная поверка средств измерений — поверка, при которой определяют метрологические характеристики средства измерений, присущие ему как единому целому.

Поэлементная поверка средств измерений — поверка, при которой значения метрологических характеристик средства измерений устанавливаются по метрологическим характеристикам его элементов и частей.

Выборочная поверка средств измерений — поверка группы средств измерений, отобранных из партии случайным образом, по результатам которой судят о пригодности партии:

Калибровка средств измерений — совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений и соответствующим значением величины, определённым с помощью эталона с целью определения действительных метрологических характеристик этого средства измерений.

Градуировка средств измерений — определение градуировочных характеристики средства измерений.

Метрологическая экспертиза — анализ и оценивание экспертами-метрологами правильности применения метрологических требований, правил и норм, в первую очередь связанных с единством и точностью средств измерений.

Метрологическая аттестация средств измерений – признание метрологической службой узаконенным для применения средства измерений единичного производства (или ввозимого единичными экземплярами из-за границы) на основании тщательных исследований его свойств.

Сертификация продукции – деятельность по подтверждению соответствия продукции (услуг и иных объектов) установленным требованиям.

Добровольная сертификация средств измерений – Сертификация, проводимая на добровольной основе по инициативе изготовителя (исполнителя), продавца (поставщика) или потребителя средств измерений.

Сертификационные испытания средств измерений – контрольные испытания средств измерений проводимые с целью установления соответствия характеристик их свойств национальным и (или) международным нормативным документам.

Измерительный контроль – контроль, осуществляемый с применением средств измерений.

Ремонт средства измерений – восстановление, (с помощью разборки и настройки измерительной схемы или замены деталей и узлов), метрологических характеристик средства измерений, соответствующих данному типу средств измерений.

Юстировка средства измерений – проверка и наладка приборов и механизмов, заключающаяся в установлении правильного взаимодействия и расположения деталей и узлов. (Термин - юстировка обычно применяется к оптическим и механическим приборам).

Настройка средства измерений – регулирование параметров средства измерений, прибора, датчика - в связи с выходом их метрологических характеристик за предел допустимой погрешности в процессе эксплуатации, без разборки измерительной схемы средства измерений.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА И СОСТАВЛЕНИЯ ОТЧЕТА ПО МЕТРОЛОГИИ

1. Для выполнения лабораторных работ по предмету метрологии студенческая группа делится на бригады по три человека в каждой.

2. Каждая бригада за два академических часа выполняет одну лабораторную работу.

3. Прежде чем приступить к выполнению лабораторных работ, бригада обязана заранее познакомиться с ее содержанием. Следует повторить или изучить теоретический материал, относящийся к работе; выяснить цели и задачи работы, составить проект выбора аппаратуры, дающей необходимую точность измерения, и регулирующих устройств обеспечивающих регулировку тока или напряжения.

4. Студенты, не подготовившиеся к выполнению работы, в лабораторию не допускаются.

5. Приступая к опыту, надо расположить на стенде измерительную аппаратуру и регулирующие устройства так, чтобы схема была наиболее простой и наглядной, с удобной регулировкой тока, напряжения, чтобы по-возможности было исключено влияние магнитных или электрических полей на приборы.

6. При сборке схемы сначала нужно соединить последовательные цепи, начиная, но одним зажиме источника и заканчивая на другом, а затем - параллельные цепи. Когда, схема собрана, необходимо убедиться в плотности всех зажимов, правильности установки движков реостатов и других регулирующих устройств проверить нулевое положение стрелок на шкалах приборов и лишь после разрешения руководителя включить схему.

7. Студент, включающий схему, должен предупредить об этом остальных членов бригады и внимательно следить за поведением амперметров и других измерительных приборов.

Если при включении рубильника показания амперметров резко возрастают, что свидетельствует о недопустимо большом токе в цепи, необходимо быстро заключить рубильник и предупредить об этом руководителя или лаборанта.

8. После включения тока без записи показаний приборов следует произвести необходимую регулировку в схеме и убедившись в возможности получения нужных режимов работы приступать к измерениям.

9. Во время измерения необходимо очень тщательно производить отсчету по приборам и немедленно, без всяких пересчетов записывать их показания (в делениях шкалы) в заранее заготовленную графу таблицы.

10. В случае сложных переключений в схеме она перед включением снова проверяется руководителем.

П. Студентам запрещается разрезать проводники, вскрывать приборы или переносить их и другие предметы с одного стенда на другой без разрешения руководителя или лаборанта.

12. В случае порчи прибора или регулирующего устройстве студенты обязаны немедленно сообщить об этом руководителю или лаборанту.

13. По окончании опыта производится подсчеты, от руки строятся графики, затем опытные данные и результаты вычислений показывается руководителю. После подписи черновых подсчетов нужно разобрать схему и привести в порядок рабочее место.

14. По данным черновых записей к следующему занятию в тетради лабораторных работ оформляется отчет о работе, выполняемый аккуратно чернилами, с применением чертежных инструментов. Небрежно выполненные отчеты руководитель возвращает без проверки, такие работы подлежат переделке.

15. Отчет должен содержать следующие пункты:

- 1)наименование к номер работы;
- 2)перечень аппаратуры и ее технические данные;
- 3)краткое описание работы;

4)схемы соединений;

5) таблицу с опытными и расчетными данными (а примечании к таблице записываются "постоянные" приборов);

6)формулы, по который производились вычисления;

7)кривые 8 графики размером 10x10 см (графики строятся на миллиметровой бумаге или на бумаге с масштабной сеткой).

Наименования величин, откладываемых по координатным осям с обязательным указанием единиц измерения, пишутся словами, Под графиками даются наименования построенных кривых, на которых обязательно указываются точки, полученные в результате эксперимента и расчета;

8) В отчете следует описать выполненные эксперименты, привлекая при этом теоретический материал из учебника или специальной литературы;

9)заключение о работе.

16. Лабораторная тетрадь с указанием фамилия и инициалов студента, номера студенческой группы при следующем приходе в лабораторию сдается на проверку руководителя, который возвращает ее после выполнения студентом очередной работы.

17) Студенты, не представившие отчета о предыдущей работе, не допускаются к следующим занятиям; пропущенные лабораторные занятия выполняются в дополнительное время, после прохождения студентами лабораторного практикума.

18.Запрещается находиться в лаборатории у других стенов, производить какие-либо переключения на щитах, включать рубильники.

19. В лаборатории запрещается находиться в верхней одежде, курить, громко разговаривать.

20. Все студенты, пришедшие в лабораторию, обязаны ознакомиться с правилами по технике безопасности и строго их выполнять.

21. Студенты, нарушающие правила, удаляются из лаборатории.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегея В.В. Метрология, стандартизация и сертификация. – М., 2003. – 525 с.3
2. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, метрологии. – М., 1999. – 711 с.
3. Шишкин И.В. Основы метрологии, стандартизации и контроля качества. – М., 1988. – 320 с.
4. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник для вузов. 3-е изд.—СПб.: Питер 2010
5. Белобрагин В.Я. Основы технического регулирования: Учеб пособие для вузов. - М.: РИА «Стандарты и качество» 2005
6. Сергеев А.Г. Метрология. - М.: ЛОГОС 2009
7. Сергеев А.Г. Метрология и метрологическое обеспечение: Учебник для вузов - М.: «Высшее образование» 2008
8. Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегея В.В. Метрология. Стандартизация. Сертификация: Учебн. пособие для вузов по направлению «Метрология, стандартизация и сертификация» и спец. «Метрология и метрологическое обеспечение»/2-е изд. перераб. и доп. - М.: ЛОГОС 2005
9. Никифоров А.Д., Бакиев Т.А. Метрология, сертификация и стандартизация, - М.: Инфра-М 2005
10. Радкевич Я.М., Схиртладзе А.Г., Лактионов Б.И. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. для вузов/ М.: Высш. шк. 2004
11. Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология: Учеб. пособие для вузов. - М.: ЛОГОС 2001
12. Глудкин О.П. и др. Всеобщее управление качеством: Учеб. для инженерных и экономических спец. вузов/ Глудкин

О.П., Горбунов Н.М., Гуров А.И., Зорин Ю.В.; Под ред. О.П. Глудкина. - М.: Горячая линия. - Телеком 2001

13. Окрепилов В.В. Управление качеством: Учебник для вузов. - СПб: Наука 2000

15. Лифиц И.М. Основы стандартизации, метрологии, сертификации. - М.: Юрайт, 2001.

16. Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегеря В.В. Метрология. Стандартизация. Сертификация. - М.: Логос, 2003.

17. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003.

18. Лифиц И.М. Стандартизация, метрология, сертификация. - М.: Юрайт, 2003.

19. Басаков М.И. Сертификация продукции и услуг с основами стандартизации и метрологии. - Ростов-на-Дону, 2002.

20. Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С. Метрология, стандартизация и технические средства измерений. - М.: Высшая школа, 2001.

21. Немилостива Н.И. Стандартизация, сертификация и метрология. - Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2002.

22. Малинский В.Д. Основы сертификации. Учебное пособие - МГИЭМ, М.: 2001 - 370 с.

23. Лифиц И.М. Стандартизация, метрология и сертификация: Учебник. - М.: Юрай-Издат, 2002. - 296 с.

24. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов. М.: Аудит, ЮНИТИ, 1998. - 479 с.

25. Измерительная информационная техника и метрология/Под. ред. Г.Н. Солопченко. Лабораторный практикум. В 5 ч. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000.

26. Солопченко Г.Н. Метрология, стандартизация, сертификация. Электронный учебник.

27. ГОСТ 8.009 «ГСИ. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений. «- М.: Изд-во стандартов.

28. Закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» от 27.04.93 № 4371-1.

29. Закон Российской федерации «О стандартизации» от 10.06.1993 г., № 5156-1.

30. Закон Российской Федерации «О сертификации продукции и услуг» от 10.06.1993г., № 5153-1.

31. ГОСТ 8.438 «ГСИ. Системы информационно-измерительные. Поверка. Общие положения». - М.: Изд-во стандартов.

32. ГОСТ 8.061 «ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение» - М.: Изд-во стандартов.

33. ГОСТ 8.395 «ГСИ. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования». - М.: Изд-во стандартов.

34. ГОСТ 8.513. «ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения» - М.: Изд-во стандартов.

35. ГОСТ 8.401 «ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования». - М. - Изд-во стандартов.

36. ГОСТ 8.417 «ГСИ. Единицы физических величин». - М.: Изд-во стандартов.

37. МИ 1317 «ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления». - М.: Изд-во стандартов.

38. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебное пособие: Е. Б. Герасимова, Б. И. Герасимов — Санкт-Петербург, Форум, Инфра-М, 2015 г.- 224 с.

39. Метрология, стандартизация и сертификация. Взаимозаменяемость и технические измерения: В. Д. Мочалов, А. А. Погонин, А. Г. Схиртладзе — Москва, ТНТ, 2012 г.- 266 с.

40. Метрология, стандартизация и сертификация: — Санкт-Петербург, Форум, 2009 г.- 336 с.

41. Метрология, стандартизация и сертификация: А. И. Аристов, Л. И. Карпов, В. М. Приходько, Т. М. Раковщик — Санкт-Петербург, Academia, 2008 г.- 384 с.

42. Основы метрологии, стандартизации, сертификации и контроля качества: А. А. Гончаров, В. Д. Копылов — Санкт-Петербург, Академия, 2013 г.- 272 с.

43. Основы стандартизации, метрологии, сертификации. 100 экзаменационных ответов: М. И. Басаков — Санкт-Петербург, МарТ, Феникс, 2010 г.- 224 с.

44. Основы стандартизации, метрологии, сертификации: О. П. Яблонский, В. А. Иванова — Москва, Феникс, 2010 г.- 480 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
----------------	---

Часть I. МЕТРОЛОГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Лабораторная работа №1. Поверка технических вольтметров	9
Лабораторная работа №2. Поверка технических амперметров	20
Лабораторная работа №3. Измерение цена делений и внутреннее сопротивление гальванометра.....	28
Лабораторная работа №4. Измерение сопротивления резистора Омметром	34
Лабораторная работа №5 Изучение зависимости сопротивление полупроводника от температуры	40
Лабораторная работа № 6. Измерение сила тока, напряжения и сопротивления с помощью мультиметра (авометра)	50
Лабораторная работа №7. Поверка однофазного индукционного счетчика	63
Лабораторная работа №8. Изучение и применение цифровых вольтметров и амперметров	71
Лабораторная работа №9. Поверка трехфазного индукционного счетчика	80
Лабораторная работа №10. Поверка электродинамичес- ких ваттметров	86

Часть II. МЕТРОЛОГИЯ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Лабораторная работа № 11. Поверка класса точности термометров	91
Лабораторная работа №12. Дистанционное определение температуры объекта с помощью пирометра	120
Лабораторная работа №13. Поверка аналитических весов	132
Лабораторная работа №14. Поверка рН- метров	140
Лабораторная работа №15. Поверка спектрофотометров	156
Лабораторная работа №16. Поверка кондуктометров ...	170
Лабораторная работа №17. Измерение температуры с помощью автоматического моста и потенциометра	179
СИЛЛАБУС - основные термины и определения понятий в области метрологии	185
Порядок проведения эксперимента и составления отчета по метрологии	214
Использованная литература	217

САБИТДЖАН ЯКУБЖАНОВИЧ ИНАГАМОВ

МЕТРОЛОГИЯ

Ташкент – «Fan va texnologiya» – 2019

Редактор:	Ш. Кушербаева
Тех. редактор:	А. Мойдинов
Художник:	А. Шушунов
Корректор:	Ш. Миркасимова
Компьютерная вёрстка:	Н. Рахматуллаева

**Е-mail: tipografiyacent@mail.ru Тел: 71-245-57-63, 71-245-61-61.
Изд. лиц. АИ №149, 14.08.09. Разрешено в печать 19.11.2019.
Формат 60x84 ¹/₁₆. Гарнитура «Times New Roman».
Офсетная печать. Усл. печ.л. 13,75. Изд. печ.л. 14,0.
Тираж 200. Заказ № 220.**

МЕТРОЛОГИЯ

Отпечатано в типографии
«Fan va texnologiyalar Markazining bosmaxonasi».
100066, г. Ташкент, ул. Алмазар, 171.

FAN VA
TEKNOLOGİYALAR

ISBN 978-9943-6151-0-6

