

Министерство образования и науки Российской Федерации
Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова

Е.Ю. Мухина
Е.С. Рябчикова

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве практикума*

Магнитогорск
2012

Рецензенты:

*Заведующий кафедрой информатики и математики
Магнитогорского филиала
Московского социально-психологического института,
доктор технических наук
О.С. Логунова*

*Заместитель начальника отдела автоматизации
ООО «ММК-Информсервис»
Е.Р. Валеев*

Мухина, Е.Ю.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами: практикум / Е.Ю Мухина, Е.С. Рябчикова. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – 93 с.

Рассмотрены методы и средства измерения технологических параметров производственных процессов, статические и динамические характеристики объекта управления, переходные процессы в системах управления и оценки качества их работы.

Предложен цикл лабораторного практикума, состоящий из десяти работ.

Практикум предназначен для студентов специальности 261201 «Технология и дизайн упаковочного производства» и направления 261200 «Технология и дизайн упаковочного производства» при изучении дисциплины «Автоматизированные системы управления технологическими процессами».

УДК 681.5 (075.8)

© Магнитогорский государственный
технический университет
им. Г.И. Носова, 2012
© Мухина Е.Ю., Рябчикова Е.С., 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ АВТОМАТИКИ	6
2. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ	7
3. ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ.....	9
4. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ	10
5. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ	12
6. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	15
Лабораторная работа №1 (стенд № 1) Измерение расхода газа	15
Лабораторная работа № 2 (стенд № 9) Поверка термопар	21
Лабораторная работа №3 (стенд № 10) Поверка вторичного прибора «Диск-250», магнитоэлектрического логометра Ш-4540/1 и прибора А-566	31
Лабораторная работа №4 (стенд № 12) Испытание и поверка компенсационного автоматического потенциометра КСП-3, магнитоэлектрического милливольтметра Ш-4540 и вторичного прибора «Диск-250»	36
Лабораторная работа № 5 (стенд № 13) Изучение принципа действия и работы пирометра комплекса АПИР-С	44
Лабораторная работа № 6 (стенд № 14) Измерение уровня жидкостей	50
Лабораторная работа № 7 (стенд № 15) Измерение уровня сыпучих материалов	58
Лабораторная работа № 8 (стенд № 18) Преобразователи давления серии «Метран»	67
Лабораторная работа № 9 Экспериментальное определение статической и динамической характеристик объекта управления	75
Лабораторная работа № 10 Определение качественных показателей работы системы автоматического регулирования.....	88
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	92
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	93

ПРЕДИСЛОВИЕ

Содержание предлагаемого практикума основано на программе дисциплины «Автоматизированные системы управления технологическими процессами», изучаемой студентами специальности 261201 «Технология и дизайн упаковочного производства» и направления 261200 «Технология и дизайн упаковочного производства».

Практикум может быть использован также студентами других специальностей при выполнении лабораторных работ, связанных с изучением методов и средств измерения технологических параметров производственных процессов, статических и динамических характеристик объекта управления, переходных процессов в системах управления и оценок качества их работы.

Практикум состоит из десяти лабораторных работ. Каждая лабораторная работа включает в себя: цель работы; теоретическое введение; порядок выполнения работы; содержание отчета; контрольные вопросы. Для более углубленного изучения излагаемого материала приведен библиографический список.

ВВЕДЕНИЕ

С давних времен люди мечтали о создании таких систем, которые способны самостоятельно, без вмешательства человека решать задачи по управлению технологическими параметрами производственных процессов.

Главной целью этого издания является изучение теоретических основ и приобретение практического опыта в рассмотрении методов и средств измерения технологических параметров производственных процессов, статических и динамических характеристик объекта управления, переходных процессов в системах управления и оценки качества их работы.

Лабораторный практикум по дисциплине «Автоматизированные системы управления технологическими процессами» включает в себя десять лабораторных работ:

1. Измерение расхода газа.
2. Поверка термомпар.
3. Поверка вторичного прибора «Диск-250», магнитоэлектрического логометра Ш-4540 и прибора А-566.
4. Испытание и поверка компенсационного автоматического потенциометра КСП-3, магнитоэлектрического милливольтметра Ш-4540/1 и вторичного прибора «Диск-250».
5. Изучение принципа действия и работы пирометра комплекса АПИР-С.

6. Измерение уровня жидкости.
7. Измерение уровня сыпучих материалов.
8. Преобразователи давления серии Метран.
9. Экспериментальное определение статической и динамической характеристики объекта управления.
10. Определение качественных показателей работы системы автоматического регулирования.

В процессе выполнения работ студент изучит методы и средства измерения неэлектрических параметров технологического процесса, а также метрологические характеристики средств измерений, цель и порядок поведения поверки контрольно-измерительных приборов; характеристики объектов управления и качественные показатели работы систем автоматического регулирования.

В процессе выполнения лабораторного практикума студенту необходимо:

- подготовить конспект лабораторной работы;
- выполнить экспериментальную часть работы;
- выполнить расчетную часть работы;
- оформить отчет о проделанной работе;
- защитить работу.

Теоретического материала, изложенного в данной работе, достаточно для подготовки экспериментальной части работы и обработки результатов. Однако для углубленного изучения материала следует пользоваться дополнительной литературой, поскольку эффективное усвоение материала возможно только тогда, когда ясна цель эксперимента и имеется представление об ожидаемых результатах.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ АВТОМАТИКИ

Под управлением понимают такую организацию процесса, которая обеспечивает заданный характер протекания процесса.

При этом сам процесс является объектом управления, а переменные, характеризующие состояние процесса, называются управляемыми переменными или управляемыми величинами.

Если управление объектом осуществляется без участия человека, то такое управление является автоматическим. Автоматическое управление в общем случае должно обеспечить любые законы протекания управляемого процесса, т.е. любые режимы работы объекта управления.

Если автоматическое управление призвано обеспечить изменение (поддержание) управляемой величины по заданному закону, то его называют автоматическим регулированием. Следовательно, автоматическое регулирование можно рассматривать как частный вид автоматического управления.

Совокупность технических устройств, обеспечивающих автоматическое регулирование, является системой автоматического регулирования (САР). Любая САР может быть представлена как совокупность технологического объекта управления (ОУ) и регулятора (или нескольких регуляторов). Воздействия, прикладываемые к регулятору для обеспечения требуемых значений управляемых величин, являются управляющими воздействиями. Управляющие воздействия называют также входными величинами, а управляемые – выходными величинами. Физические элементы, к которым прикладываются входные величины, служат входами, а физические элементы, в которых наблюдается изменение управляемых переменных, – выходами.

Воздействия, выводящие объект управления из заданного режима, называются возмущающими воздействиями (возмущениями).

Автоматизация производства (АП) – это процесс в развитии машинного производства, при котором функции управления и контроля, ранее выполняемые человеком, передаются приборам и автоматическим устройствам. По степени автоматизации различают частичную, комплексную и полную автоматизацию производства.

Степень автоматизации определяется прежде всего ее экономической эффективностью и целесообразностью.

Система управления, выбранная для достижения поставленной цели, в сочетании с комплексом технических средств для измерения, регулирования, сбора информации и человеком-оператором, образует автоматизированную систему управления.

2. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Средство измерений (СИ) – 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.

По назначению средства измерений подразделяются на:

- меры;
- измерительные преобразователи;
- измерительные приборы;
- измерительные установки;
- измерительные системы.

Все средства измерений, независимо от их конкретного исполнения, обладают рядом общих свойств, необходимых для выполнения ими их функционального назначения. Технические характеристики, описывающие эти свойства и оказывающие влияние на результаты и на погрешности измерений, называются метрологическими характеристиками. Перечень важнейших из них регламентируется ГОСТ «Нормируемые метрологические характеристики средств измерений».

Комплекс нормируемых метрологических характеристик устанавливается таким образом, чтобы с их помощью можно было оценить погрешность измерений, осуществляемых в известных рабочих условиях эксплуатации посредством отдельных средств измерений или совокупности средств измерений, например автоматических измерительных систем.

К метрологическим характеристикам относятся: функция преобразования, погрешность средства измерений, чувствительность, цена деления шкалы, порог чувствительности, диапазон измерений и др. От того, насколько они точно будут выдержаны при изготовлении и стабильны при эксплуатации, зависит точность результатов, получаемая с помощью средства измерения.

Функция преобразования (статическая характеристика преобразования) устанавливает зависимость информативного параметра y выходного сигнала измерительного преобразователя от информативного параметра x входного сигнала. Функцию преобразования, принимаемую для средства измерения и устанавливаемую в научно-технической документации на данное средство, называют номинальной функцией преобразования средства. *Номинальная статическая характеристика* позволяет рассчитать значение входной величины по значению выходной. Она может задаваться аналитически, таблично или графически.

Погрешность СИ – важнейшая метрологическая характеристика, определяемая как разность между показанием СИ и истинным (действи-

тельным) значением измеряемой величины. Для меры показанием является её номинальное значение.

Чувствительность СИ – свойство СИ, определяемое отношением изменения выходного сигнала этого средства к вызывающему его изменению измеряемой величины.

Абсолютная чувствительность определяется по формуле

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X}, \quad (1)$$

а относительная чувствительность

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X / X}, \quad (2)$$

где ΔY - изменение сигнала на выходе; ΔX - изменение измеряемой величины; X – измеряемая величина.

При нелинейной статической характеристике преобразования чувствительность зависит от X , при линейной характеристике она постоянна.

У измерительных приборов при постоянной чувствительности шкала равномерная, т.е. расстояние между соседними делениями шкалы одинаковое.

Важной характеристикой шкальных измерительных приборов является **цена деления шкалы** (постоянная прибора) – разность значения величины, соответствующая двум соседним отметкам шкалы СИ. Если чувствительность постоянна в каждой точке диапазона измерения, то шкала называется равномерной. При неравномерной шкале нормируется наименьшая цена деления шкалы измерительных приборов. У цифровых приборов шкалы в явном виде нет, и на них вместо цены деления указывается цена единицы младшего разряда числа в показании прибора.

Порог чувствительности – наименьшее значение изменения физической величины, начиная с которого может осуществляться её измерение данным средством. Порог чувствительности выражают в единицах входной величины.

Диапазон измерений – область значений величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности СИ. Значения величины, ограничивающие диапазон измерений снизу и сверху (слева и справа) называют соответственно нижним и верхним пределом измерений.

Надёжность СИ – это способность СИ сохранять нормированные характеристики при определённых условиях работы в течение заданного времени. Основными критериями надёжности приборов являются вероятность и средняя продолжительность безотказной работы.

Вероятность безотказной работы определяется вероятностью отсутствия отказов прибора в течение определённого промежутка времени.

Средняя продолжительность – отношение времени работы прибора к числу отказов за это время.

Класс точности прибора – обобщённая характеристика, характеризующая точность. Это предел основной допустимой приведённой (относительной) погрешности, выраженный в процентах. Комплекс операций с целью выявления класса точности называется **поверкой**.

3. ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

Поверка контрольно-измерительных приборов (КИП) проводится на основе Госстандарта России: государственной системы обеспечения единства измерений «Порядок проведения поверки средств измерений».

Поверка средств измерений – совокупность операций, выполняемых органами Государственной метрологической службы (другими уполномоченными органами, организациями) с целью, определения и подтверждения соответствия средств измерений установленным техническим требованиям.

Средства измерений, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору, подвергаются поверке органами Государственной метрологической службы при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту и эксплуатации.

Эталоны органов Государственной метрологической службы, а также средства измерений, ими не поверяемые, подвергаются поверке государственными научными метрологическими центрами.

Поверочная деятельность, осуществляемая аккредитованными метрологическими службами юридических лиц, контролируется органами Государственной метрологической службы по месту расположения этих юридических лиц.

Поверка средств измерений осуществляется физическим лицом, аттестованным в качестве поверителя в порядке, устанавливаемом Госстандартом России.

Поверка производится в соответствии с нормативными документами, утверждаемыми по результатам испытаний по утверждению типа средства измерений.

Результатом поверки является подтверждение пригодности средства измерений к применению или признание средства измерений непригодным к применению.

Различают следующие виды поверки:

- первичная;
- периодическая;
- внеочередная;
- инспекционная;
- экспертная.

Первичная поверка проводится при выпуске средства измерений из производства и ремонта.

Периодическая поверка проводится при эксплуатации и хранении средства измерений через определённые межповерочные интервалы, установленные с расчётом обеспечения метрологической исправности (надёжности) на период между поверками, т.е. его пригодности к применению.

Внеочередная поверка производится при эксплуатации (хранении) средства измерений вне зависимости от сроков периодической поверки при повреждении поверительного клейма, пломбы или утрате документов о предыдущей поверке и т.д.

Инспекционная поверка проводится для выявления исправности (пригодности к применению) средства измерений при осуществлении госнадзора и ведомственного контроля на предприятиях, складах и в местах его эксплуатации.

Экспертная поверка проводится при возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам, исправности средства измерений и пригодности его к применению.

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха $20 \pm 2^\circ\text{C}$;
- относительная влажность 30–80%;
- атмосферное давление 100 ± 6 кПа.

4. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерение является важнейшим понятием в метрологии.

Измерение – это нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специального измерительного средства.

По способу получения результатов измерений их разделяют на:

- прямые;
- косвенные;
- совокупные;
- совместные.

Прямые измерения – это измерения, при которых искомое значение физической величины находят непосредственно из опытных данных (с измерительного прибора). При прямых измерениях экспериментальным операциям подвергают измеряемую величину, которую сравнивают с мерой непосредственно или же с помощью измерительных приборов, градуированных в требуемых единицах. Примерами прямых служат измерения длины тела линейкой, массы при помощи весов и др. Прямые измерения широко применяются в машиностроении, а также при контроле технологических процессов (измерение давления, температуры и др.).

Косвенные измерения – это измерения, при которых искомую величину определяют на основании известной зависимости между этой величиной

и величинами, подвергаемыми прямым измерениям, т.е. измеряют не собственно определяемую величину, а другие, функционально с ней связанные. Значение измеряемой величины находят путем вычисления по формуле.

Примеры косвенных измерений: определение объема тела по прямым измерениям его геометрических размеров, нахождение удельного электрического сопротивления проводника по его сопротивлению, длине и площади поперечного сечения, определение мощности в нагрузке по показаниям амперметра и вольтметра ($P=UI$).

Хотя косвенные измерения сложнее прямых, они широко распространены в тех случаях, когда искомую величину невозможно или слишком сложно измерить непосредственно или когда прямое измерение дает менее точный результат. Роль их особенно велика при измерении величин, недоступных непосредственному экспериментальному сравнению, например размеров астрономического или внутриатомного порядка.

Совокупные измерения – это производимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомую величину определяют решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.

Примером совокупных измерений является определение массы отдельных гирь набора (калибровка по известной массе одной из них и по результатам прямых сравнений масс различных сочетаний гирь).

Совместные измерения – это производимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для нахождения зависимостей между ними.

В качестве примера можно назвать измерение электрического сопротивления при 200°C и температурных коэффициентов измерительного резистора по данным прямых измерений его сопротивления при различных температурах.

Принцип измерений – физическое явление или совокупность физических явлений, положенных в основу измерений. Например, измерение массы тела при помощи взвешивания с использованием силы тяжести, пропорциональной массе, измерение температуры с использованием термоэлектрического эффекта.

Метод измерений – совокупность приемов использования принципов и средств измерений. Средствами измерений являются используемые технические средства, имеющие нормированные метрологические свойства. Методы измерения бывают следующими:

1. **Метод непосредственной оценки** (отсчёта) – метод измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по показывающему средству измерений.
2. **Дифференциальный (разностный) метод** – метод измерения, в котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, незначительно отличающейся от измеряемой величины, и при котором измеряется разность между этими двумя величинами.

3. **Нулевой метод** – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля. Например, измерение электрического сопротивления мостом с полным его уравновешиванием.

5. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Процедура измерения состоит из следующих этапов: принятие модели объекта измерения, выбор метода измерения, выбор СИ, проведение эксперимента для получения результата. Это приводит к тому, что результат измерения отличается от истинного значения измеряемой величины на некоторую величину, называемую **погрешностью измерения**.

Измерение можно считать законченным, если определена измеряемая величина и указана возможная степень её отклонения от истинного значения.

Причины возникновения погрешностей многочисленны, поэтому классификация погрешностей, как и всякая другая классификация, носит достаточно условный характер.

По способу выражения погрешности СИ делятся на абсолютные, относительные и приведенные.

Абсолютной погрешностью называют разность между показаниями прибора и действительным значением измеряемой величины. Ее выражают в единицах измеряемой величины:

$$\Delta = A - A_1, \quad (3)$$

где A – показания прибора; A_1 – действительное значение измеряемой величины.

При сравнении показаний нескольких приборов необходимо знать **относительную погрешность** прибора, т.е. отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины, которую выражают в процентах:

$$\delta = \frac{\Delta}{A_1} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Приведенная погрешность – это отношение абсолютной погрешности к диапазону измерений, выраженное в процентах:

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_N} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Класс точности прибора численно равен приведенной погрешности. Например, термометр класса точности 1 может иметь допустимую по-

грешность $\pm 1\%$ верхнего предела шкалы. Таким образом, для термометра со шкалой $0-200^{\circ}\text{C}$ величина допустимой погрешности в этом классе будет составлять $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Вариация – это разность показаний при измерении одной и той же величины при неизменных внешних условиях.

Приведенная вариация – это отношение вариации к диапазону измерений, выраженное в процентах:

$$V = \frac{\Delta A}{(A_{\text{макс}} - A_{\text{мин}})} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где $A_{\text{макс}}$ и $A_{\text{мин}}$ – верхнее и нижнее предельные значения шкалы прибора.

В зависимости *от влияния характера изменения измеряемой величины* погрешности СИ подразделяются на статические и динамические.

Статическая погрешность – погрешность СИ, применяемого при измерении физической величины, принимаемой за неизменную.

Динамическая погрешность – погрешность СИ, возникающая при измерении изменяющейся (в процессе измерений) физической величины, являющаяся следствием инерционных свойств СИ.

По причине и условиям возникновения погрешности СИ подразделяются на основную и дополнительную.

Основная погрешность – это погрешность СИ, находящаяся в нормальных условиях эксплуатации, которые обычно определяются по паспорту прибора (напряжение питания, температура эксплуатации, влажность, давление и т.д.)

Дополнительная погрешность – составляющая погрешности СИ, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие нарушения какого-либо условия эксплуатации.

По характеру изменения погрешности СИ подразделяются на систематические, случайные и промахи.

Систематические погрешности – составляющая погрешности СИ, принимаемая за постоянную или закономерную изменяющуюся. Систематическая погрешность, как правило, имеет один и тот же знак и одну и ту же величину, или известна закономерность её проявления.

К систематическим погрешностям относятся методические (из-за неточности формулы, взятой в основу создания приборов, трудность реализации взятой формулы из-за наличия неполноты знаний об объекте), инструментальные (неточность изготовления деталей и узлов прибора, неточность сборки, а также следствие старения. Для устранения необходим комплекс операций, обеспечивающий поверку), субъективные (зависят от персонала, который проводит измерение).

Случайная погрешность – составляющая погрешности СИ, изменяющаяся случайным образом. Она приводит к неоднозначности показаний и обусловлена причинами, которые нельзя предсказать и учесть. Однако при проведении некоторого числа повторных опытов теория вероятности и математическая статистика позволяет уточнить результат измерения.

Промахи – грубые погрешности, связанные с ошибками оператора или неучтёнными внешними воздействиями. Их обычно исключают из результатов измерений.

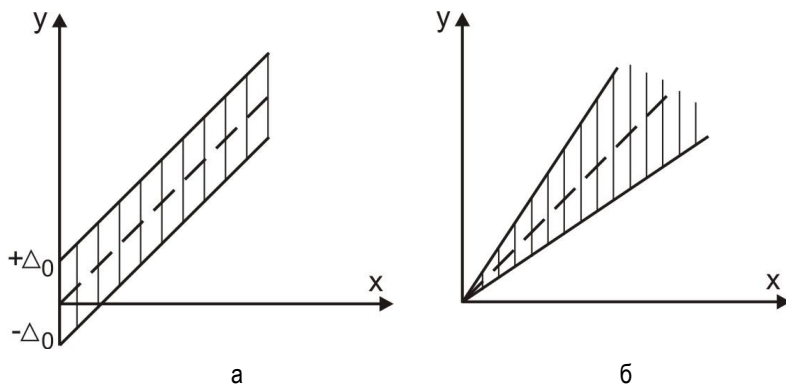
По зависимости от значения измеряемой величины погрешности СИ подразделяются на аддитивные и мультипликативные.

Аддитивная погрешность не зависит от нечувствительности прибора и является постоянной по величине для всех значений входной величины X в пределах диапазона измерений (см. рисунок, а).

Источники данной погрешности: трение в опорах, наводки, вибрации. Примерами аддитивной погрешности приборов являются погрешности нуля, погрешность дискретности (квантования) в цифровых приборах. Если прибору присуща только аддитивная погрешность, то его нормируют по приведённой погрешности.

Мультипликативная погрешность зависит от чувствительности прибора и изменяется пропорционально текущему значению входной величины (см. рисунок, б).

Источниками этой погрешности являются: погрешности регулировки отдельных элементов СИ (например шунта, добавочного резистора), старение элементов, изменение их характеристик, влияние внешних факторов.



Форма границ полосы погрешности для аддитивной (а) и мультипликативной (б) погрешностей

6. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторная работа №1 (стенд № 1) ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ГАЗА

Цель работы

1. Ознакомиться с методами измерения расхода газа.
2. Изучить сущность метода переменного перепада давления на сужающем устройстве.
3. Изучить методику измерения расхода газа методом постоянного перепада давления с помощью ротаметров (расходомеров обтекания).
4. Изучить методику измерения расхода по динамическому давлению (напорной трубкой).

Общие положения

В технологических процессах многих отраслей промышленности одним из важнейших параметров является расход протекающего по трубопроводу вещества (жидкость, газ). Точный контроль, регулирование или учет этого параметра дает возможность воздействовать на ход процесса, а следовательно, и на качество конечного продукта.

В соответствии с ГОСТ 8.563.1-97 под **расходом** понимается физическая величина, равная пределу отношения приращения массы или объема, или количества жидкости (газа), протекающих в трубопроводе через сечение, перпендикулярное направлению скорости потока, к интервалу времени, за которое это приращение произошло, при неограниченном уменьшении интервала времени.

Различают объемный и массовый расходы, которые связаны между собой через плотность вещества.

В системе СИ основной единицей объемного расхода является $\text{м}^3/\text{с}$, а массового – $\text{кг}/\text{с}$. При технических измерениях часто применяют единицы измерения $\text{м}^3/\text{ч}$ и $\text{кг}/\text{ч}$.

Измерительный прибор, служащий для измерения расхода вещества, называется расходомером, а прибор для измерения объема (массы) – счетчиком. В каждом конкретном случае к этим терминам следует добавить наименование контролируемой среды (примеры: расходомер жидкости, счетчик жидкости).

Наибольшее распространение получили следующие разновидности расходомеров:

1. *Метод переменного перепада давления*, основанный на зависимости величины перепада статического давления на сужающем устройстве от расхода;
2. *Метод переменного уровня*, принцип работы которого основан на зависимости уровня в расходомере при свободном истечении среды через отверстие от расхода.

3. *Расходомеры обтекания*, основанные на зависимости положения чувствительного элемента, воспринимающего динамическое давление потока от расхода.
4. *Тахометрические расходомеры*, реализующие зависимость скорости движения чувствительного элемента расходомера, установленного в потоке, от расхода.
5. *Электромагнитные расходомеры*, основанные на зависимости взаимодействия электропроводной среды с магнитным полем от расхода.
6. *Ультразвуковые расходомеры*, основанные на зависимости частоты колебаний от расхода.
7. *Вихревые расходомеры*, принцип работы которых связан с зависимостью частоты колебаний при вихреобразовании в потоке от расхода: тепловые, преобразующие с помощью теплового преобразователя скорость потока в температуру и использующие зависимость этой температуры от расхода.
8. *Оптические расходомеры* с лазерным преобразователем, принцип действия которых реализует зависимость скорости прохождения светового пучка от расхода среды.
9. *Ионизационные расходомеры*, которые используют искусственную ионизацию потока среды и измеряют ионизационный ток, величина которого зависит от расхода среды; меточные, реализуют зависимость времени прохода искусственно созданной внутри потока метки участка трубопровода от расхода.

Измерение расхода по переменному перепаду давления в сужающем устройстве

Измерение расхода по перепаду давления в сужающем устройстве основано на зависимости перепада давления в неподвижном сужающем устройстве, устанавливаемом в трубопроводе, от расхода измеряемой среды.

Это устройство следует рассматривать как первичный преобразователь расхода. Создаваемый в сужающем устройстве перепад давления измеряется дифманометром, который по линии связи соединяется с вторичным прибором, градуированным в единицах расхода.

Рассматриваемый принцип измерения заключается в том, что при протекании потока через отверстие сужающего устройства повышается скорость истока по сравнению со скоростью до сужения. Увеличение скорости, а следовательно, и кинетической энергии вызывает уменьшение потенциальной энергии и соответственно статического давления. Расход может быть определен по перепаду давления, измеренному дифманометром в соответствии с градуировочной характеристикой.

В качестве сужающих устройств для измерения расхода жидкостей, газа, пара используются диафрагмы, сопла и значительно реже сопла Вентури.

При выборе конкретного сужающего устройства руководствуются величиной потерь давления, вызываемой сужающим устройством. Меж-

ду расходом и перепадом давления существует квадратичная зависимость. Для получения равномерной шкалы расходомера в кинематическую и электрическую схему дифманометров или вторичных приборов включаются различные типы устройств, извлекающих квадратный корень. Наличие таких устройств является одним из недостатков метода измерения расхода по перепаду давления.

Наименьшие потери имеет сопло Вентури.

Другим серьезным недостатком метода является суженный диапазон измерения каждого конкретного расходомера, охватывающий обычно интервал 30-100% наибольшего измеряемого расхода. Точность расходомера гарантируется только в этих пределах.

Основная погрешность расходомеров переменного перепада давления составляет 1-4%.

Измерение расхода методом постоянного перепада давления

Принцип действия этих расходомеров, называемых ротаметрами, основан на зависимости вертикального перемещения поплавка, изменяющего при этом площадь проходного сечения трубки таким образом, что перепад давления по обе стороны поплавка остается постоянным от расхода жидкости (газа).

В простейшем виде ротаметр представляет собой вертикальную коническую (расходящуюся вверх) стеклянную трубку, внутри которой располагается поплавок. Поплавки могут иметь различную форму. Одной из форм является цилиндрическая с нижней конической частью и верхним бортиком с вырезанными на нем косыми канавками. Контролируемая среда при протекании через канавки обеспечивает вращение поплавка, при этом он центрируется по оси трубки и устраняется его трение о стенки.

Выпускаются два типа ротаметров:

- а) показывающие;
- б) с электрической или пневматической передачей показаний на расстоянии.

Показывающие ротаметры имеют стеклянную трубку, на которую нанесена шкала, а показания отсчитываются визуально по положению верхней части поплавка. Такие ротаметры применяются для измерения расхода газа или прозрачных жидкостей при давлении не выше 0,6 МПа, с пределами измерений 2,5-3000 л/ч (для воды) и 0,063-40 м³/ч (для воздуха) и основной погрешностью $\pm 1,5\%$.

Ротаметры с дистанционной передачей показаний (бесшкальные) изготавливают с металлической трубкой из латуни или нержавеющей стали. Они предназначены для измерения расхода при давлении до 6,4 МПа. Для передачи информации о расходе имеется дифференциально-трансформаторный преобразователь, плунжер которого перемещается вместе с поплавком. Выпускаются ротаметры типа РЭ с пределами измерения 0,025-63 м³/ч (для воды) и основной погрешностью $\pm 2,5\%$. В качестве вторичного прибора используется «Диск 250».

Ротаметры обладают рядом достоинств: простота устройства; возможность измерения малых расходов и на трубопроводах малых диаметров; практически равномерная шкала.

Недостатками ротаметров является необходимость установки только на вертикальных участках трубопроводов, для измерения плавноменяющихся расходов, слабозагрязненных.

Измерение расхода по динамическому давлению

Действие скоростных расходомеров основано на зависимости динамического давления от скорости потока измеряемой среды.

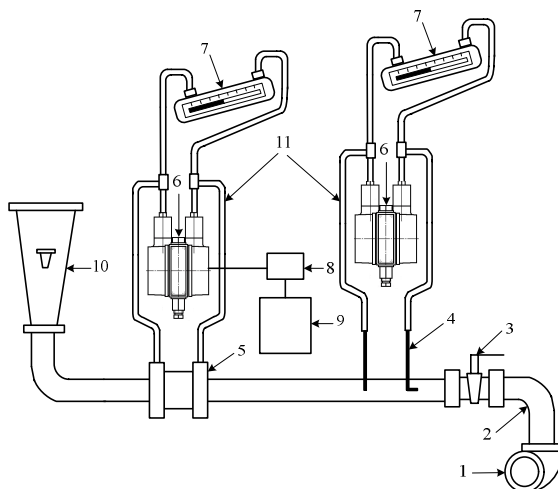
По уравнению Бернулли разность между полным давлением и статическим давлением равна динамическому давлению.

Динамическое давление измеряется скоростными (напорными) трубками (трубка Пито) в комплекте с дифференциальными манометрами.

Напорные трубки, установленные вдоль оси трубопровода, измеряют скорость в центре потока, которая всегда больше средней скорости. Эти зависимости, приводимые в технических справочниках, используются для измерения расхода жидкостей и газов, в трубопроводах больших диаметров и при больших скоростях потоков, а также в трубопроводах некруглого сечения.

Описание установки и методика проведения работы

Схема установки, предназначенной для измерения расхода воздуха различными методами, приведена на рисунке.



Установка для измерения расхода воздуха: 1 – вентилятор; 2 – трубопровод; 3 – запорная задвижка; 4 – напорная трубка; 5 – сужающее устройство (диафрагма); 6 – «МЕТРАН-22 ДД» с жидкокристаллическим индикаторным устройством; 7 – микроманометр; 8 – блок извлечения корня ЭП 2715; 9 – вторичный прибор «Диск-250»; 10 – ротаметр; 11 – импульсные трубки

Расчет расхода воздуха производится по двум методикам:

- по напорной трубке;
- по перепаду давления на сужающем устройстве.

Расход воздуха, м³/ч, по показаниям напорной трубки определяется по следующей формуле:

$$q_0 = 3600 \frac{\pi D^2}{4} K K_T \sqrt{\frac{2 p_0}{\rho}}, \quad (1)$$

где D – диаметр трубопровода, м; K – коэффициент, учитывающий неравномерность скорости по сечению трубы; K_T – коэффициент напорной трубки (для правильно изготовленных трубок близок к единице); p_0 – динамическое давление воздуха, Па; $\rho = 1,205$ – удельный вес воздуха при 20°C и 0,1013 МПа, кг/м³.

Рабочая формула (при $D=0,03$ м) может быть приведена к более упрощенному виду:

$$q_0 = 3,27 K K_T \sqrt{p_0}. \quad (2)$$

Значения D , K , K_T необходимо уточнить у преподавателя, т.к. на установке могут происходить изменения.

Расчет воздуха по перепаду давления на сужающем устройстве производится согласно ГОСТ 8.563.1-97.

Начальные данные:

- $d = 15,984$ мм – диаметр диафрагмы;
- $D = 50$ мм – диаметр ИТ;
- $\rho_B = 1,205 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – плотность воздуха при условиях, соответствующих

данной лабораторной установке;

- $\mu = 1,85 \cdot 10^{-6}$ кг · с / м² – динамическая вязкость воздуха;
- $\varepsilon = 0,99$ – поправочный коэффициент, учитывающий изменение плотности после сужающего устройства.

По приведенной в ГОСТ 8.563.1-97 методике расчета с учетом начальных данных действительное значение массового расхода определится по формуле

$$q_m = 0,5086 \sqrt{\Delta p}. \quad (3)$$

Порядок выполнения работы

1. Изучить принцип действия расходомеров переменного перепада давления, постоянного перепада давления, методом напорной трубки.

- Изучить схему установки.
- Подать напряжение на установку и включить вентилятор.
- С помощью запорной задвижки 3 установить наименьший расход воздуха (смотреть по показаниям прибора «Диск-250»). Записать в таблицу показания датчиков «Метран-22ДД», вторичного прибора «Диск-250», стеклянного ротаметра.
- Повторить работу по п. 5 для 4-5 точек, расположенных равномерно по шкале прибора «Диск-250».
- Выключить вентилятор установки. Рассчитать расход воздуха по напорной трубке (формула (2)), по перепаду давления на сужающем устройстве, (формула (3)).
- Построить градуировочную зависимость $A = f(\Delta p)$ для диафрагмы, отложив по оси абсцисс значения Δp , а по оси ординат значения A , рассчитанные по формуле $q = A\sqrt{\Delta p}$, расход q – по формуле (2).
- Построить градуировочную зависимость для стеклянного ротаметра, отложив по оси абсцисс значения по шкале прибора, а по оси ординат – значения расхода, рассчитанные по формуле (2).
- Результаты наблюдений и расчетов должны быть сведены в таблицу.

Экспериментальные данные и результаты работы

Экспериментальные данные				Расчетные данные		
Давление динамическое по скоростной трубке p_d , Па	Перепад давления на сужающем устройстве Δp , Па	Показания прибора «Диск-250», %	Оцифрованные деления ротаметра, %	Расход воздуха по формуле (2), м ³ /ч	Расход воздуха по формуле (3), м ³ /ч	Значения тарировочного коэффициента A

Контрольные вопросы

- Какие сужающие устройства называются стандартными и при каких условиях возможно их применение для измерения расхода?
- Как измерить расход воздуха по методу переменного перепада давления на сужающем устройстве?
- Как измерить расход воздуха по методу постоянного перепада давления?
- Как измерить расход воздуха по динамическому давлению?
- Какие единицы измерения приняты для расхода в системе СИ?

Лабораторная работа № 2 (стенд № 9) ПОВЕРКА ТЕРМОПАР

Цель работы

1. Ознакомиться с принципом действия и устройством термоэлектрических преобразователей.
2. Установить влияние температуры холодного спая на результат измерения.
3. Изучить способы устранения влияния температуры холодных спаев.

Общие положения

Температура является одним из важнейших параметров технологических процессов. Для измерения температуры существует большое количество методов и технических средств.

Температурой называется статическая величина, характеризующая тепловое состояние тела и пропорциональная средней кинетической энергии молекул газа.

Температура – физическая величина, характеризующая степень нагретости тела (т.е. тепловое состояние тела).

Температурные шкалы – системы сопоставимых числовых значений температуры.

Все предлагаемые температурные шкалы строились (за редким исключением) одинаковым путем: **двум** (по **меньшей мере**) постоянным точкам присваивались определенные числовые значения **и предполагалось**, что видимое **термометрическое** свойство используемого в **термометре** вещества линейно связано с **температурой**.

Пересчет температуры между основными шкалами приведен в табл. 1.

Таблица 1

Пересчет температуры между основными шкалами

В\из	Кельвин	Цельсий	Фаренгейт
Кельвин (К)	= К	= $C + 273,15$	= $(F + 459,67) / 1,8$
Цельсий (°C)	= $K - 273,15$	= C	= $(F - 32) / 1,8$
Фаренгейт (°F)	= $K \cdot 1,8 - 459,67$	= $C \cdot 1,8 + 32$	= F

Пересчеты с одной шкалы на другую создавали большие трудности и приводили к ряду недоразумений. Поэтому в 1933 г. было принято решение о введении Международной температурной шкалы (МТШ).

Реперные точки шкалы МТШ-90 подразделяются на определяющие и вторичные. Определяющие реперные точки – это наиболее точно измеренные относительно тройной точки воды температуры, для которых результаты измерений в различных странах хорошо совпадают между собой. Список определяющих реперных точек шкалы МТШ-90 дан в табл. 2.

Таблица 2

Определяющие реперные точки шкалы МТШ-90

Реперная точка	T, K	t°, C	Погрешность, K
Тройная точка равновесного водорода	13,81	- 259,34	0,01
Точка кипения равновесного водорода при давлении 3330,6 Па	17,042	- 256,108	0,01
Точка кипения равновесного водорода	20,28	- 252,87	0,01
Точка кипения неона	27,102	- 246,048	0,01
Тройная точка кислорода	54,361	- 218,789	0,01
Точка кипения кислорода	90,188	- 182,962	0,01
Тройная точка воды	273,16	0,01	Точно по определению
Точка кипения воды	373,15	100	0,005
Точка затвердевания цинка	692,73	419,58	0,003
Точка затвердевания серебра	1235,08	961,93	0,2
Точка затвердевания золота	1337,58	1064,43	0,2

Термоэлектрический метод измерения температур основан на строгой зависимости термоэлектродвижущей силы (термоЭДС) термоэлектрического термометра (термопары) от температуры.

Термоэлектрические явления – совокупность физических явлений, обусловленных взаимосвязью между тепловыми и электрическими процессами в металлах и полупроводниках.

Если составить цепь из двух разнородных проводников (или полупроводников) А и В и соединить их между собой концами (рис. 1), причем температуру T_1 одного места соединения сделать отличной от температуры T_2 другого, в цепи появится ЭДС, называемая термоЭДС.

Принцип действия термопары основан на возникновении тока в цепи, составленной из двух разнородных проводников при нарушении теплового равновесия места их контактирования.

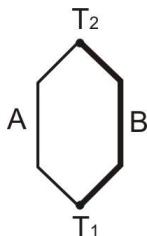


Рис. 1. Термопара

Термоэлектрические явления:

– явление Томсона;

- явление Зеебека;
- эффект Пельтье.

Явление Томсона относится к термоэлектрическим явлениям и заключается в следующем: при пропускании электрического тока через полупроводник (или проводник), вдоль которого существует градиент температуры, в нем, помимо джоулева тепла, в зависимости от направления тока будет выделяться или поглощаться дополнительное количество тепла (теплота Томсона).

Явление Зеебека объясняется тем, что средняя энергия электронов проводимости зависит от природы проводника и по-разному растет с температурой. Если вдоль проводника существует градиент температур, то электроны на горячем конце приобретают более высокие энергии и скорости, чем на холодном; в полупроводниках в дополнение к этому концентрация электронов проводимости растет с температурой. В результате возникает поток электронов от горячего конца к холодному и на холодном конце накапливается отрицательный заряд, а на горячем остаётся нескомпенсированный положительный заряд. Процесс накопления заряда продолжается до тех пор, пока возникшая разность потенциалов не вызовет поток электронов в обратном направлении, равный первичному, благодаря чему установится равновесие. Алгебраическая сумма таких разностей потенциалов в цепи создаёт одну из составляющих термоЭДС, которую называют объёмной.

Эффект Пельтье – процесс выделения или поглощения тепла при прохождении электрического тока через контакт двух разнородных проводников. Величина выделяемого тепла и его знак зависят от вида контактирующих веществ, силы тока и времени прохождения тока, т.е. количество выделяемого тепла пропорционально количеству прошедшего через контакт заряда.

Причина возникновения явления Пельтье заключается в следующем. На контакте двух веществ имеется контактная разность потенциалов, которая создаёт внутреннее контактное поле. Если через контакт идет ток, то это поле будет либо способствовать прохождению тока, либо препятствовать. Если ток идет против контактного поля, то внешний источник должен затратить дополнительную энергию, которая выделяется в контакте, что приведет к его нагреву. Если же ток идет по направлению контактного поля, то он может поддерживаться этим полем, которое и совершает работу по перемещению зарядов. Необходимая для этого энергия отбирается у вещества, что приводит к охлаждению его в месте контакта.

Термопары широко применяются для измерения температур до 2500°C. Для измерения в области низких температур термопары получили меньшее распространение, чем термометры сопротивления.

К числу достоинств термопар можно отнести достаточно высокую точность измерения.

Способы введения поправки на температуру холодных концов термопары

При измерении температуры термоэлектрическим термометром его свободные концы должны иметь постоянную температуру, т.к. колебания последней отражаются на показаниях вторичного прибора. В случае отклонения температуры свободных концов от градуировочного значения, равного 0°C, к показаниям вторичного прибора вводится соответствующая поправка. Поддержание постоянства температуры свободных концов термометра может производиться с помощью специальных термостатов, что значительно облегчает введение этой поправки, величина которой в этом случае остается постоянной.

В настоящее время широко применяется автоматическое введение поправки на температуру свободных концов термометров при помощи специальных компенсирующих устройств, что не требует обеспечения постоянства этой температуры. Эти устройства располагаются отдельно или встраиваются во вторичный прибор.

Способы введения поправки:

1. Применение удлиняющих термоэлектродных проводов.

При прокладке соединительной линии между термоэлектрическим термометром и вторичным прибором свободные концы термометра, находящиеся на зажимах в его головке, будут расположены около нагретых поверхностей, т.е. в зоне переменной температуры. Чтобы отнести эти концы в зону с постоянной и более низкой температурой, применяются так называемые термоэлектродные удлиняющие провода.

Прокладывать термоэлектродные провода на такие большие расстояния не всегда рационально, особенно если термопара выполнена из благородных металлов. Кроме того, термоэлектродные провода обычно имеют значительное удельное электрическое сопротивление, что приводит к увеличению сопротивления цепи термопары. Поэтому для подключения термопар к измерительным приборам применяют удлинительные (так называемые компенсационные) провода, более дешевые, чем термоэлектродные, и имеющие меньшее сопротивление.

Основное требование к компенсационным проводам: они должны развивать в диапазоне температур 0–100°C такую же термоЭДС, как и термоэлектродные.

Компенсационные провода состоят из двух жил, изготовленных из металлов или сплавов, имеющих одинаковые термоэлектрические свойства с термоэлектродами термопары. Посредством удлиняющих проводов производится как бы наращивание термоэлектродов термометра, позволяющее отнести свободные концы от места его установки в более благоприятные условия.

Для термометров из неблагородных металлов удлиняющие провода изготавливаются чаще всего из тех же материалов, что и термоэлектроды, тогда как для термометров из благородных металлов в целях удешевле-

ния удлиняющие провода выполняются из материалов, развивающих в паре между собой примерно ту же термоЭДС, что и термометр, для которого они предназначены.

2. *Применение специального медного сопротивления в автоматических потенциометрах.*

3. *Термостатирование холодных концов*, т.е. $T_2 = \text{const}$, при этом обычно используются термостаты или ванна с тающим льдом.

4. *Применение компенсирующего моста для автоматического введения поправки.* Схема представляет собой неуравновешенный мост с постоянными манганиновыми резисторами R_1, R_2, R_3 и медным резистором R_4 , находящийся в равновесии при 0°C . При отклонении температуры свободных концов от нуля возникающий разбаланс моста U_{ab} компенсирует возможное снижение измеряемой ЭДС.

5. *Введение поправки вручную.*

Требования, предъявляемые к термопарам

1. Однозначная и линейная зависимость между эдс и температурой.
2. Высокое значение развиваемой термоЭДС.
3. Жаростойкость и механическая прочность.
4. Химическая инертность (материал термопар не должен вступать в контакт с окружающей средой).
5. Термоэлектрическая однородность материала проводника по всей длине, позволяет восстанавливать рабочий спай без переградуировки.
6. Стабильность градуировочной характеристики (т.е. с течением времени должна оставаться постоянной)
7. Технологичность (воспроизводимость) материала.

Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют стандартные термопары, основные из которых приведены в табл. 3.

Таблица 3

Стандартные термопары

Тип термопары	Обозначение	Химический состав термоэлектродов		Пределы измеряемых $t, ^\circ\text{C}$		
		положительный	отрицательный	нижний	верхний	кратковременно
Медьконстантановая	ТМК (Т)	Медь	Константант	-200	350	400
Хромель-копелевая	ТХК (L)	Хромель	Копель	-200	600	800
Хромель-алюмелевая	ТХА (К)	Хромель	Алюмель	-200	1200	1300
Платинородий-платиновая	ТПП(S)	Платинородий	Платина	0	1300	1600
Платинородий-платинордиевая	ТПР(В)	Платинородий	Платинородий	600	1700	-
Вольфрамрений-вольфрамрениевая	ТВР(А)	Вольфрамрений	Вольфрамрений	0	2200	2500

При введении в цепь термопары третьего проводника, если концы последнего имеют одинаковые температуры, термоЭДС термопары не изменится (то же относится и к нескольким проводникам). Поэтому включение в цепь термопары соединительных проводов, измерительных приборов и подгоночных сопротивлений не отражается на точности измерения.

Описание установки

Установка для поверки термопар (рис. 2) имеет следующие приборы:

- а) образцовая платинородий-платиновая термопара типа ПП(S), ТП1, показания которой регистрируются вторичным прибором «Диск-250»;
- б) поверяемая хромель-алюмелевая термопара типа ХА(К), ТП2, показания которой регистрируются вторичным прибором «Диск-250»;
- в) хромель-копелевая термопара ХК(Е) для измерения температуры свободных концов поверяемой термопары ТП3, показания которой ХК регистрируются вторичным прибором-милливольтметром типа Ш-4540/1;
- г) для нагрева рабочих концов поверяемой термопары имеется электропечь сопротивления П1;
- д) электропечь сопротивления П2 производит нагрев свободных концов поверяемой термопары ХА и рабочего спая термопары ХК;
- е) универсальный переключатель УП.

При включении УП в положение П1 включается нагревательная печь для подогрева рабочего спая поверяемой термопары. При переключении УП в положение П2 включается печь П2 для нагрева холодных концов поверяемой термопары. Печь П1 при этом остается включенной через позиционный регулятор, встроенный в «Диск-250».

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с инструкцией по проведению работы и установкой.
2. Подготовить табл. 4 для проведения эксперимента.
3. Включить вторичные приборы «Диск-250» и Ш4540/1.
4. Включить универсальный переключатель УП в режим нагрева рабочего спая П1.
5. С интервалом в 15 с фиксировать показания образцовой и поверяемой термопары до тех пор, пока температура в печи П1 не достигнет установившегося значения (задается преподавателем). Записывать показания в соответствующие графы табл. 4.
6. После достижения установившегося значения в печи П1 включить УП в положение П2, при этом включается печь П2 для нагрева холодных спаев поверяемой термопары.
7. С интервалом 15 с фиксировать показания всех трех термопар ТП1, ТП2, ТП3 до тех пор, пока температура в печи не достигнет 120°C.
8. Отключить установку. УП установить в положение «Выкл».

Таблица 4

Экспериментальные данные и оценка погрешности

№ п/п	Показания термопар				Погрешность измерения	
	Образ- цовая ТП1, °C	Горячий спай ТП2, °C	Холодный спай ТП3, °C	Показания поверя- емой термопары с учетом поправки ТП4, °C	Абсолютная, °C	Относи- тельная, %

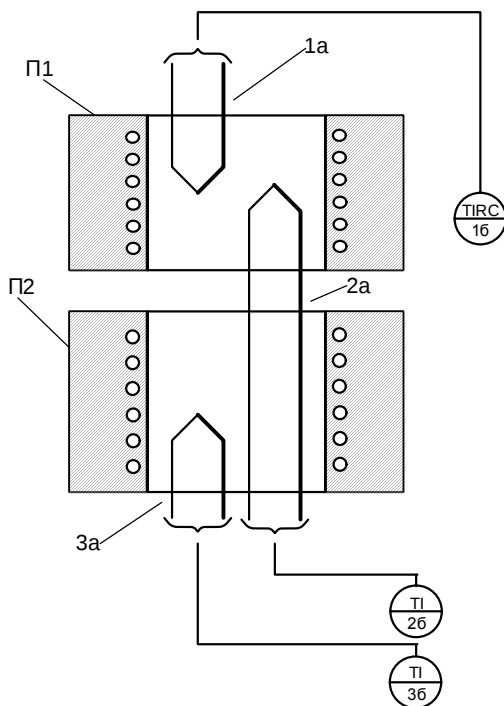


Рис. 2. Функциональная схема для поверки термопар:

1а – образцовая термопара ПП(S); 1б – вторичный прибор «Диск-250»;

2а – поверяемая термопара ХА(К); 2б – вторичный прибор «Диск-250»; 3а – термопара ХК(Л);

3б – вторичный прибор (милливольтметр Ш4540/1)

Обработка результатов

По результатам измерений необходимо заполнить остальные графы табл. 4. Расчетное значение определяется на основании показаний поверяемой термопары ТП2 и температуры ее свободных концов (показания

ТПЗ). График зависимости термоЭДС от температуры соответствует условию, когда температура свободных концов термопары равна нулю. Если же температура свободных концов отличается от градуировочной, то необходимо вводить поправку (как в нашем случае).

Эта поправка определяется по формуле

$$E_{ab}(T_1, T_0) = E_{ab}(T_1, T_2) \pm E_{ab}(T_2, T_0),$$

где знак плюс относится к случаю, когда $T_2 > T_0$, а минус – к случаю, когда $T_2 < T_0$.

Таким образом, расчетное значение температуры поверяемой термопары складывается из показаний поверяемой термопары плюс значение температуры по градуировочной зависимости хромель-алюмелевой термопары, найденной по показаниям термопары холодного спая. Например, «Диск 250» показывает 380°C , при этом милливольтметр показывает 120°C . Пользуясь градуировочной табл. 5 для ХА термопары, находим, что при 120°C ХА термопара дает $4,919\text{ мВ}$, при 380°C – $15,552$. Сумма термоЭДС равна $4,919 + 15,552 = 20,471\text{ мВ}$. И по ней определяем истинную температуру (пользуясь той же градуировочной таблицей), она равна 496°C . Результаты расчетов заносим в табл. 4.

Далее необходимо построить графики изменения показаний приборов во времени, а также показаний поверяемой термопары с учетом поправки на температуру свободных концов. Примерные графики приведены на рис. 3.

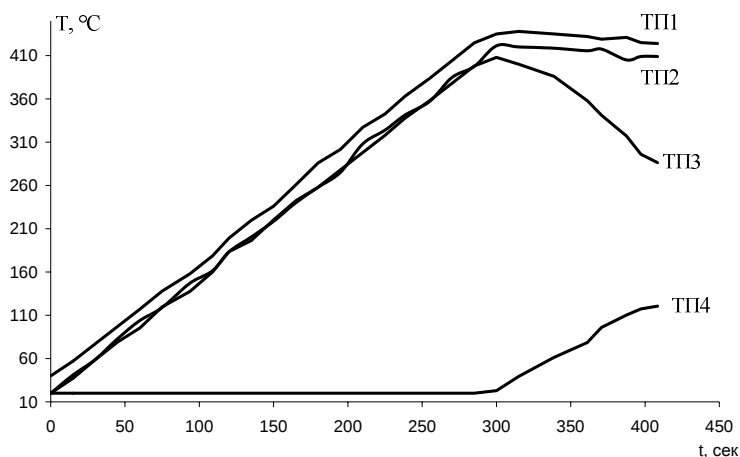


Рис. 3. График изменения температуры

Таблица 5

Номинальная статическая характеристика преобразования термопары ХА(К)

Температура рабочего конца, °С	ТермоЭДС, мВ при температуре °С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,000	0,039	0,079	0,119	0,158	0,119	0,238	0,277	0,317	0,357
10	0,397	0,437	0,477	0,517	0,557	0,597	0,637	0,677	0,718	0,758
20	0,798	0,838	0,879	0,919	0,960	1,000	1,041	1,081	1,122	1,162
30	1,203	1,244	1,285	1,325	1,366	1,407	1,448	1,489	1,529	1,570
40	1,611	1,652	1,683	1,734	1,776	1,817	1,858	1,899	1,940	1,981
50	2,022	2,064	2,105	2,146	2,188	2,229	2,270	2,312	2,353	2,394
60	2,436	2,477	2,159	2,560	2,601	2,643	2,684	2,726	2,767	2,809
70	2,850	2,892	2,933	2,975	3,016	3,058	3,100	3,151	3,183	3,224
80	3,266	3,307	3,349	3,390	3,432	3,478	3,515	3,556	3,598	3,639
90	3,681	3,722	3,764	3,805	3,847	3,888	3,930	3,971	4,012	4,054
100	4,095	4,137	4,178	4,219	4,261	4,302	4,343	4,384	4,426	4,467
110	4,508	4,549	4,590	4,632	4,673	4,714	4,755	4,796	4,837	4,878
120	4,919	4,960	5,001	5,042	5,083	5,124	5,164	5,205	5,246	5,287
130	5,327	5,368	5,409	5,450	5,490	5,531	5,571	5,612	5,652	5,693
140	5,733	5,774	5,814	5,855	5,895	5,936	5,973	6,016	6,057	6,097
150	6,137	6,177	6,218	6,258	6,298	6,338	6,378	6,419	6,459	6,499
160	6,539	6,579	6,619	6,659	6,699	6,739	6,779	6,819	6,859	6,899
170	6,939	6,979	7,019	7,059	7,099	7,139	7,179	7,219	7,259	7,299
180	7,338	7,378	7,418	7,458	7,498	7,538	7,578	7,618	7,658	7,697
190	7,737	7,777	7,817	7,857	7,897	7,937	7,977	8,017	8,057	8,097
200	8,137	8,177	8,217	8,257	8,297	8,337	8,377	8,417	8,457	8,497
210	8,537	8,577	8,617	8,657	8,697	8,737	8,777	8,817	8,857	8,898

220	8,98	8,978	9,018	9,058	9,099	9,139	9,179	9,220	9,260	9,300
230	9,341	9,381	9,421	9,462	9,502	9,543	9,583	9,624	9,664	9,705
240	9,745	9,786	9,856	9,867	9,907	9,948	9,989	10,029	10,070	10,111
250	10,151	10,192	10,233	10,274	10,315	10,355	10,396	10,437	10,478	10,519
260	10,560	10,600	10,641	10,682	10,723	10,764	10,805	10,846	10,887	10,928
270	10,969	11,010	11,051	11,051	11,093	11,134	11,175	11,216	11,257	11,339
280	11,381	11,422	11,463	11,463	11,504	11,546	11,578	11,628	11,669	11,752
290	11,793	11,835	11,876	11,876	11,911	11,959	12,000	12,042	12,083	12,166
300	12,207	12,249	12,290	12,332	12,373	12,415	12,456	12,498	12,539	12,581
310	12,623	12,664	12,706	12,747	12,789	12,831	12,872	12,914	12,955	12,997
320	13,039	13,080	13,122	13,164	13,205	13,247	13,289	13,331	13,372	13,414
330	13,456	13,497	13,539	13,581	13,623	13,665	13,705	16,748	13,790	13,832
340	13,874	13,915	13,957	13,999	14,041	14,083	14,125	14,167	14,208	14,250
350	14,292	14,334	14,376	14,418	14,460	14,502	14,544	14,586	14,628	14,670
360	14,712	14,754	14,796	14,838	14,880	14,992	14,964	15,006	15,048	15,090
370	15,132	15,174	15,216	15,258	15,300	15,342	15,384	15,426	15,468	15,510
380	15,552	15,594	15,636	16,679	15,721	15,763	15,805	15,847	15,889	15,931
390	15,974	16,016	16,058	16,100	16,142	16,184	16,227	16,269	16,311	16,353
400	16,395	16,438	16,480	16,522	16,564	16,607	16,649	16,691	16,733	16,776
410	16,818	16,860	16,902	16,945	16,987	17,029	17,072	17,114	17,165	17,199
420	17,241	17,283	17,326	17,368	17,410	17,453	17,495	17,537	17,580	17,662
430	17,664	17,707	17,749	17,792	17,834	17,876	17,919	17,961	18,004	18,046
440	18,088	18,131	18,173	18,126	18,258	18,301	18,343	18,385	18,428	18,470
450	18,513	18,555	18,598	18,640	18,623	18,325	18,768	18,810	18,853	18,895

Содержание отчета

Отчет составляется каждым студентом и включает в себя:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Краткое описание устройства и принципа действия термоэлектрических преобразователей. Способы введения поправки.
4. Результаты работы в виде таблицы и графиков.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. На каких явлениях основано действие термоэлектрических термометров?
2. Почему при подсоединении термопары к измерительному прибору пользуются компенсационными проводами?
3. Как вводится поправка на температуру свободных концов термопары в автоматических и переносных потенциометрах, милливольтметрах?
4. Для каких термопар не требуется компенсационных проводов?
5. Пределы измерений стандартных термоэлектрических термометров.

Лабораторная работа №3 (стенд № 10) ПОВЕРКА ВТОРИЧНОГО ПРИБОРА «ДИСК-250», МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЛОГОМЕТРА Ш-4540/1 И ПРИБОРА А-566

Цель работы

1. Изучить цель и порядок проведения поверки контрольно-измерительных приборов.
2. Произвести поверку вторичного прибора «Диск-250», логометра и прибора А-566 с заполнением протоколов поверки.
3. Освоить методику определения метрологических характеристик приборов: чувствительности, порога чувствительности, вариации, времени пробега стрелкой, указателем шкалы прибора.

Общие положения

Совокупность действий, производимых с целью оценки погрешностей приборов, называется **поверкой** (не путать с термином «проверка» – проверять можно любые виды промышленной продукции, а поверяют только измерительные приборы и различные меры).

Под термином «поверка» понимается весь комплекс операций, имеющих целью установить работоспособность прибора и достоверность его показаний: внешний осмотр, при котором выявляются повреждения, влияющие на работу; проверка электрического сопротивления изоляции; соответствие времени прохождения указателем всей шкалы; определение основной погрешности и вариации показаний; проверка наличия диаграммной бумаги, погрешности записи, скорости движения бумаги и т.д. На основании внешнего осмотра и результатов испытаний устанавливают соответствие приборов техническим требованиям.

Для выполнения поверочных операций используют устройства более высокого класса точности, чемверяемые (погрешность образцового прибора должна быть в три или четыре раза меньше допустимой погрешностиверяемого прибора).

Измерение температуры термометрами сопротивления

Принцип действия термометров сопротивления основан на свойстве вещества изменять своё электрическое сопротивление с изменением температуры.

Термометр сопротивления (ТС) погружают в среду, температуру которой необходимо определить. Зная зависимость сопротивления термометра от температуры, можно по изменению сопротивления судить о температуре среды, в которой он находится.

Раньше считали, что наиболее подходящим материалом для изготовления термометров сопротивления являются только чистые металлы, однако исследования показали, что ряд полупроводников также могут быть использованы в качестве материала для изготовления ТС.

ТС из чистых металлов получили наибольшее распространение, изготавливают их обычно в виде обмотки из тонкой проволоки на специальном каркасе из изоляционного материала. Эту обмотку принято называть чувствительным элементом ТС. У металлических ТС сопротивление с увеличением температуры увеличивается.

Достоинства металлических ТС: высокая степень точности измерения температуры.

Полупроводниковые ТС могут быть использованы для измерения температур от 1,3 до 100 К. В технологических измерениях применяются реже по сравнению с металлическими, т.к. требуют индивидуальной градуировки. У полупроводниковых ТС сопротивление с увеличением температуры – уменьшается.

Требования, предъявляемые к чувствительным элементам ТС:

1. Высокое удельное электрическое сопротивление, т.е. чем больше удельное сопротивление, тем проще увидеть изменение температуры.
2. Высокий температурный коэффициент.

Изменение сопротивления материала при изменении температуры характеризуется температурным коэффициентом сопротивления, который вычисляется по формуле

$$\alpha = (R_t - R_0) / (R_0 \cdot T), \quad (1)$$

где T – температура материала, °C; R_0 и R_t – электросопротивление соответственно при 0°C и температуре T , Ом.

3. Воспроизводимость характеристики и её стабильность.
4. Химическая инертность в измеряемой среде.
5. Воспроизводимость материалов.

6. Постоянство физических свойств во времени.

Обязательным требованием является третье, все остальные желательны.

Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют следующие материалы: платина, медь, никель.

Точность измерений температуры зависит не только от типа ТС, а также от точности прибора, которым измеряют сопротивление.

В комплекте с ТС работают следующие вторичные приборы:

1. Мосты уравновешенные и неуравновешенные, а также автоматические.
2. Логометры.
3. Приборы «Диск-250» и А-566.
4. Интеллектуальные преобразователи.

Основные характеристики термометров сопротивления приведены в таблице.

Основные характеристики термометров сопротивления

Тип термометра	Градуйровка	Пределы измерений, °C		Примечание	Номинальное сопротивление, Ом при 0°C
		нижний	верхний		
ТСП	1П	-50	+1100	Платина	1
ТСП	5П	-100	+1100	Платина	5
ТСП	10П	-200	+1000	Платина	10
ТСП	50П	-260	+1000	Платина	50
ТСП	100П	-260	+500	Платина	100
ТСП	500П	-260	+300	Медь	500
ТСМ	10М	-50	+200	Медь	10
ТСМ	50М	-50	+200	Медь	50
ТСМ	100М	-200	+200	Медь	100

Описание установки

Установка включает в себя образцовый прибор одинарно-двойной мост постоянного тока типа Р329, применяемый в качестве меры сопротивления 1, логометр 2, вторичный прибор «Диск-250» 3, прибор А-566 4 (см. рисунок).

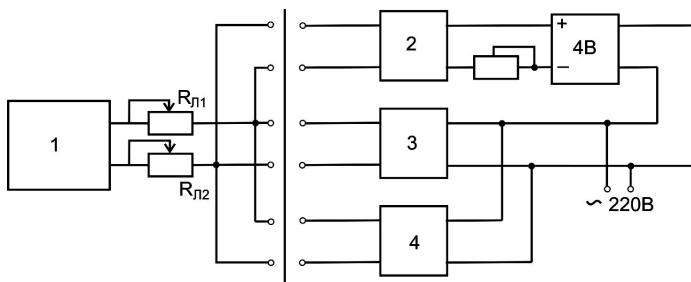


Схема лабораторной установки

Питание установки 220 В должно быть включено за 5–10 мин до начала поверки.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методикой поверки, схемой экспериментальной установки.
2. Подготовить протоколы поверки. Протоколы поверки выполняются на отдельной странице. Для каждого прибора должен быть отдельный протокол.
3. Записать все данные о приборах в соответствующие протоколы.
4. Получив разрешение, включить установку. Прогреть 5–10 мин.
5. Изменяя сопротивление моста R329, подойти к каждой оцифрованной отметке соответствующего поверяемого прибора («Диск-250», логометр, А-542) с левой стороны и записать показания моста в колонку «Прямой ход», а затем с правой стороны, записывая данные в колонку «Обратный ход».
Примечание. Прибор А-542 является цифровым, поэтому для него достаточно поверить показания при прямом ходе измерения).
6. Обработать результаты.

Обработка результатов

Протокол для каждого прибора должен быть выполнен на отдельной странице.

ПРОТОКОЛ

Дата _____ поверки _____ типа _____
 № _____ градуировки _____ с пределами измерений от _____ до _____
 класса точности _____ представленного _____
 Поверка производилась по образцовому магазину сопротивлений
 № _____ класса точности _____
 Результаты внешнего осмотра _____

Результаты поверки

Показания поверяемого прибора, °С	Сопротивление по градуировочной таблице R, Ом	Показания образцового прибора		Приведённые погрешности, %		
		Прямой ход R ₁ , Ом	Обратный ход R ₂ , Ом	Прямой ход	Обратный ход	Вариация
1	2	3	4	5	6	7

При проведении эксперимента результаты заносить в графы 1, 3, 4 таблицы экспериментальных данных.

Для заполнения графы 2 использовать данные одной из таблиц, приведённых на лицевой панели лабораторного стенда.

Затем необходимо рассчитать приведённые погрешности для всех числовых отметок шкалы (графы 5–7).

Вариацию выходного сигнала рассчитывают по формуле

$$\nu = |R_1 - R_2|. \quad (2)$$

Приведённую вариацию выходного сигнала определить по формуле

$$V = \frac{\nu}{R_K - R_H} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где R_H и R_K – начальное и конечное градуировочное сопротивление (по графе 2) соответствующего поверяемого прибора.

За основную погрешность прибора принимают наибольшие по абсолютному значению величины приведённой погрешности. Основную погрешность необходимо сравнить с классом точности прибора и сделать выводы, в которых необходимо классифицировать погрешность и пригодность прибора к измерениям.

Содержание отчета

Отчёт должен быть оформлен в соответствии с требованиями стандарта предприятия (МГТУ).

Отчёт составляется каждым студентом и включает:

- наименование работы;
- цель и основные задачи;
- теоретическое введение;
- описание установки, схему установки;
- результаты эксперимента, оформленные в виде протоколов;
- выводы по результатам поверки, в выводах необходимо классифицировать погрешность прибора (систематическая, случайная).

Защита результатов лабораторной работы осуществляется индивидуально или подгруппой перед выполнением следующей работы.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют методы измерения температуры?
2. На чём основано действие термометров сопротивления?
3. Какие материалы используют для изготовления термометров сопротивления?
4. Какие приборы применяют в комплекте с термометрами сопротивления?

5. Какие виды погрешностей вы знаете?
6. Для чего выполняют поверку прибора и что понимают под классом точности прибора?
7. Приведите основные виды проверок.

Лабораторная работа №4 (стенд № 12)
ИСПЫТАНИЕ И ПОВЕРКА КОМПЕНСАЦИОННОГО
АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИОМЕТРА КСП-3,
МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МИЛЛИВОЛЬТМЕТРА Ш-4540
И ВТОРИЧНОГО ПРИБОРА «ДИСК-250»

Цель работы

1. Изучить цель и порядок проведения поверки контрольно-измерительных приборов.
2. Изучить конструкцию КИСС-03. Освоить методику поверки с помощью КИСС-03.
3. Произвести поверку потенциометра, милливольтметра и прибора «Диск 250» с заполнением протоколов поверки.
4. Освоить методику оценки погрешностей.

Общие положения

Методика проведения поверки автоматического потенциометра типа КСП-3, милливольтметра типа Ш-4540 и потенциометра типа «Диск-250» с помощью КИСС-03

При проведении поверки соединения образцового прибора с поверяемым осуществляют медными или термоэлектрическими проводами с учетом требуемого внешнего сопротивления.

После прогрева потенциометра или милливольтметра при любом значении задаваемого напряжения в диапазоне измерения необходимо оценить реакцию приборов на изменение входного сигнала. Убедившись в том, что приборы правильно реагируют на изменение входного сигнала, необходимо приступить к поверке.

Для проведения поверки автоматического потенциометра типа КСП-3, милливольтметра типа Ш-4540 и прибора «Диск-250» в промышленных условиях необходимо:

- «закоротить» прибор;
- сравнить показания прибора с показаниями образцового стеклянного термометра, установленного рядом с поверяемым прибором.

При этом все «закороченные» приборы должны показывать одинаковую температуру, равную температуре окружающей среды того помещения, где находятся приборы. Эту же температуру должен показывать образцовый стеклянный термометр.

Поверка указанных приборов в данной лабораторной работе осуществляется с помощью калибратора-измерителя стандартных сигналов КИСС-03.

При этом поверяемые приборы не «закорачивают», но на приборе КИСС-03 первым значением температуры вводят «ноль», что равносильно операции «закорачивания».

После введения «нуля» на приборе КИСС-03 стрелки поверяемых приборов должны установиться на делении значения температуры помещения, где находятся приборы (температура холодных концов подсоединенных к поверяемым приборам термопар).

При проведении поверки автоматического потенциометра типа КСП-3, милливольтметра типа Ш-4540 и потенциометра типа «Диск-250», которые преобразуют сигналы с термоэлектрических преобразователей (термопар), необходимо учитывать температуру холодных концов подключенной термопары (температуру места присоединения компенсационных проводов к прибору).

Если градуировочные таблицы поверяемых приборов составлены для условий, когда температура холодных концов подключенной термопары равна 0°C , то значения термоЭДС находят путем вычитания термоЭДС, соответствующей температуре холодных концов. Например, для температуры 150°C , которую измеряет термопара градуировки ХК значение термоЭДС при температуре свободных концов 0°C из таблицы равно 10,591 мВ. Для температуры 30°C значение термоЭДС равно 1,947 мВ. Разница $10,591 - 1,947 = 8,644$ мВ устанавливается на образцовом потенциометре.

После введения «нуля» на приборе КИСС-03 стрелка потенциометра типа «Диск-250» не установится на «ноль», а покажет значение температуры окружающей среды $t_{ок}$. Это значение записывается в протокол поверки. В дальнейшем эту поправку на температуру окружающей среды необходимо вычитать из стандартных сигналов прибора КИСС-03.

Пример

$t_{ок} = 28^{\circ}\text{C}$; необходимо поверить прибор на отметках « 0°C », « 20°C », « 30°C », ..., « 100°C ».

Для этого на приборе КИСС-03 нужно выставить следующие температуры $t_{нов}$:

- при поверке отметки « 0°C » $t_{нов} = 0 - 28 = -28^{\circ}\text{C}$;
- при поверке отметки « 20°C » $t_{нов} = 20 - 28 = -8^{\circ}\text{C}$;
- при поверке отметки « 30°C » $t_{нов} = 30 - 28 = 2^{\circ}\text{C}$;
- и т.д.

При этом необходимо помнить, что прибор КИСС-03 может генерировать только положительное напряжение. Для получения отрицательного напряжения нужно изменить полярность концов.

Однако поправка на температуру окружающей среды не учитывается для приборов, имеющих встроенный манганиновый резистор, который тумблером или переключателем переключается вместо компенсационной

медной катушки. Такой манганиновый резистор имеется в автоматическом потенциометре КСП-3.

При отсутствии встроенной манганиновой катушки ее рекомендуется изготовить со следующими номинальными значениями сопротивлений:

- $(9,02 \pm 0,005)$ Ом – для приборов градуировки ХК;
- $(0,78 \pm 0,001)$ Ом – для приборов градуировки ПП;
- $(5,42 \pm 0,005)$ Ом – для приборов градуировки ХА.

Как было сказано ранее, автоматический потенциометр типа КСП-3, в отличие от потенциометра типа «Диск-250», обладает определенными конструктивными особенностями: в схеме КСП-3 имеется градуировочное манганиновое сопротивление, имитирующее нахождение прибора при нулевом значении температуры. В это состояние прибор приходит при установке внутренней перемычки в положение «градуировка». Поэтому потенциометр типа КСП-3 поверяется стандартными сигналами КИСС-03 по шкале прибора. При этом минусовую характеристику ЭДС термопары извлекают, вводя клавишей КИСС-03 «+/-».

Проведение поверки приборов с помощью калибратора-измерителя стандартных сигналов КИСС-03

Калибратор-измеритель стандартных сигналов КИСС-03 предназначен для проверки, настройки и поверки показывающих и регистрирующих приборов, различных измерительных комплексов, а также может применяться при выполнении пусконаладочных работ в различных отраслях промышленности.

Основными являются следующие функции:

- измерение значений постоянного тока или напряжения;
- измерение сопротивления;
- измерение температуры с помощью термопреобразователей сопротивлений (ТС) с номинальной статической характеристикой преобразования 50М, 100М, 50П, 100П (в дальнейшем ТСМ50, ТСМ100, ТСП50, ТСП100 соответственно), Pt100, подключенных по 4-проводной линии связи;
- измерение температуры с помощью термопар (ТП) типов S, K, L, B, A-1, N, J (ГОСТ Р 8.585-2001) с компенсацией температуры «холодных» спаев;
- генерация постоянного тока или напряжения с возможностью плавной регулировки и задания от одного до шести значений генерируемого параметра; вывод значений осуществляется циклически с помощью нажатия одной клавиши; имеется возможность изменять направление вывода значений;
- генерация ЭДС ТП типов S, K, L, B, A-1, N, J с возможностью компенсации ЭДС «холодных» спаев и плавной регулировки;

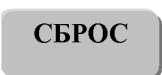
- генерация и измерение постоянного тока и/или напряжения одновременно с возможностью установки одного значения генерируемого параметра.

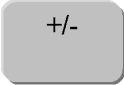
Внешний вид прибора приведен на рис. 1.

Назначение функциональных клавиш приведено в табл. 1.

Таблица 1

Назначение функциональных клавиш КИСС-03

Функциональная клавиша	Назначение
	Применяется во время диалога для подтверждения выбора текущего режима работы, типа термодатчика, а также в режиме генерации для ввода числовых значений и плавной регулировки выходного параметра
	Применяется для продолжения работы в случае возникновения различных ошибочных ситуаций, для отмены ошибочно введенного числового значения, а также для возврата к предыдущему режиму работы прибора
	Применяется во время диалога для выбора типа ТП или ТС, а также в режиме генерации тока или напряжения для выбора следующего числового значения генерируемого сигнала (если их количество более одного)
	Применяется для перехода в следующий режим работы. Данный переход может быть осуществлен на любом этапе работы прибора
	Клавиша выбора режима измерения и/или генерации тока
	Клавиша выбора режима измерения и/или генерации напряжения. В режимах, связанных с генерацией напряжения, клавиша выключает автоподстройку выходного напряжения. Данная возможность может быть использована при работе с многоканальными приборами, имеющими на входе при переключении каналов высокий уровень помех или шумов
	Клавиша выбора режима измерения сопротивления
	Клавиша выбора режима измерения температуры с помощью ТС. В режиме генерации сигнала данная клавиша активизирует сервисный режим электронной таблицы: зависимость значения ТС от температуры по ГОСТ 6651-94

Функциональная клавиша	Назначение
	Клавиша выбора режима измерения температуры с помощью ТП. В режиме генерации данная клавиша активизирует режим генерации ЭДС ТП в зависимости от температуры с/без компенсации температуры «холодных» спаев
	Клавиша ввода знака значений температуры. В режиме генерации сигнала позволяет изменить направление выбора следующего числового значения (если их количество более одного)
	Клавиша включения / выключения прибора. При включении прибора время удержания данной клавиши в нажатом состоянии должно составлять не более 1 с

Все остальные клавиши предназначены для ввода цифровой информации.

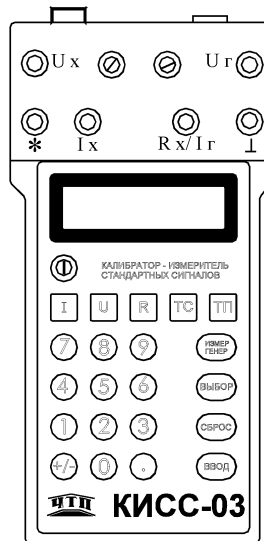


Рис. 1. Внешний вид прибора

Существуют три основных режима работы прибора:

- измерение;
- генерация;
- измерение и генерация одновременно.

Циклический переход из одного режима в другой осуществляется с помощью клавиши **ИЗМЕР** **ГЕНЕР** по схеме, приведенной на рис. 2.

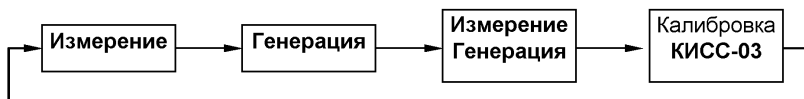


Рис. 2. Схема циклического переключения режимов работы КИСС-03

Во всех режимах работы выбор предела измерения/ генерации осуществляется автоматически.

Порядок проведения генерации ТЭДС термопар для осуществления поверки приборов приведен в табл. 2.

Таблица 2

Порядок проведения генерации ТЭДС термопар
для осуществления поверки приборов

Порядок действий	Результат
1. Последовательно нажимая клавишу «Измерение/Генерация», перейти в режим «Генерация»	Генерация I U TC TP
2. Клавишей «TP» установить данный режим работы. Последовательно нажимая клавишу «Выбор», установить нужный тип TP. Нажать клавишу «Ввод»	Генерация t°-ЭДС термопара - S
3. Ввести значение температуры TP. Нажать клавишу «Ввод». Примечание. При вводе отрицательного значения температуры на ЖКИ будет отображаться соответствующее отрицательное значение напряжения TP. Прибор может генерировать только положительное напряжение. Для получения отрицательного напряжения измените полярность концов	Ввод числа TP К +1000.5 °C
4. В верхней строке ЖКИ отображается температура TP, направление плавного изменения значения температуры и тип TP. В нижней строке – значение генерируемой ЭДС. Примечание: Плавное изменение температуры производится клавишей «Ввод». Продолжительное (более 1 с) нажатие клавиши приводит к ускоренному изменению значения. При необходимости вхождения в микросовые значения ЭДС нужно использовать клавишу «+/-».	+1000.5 °C ↑ TP К 16.133 мВ

Описание установки

Установка состоит из калибратора измерительных стандартных сигналов КИСС-03, автоматического потенциометра типа КСП-3, милливольтметра типа Ш-4540 и прибора «Диск-250». С помощью переключателя можно подсоединить любой из приборов к КИСС-03.

Схема лабораторной установки приведена на рис. 2.

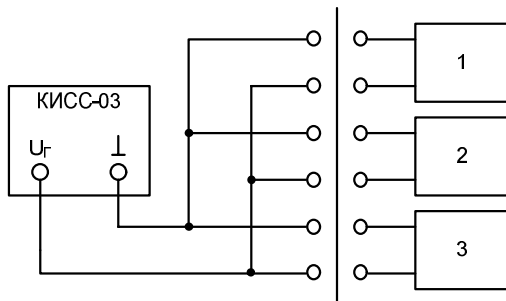


Рис. 2. Схема лабораторной установки: 1 – автоматический потенциометр типа КСП-3; 2 – потенциометр типа «Диск-250»; 3 – милливольтметр типа Ш-4540

Необходимо помнить, что в потенциометрах КСП-3 компенсация температуры свободных концов осуществляется с помощью медного резистора, встроенного в схему компенсации.

Для прибора «Диск-250» необходимо знать температуру в лаборатории и составить градуировочную таблицу с учетом этой температуры.

Порядок выполнения работы

1. Познакомиться с методикой поверки, схемой экспериментальной установки.
2. Подготовить протоколы поверки.
3. Включить прибор КИСС-03 в сеть. Подготовить прибор КИСС-03 к работе. Для этого выполнить следующее:
 - подключить КИСС-03 к потенциометру типа «Диск-250»;
 - с режима «Измерение» перейти в режим «Генерация» нажатием кнопки «Генерация»;
 - выбрать ТП (термопара), выбрать градуировку термопары (L), с помощью кнопки «Выбор». После выбора нужной термопары вводим прибор в работу, с помощью кнопки «Ввод»;
 - ввести «ноль» и проверить установку стрелки потенциометра типа «Диск-250» на деление, соответствующее температуре окружающей среды;
 - записать температуру окружающей среды в протокол поверки с целью последующего ее вычитания из стандартных сигналов КИСС-03;

- последовательно задавать поверяемую температуру в приборе КИСС-03 и записывать показания КИСС-03 (в мВ) и соответствующие показания поверяемого прибора в протоколы поверки в соответствующие графы (протокол поверки составляется для каждого прибора на отдельной странице);
 - каждый раз при вводе нового значения поверяемой температуры сначала нажимаем кнопку «Сброс», затем с клавиатуры прибора КИСС-03 вводим температуру и нажимаем кнопку «Ввод».
4. Выполнить п. 3 для автоматического потенциометра типа КСП-3 и милливольтметра.
 5. Так как характеристика термопары для отрицательных температур отличается от положительных, то при введении отрицательных значений сначала нажимаем кнопку «±», затем набираем число.
 6. Рассчитать приведенную погрешность для каждого прибора и определить его пригодность к работе.

Обработка результатов

Протокол для каждого прибора должен быть выполнен на отдельной странице.

ПРОТОКОЛ

Дата _____ поверки _____ типа _____
 № _____ градуировки _____ с пределами измерений от _____ до _____
 класса точности _____ представленного _____
 Поверка производилась по калибратору-измерителю стандартных сигналов КИСС-03
 № _____ класса точности _____
 Результаты внешнего осмотра _____

Результаты поверки

Поверяемая точка, °С	Стандартный сигнал КИСС-03, мВ	Показания поверяемого прибора, °С	Приведённая погрешность, %
1	2	3	4

Необходимо рассчитать приведённые погрешности для всех числовых отметок шкалы (графа 4).

За основную погрешность прибора принимают наибольшие по абсолютному значению величины приведённой погрешности. Основную погрешность необходимо сравнить с классом точности прибора и сделать выводы, в которых необходимо классифицировать погрешность и пригодность прибора к измерениям.

Содержание отчета

Отчёт должен быть оформлен в соответствии с требованиями стандарта предприятия (МГТУ).

Отчёт составляется каждым студентом и включает:

- наименование работы;
- цель и основные задачи;
- теоретическое введение;
- описание установки;
- результаты эксперимента, оформленные в виде протоколов;
- выводы по результатам поверки, в выводах необходимо классифицировать погрешность прибора (систематическая, случайная).

Защита результатов лабораторной работы осуществляется индивидуально или подгруппой перед выполнением следующей работы.

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности методики проведения поверки автоматического потенциометра типа КСП-3 и вторичного прибора «Диск-250»?
2. Как осуществляется компенсация температуры свободных концов термоэлектрического преобразователя в автоматическом потенциометре?
3. Какие виды погрешностей вы знаете?
4. Для чего выполняют поверку прибора и что понимают под классом точности прибора?
5. Какие существуют виды поверок?

Лабораторная работа № 5 (стенд № 13) ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ И РАБОТЫ ПИРОМЕТРА КОМПЛЕКСА АПИР-С

Цель работы

1. Изучить бесконтактные методы измерения температуры.
2. Изучить принцип действия и конструкцию промышленного пирометра комплекса АПИР-С.
3. Ознакомиться с методикой подготовки комплекса для измерения температуры и выполнить измерение температуры объекта.

Общие положения

О температуре нагретого тела можно судить на основании измерения параметров его теплового излучения, представляющего собой электромагнитные волны различной длины. Чем выше температура тела, тем больше энергии оно излучает.

Термометры, действие которых основано на измерении теплового излучения, называют *пирометрами*. Они позволяют контролировать тем-

пературу от 100 до 6000°C и выше. Одним из главных достоинств данных устройств является отсутствие влияния измерителя на температурное поле нагретого тела, т.к. в процессе измерения они не вступают в непосредственный контакт друг с другом. Поэтому данные методы получили название **бесконтактных**.

Методы измерения температур, использующие различные свойства теплового излучения абсолютно чёрного тела, нашли широкое практическое применение.

Под **абсолютно чёрным телом** (АЧТ) понимают тело, которое поглощает всю падающую на него энергию.

В пирометрии излучения в качестве величин, характеризующих тепловое излучение тел, применяют энергетическую светимость (излучательность) и энергетическую яркость (лучистость).

Под **полной энергетической светимостью тела** понимают полную (интегральную) поверхностную плотность излучаемой мощности.

Энергетической яркостью тела в данном направлении называется мощность излучения в единичный телесный угол с единицы площади проекции поверхности тела на плоскость, перпендикулярную данному направлению.

Энергетическая яркость (лучистость) является основной величиной, непосредственно воспринимаемой человеческим глазом, а также всеми пирометрами, основанными на измерении температуры по тепловому излучению.

Все реальные тела по степени поглощения ими лучистой энергии отличаются от чёрного тела и имеют коэффициент поглощения меньше 1. Излучательная способность реальных тел также отличается от лучеиспускательной способности черного тела и может быть охарактеризована коэффициентом излучения полным или спектральным.

Так как излучательная способность зависит от индивидуальных особенностей реальных тел, то возникает необходимость градуировать пирометры по излучению чёрного тела. Применяя эти пирометры для измерения температуры реальных тел, излучающих сплошной спектр, мы в большинстве случаев получаем значения температур, отличающиеся от действительных температур данных тел, поскольку их излучение не соответствует излучению чёрного тела. Эти температуры реальных тел называют, обычно, условными.

Условные температуры тел, измеренные пирометрами, тем больше отличаются от действительных, чем значительнее характер излучения этих отличается от характера излучения чёрного тела.

Тепловое излучение описывается **формулой Планка**:

$$B_0(\lambda, T) = c_1 \lambda^{-5} \left(e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1}, \quad (1)$$

где $B_0(\lambda, T)$ – спектральная энергетическая яркость; C_1, C_2 – константы; λ – длина волны; T – температура.

По формуле Планка можно определить, какую энергию излучает нагретое тело, имеющее температуру T на определённой длине волны λ .

Из этой формулы следует, что **энергия, излучаемая нагретым телом, растёт приблизительно в 16 – 20 раз быстрее, чем его температура**. Следовательно, измеряя сравнительно грубо энергию, излучаемую нагретым телом, можно сравнительно точно измерить его температуру.

Максимум кривой распределения энергетической светимости с увеличением температуры смещается в сторону коротких длин волн. Длина волны $\lambda_{\max}$, соответствующая максимуму кривой распределения энергии в спектре излучения чёрного тела, связана с абсолютной температурой T соотношением

$$\lambda_{\max} T = 2896 \text{ мкм} \cdot \text{K}. \quad (2)$$

В ограниченном интервале температур и при малых значениях длин волн зависимость спектральной энергетической яркости чёрного тела от длины волны и температуры может быть выражена **уравнением Вина**:

$$B_0(\lambda, T) = c_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}. \quad (3)$$

Уравнение Вина более удобно для практического применения в пирометрии, чем формула Планка.

Интегральную энергетическую яркость определяется **законом Стефана–Больцмана**:

$$E_{0T} = \sigma \cdot T^4, \quad (4)$$

где σ – постоянная Больцмана.

Эта формула говорит о том, **что полная энергия, излучаемая телом пропорциональна температуре в четвертой степени**.

На основании законов излучения существуют следующие методы измерения температуры:

1. **Яркостная пирометрия**, основанная на измерении энергии излучаемого тела на данной длине волны.
2. **Радиационная пирометрия**, основанная на использовании закона Стефана–Больцмана, т.е. суммарная энергия пропорциональна температуре в четвертой степени.
3. **Цветовая пирометрия**, основанная на измерении температуры по отношению интенсивностей излучения на двух волнах.

Пирометры измеряют не действительные, а какие-то условные температуры (яркостные, радиационные, цветовые). Эти условные температуры ниже действительных, т.к. записаны для АЧТ, т.е. для реального тела необходимо вводить поправку.

На основании законов излучения разработаны пирометры следующих типов:

- пирометр *суммарного излучения* (ПСИ) – измеряется полная энергия излучения;
- пирометр *частичного излучения* (ПЧИ) – измеряется энергия в ограниченном фильтром (или приемником) участке спектра;
- пирометры *спектрального отношения* (ПСО) – измеряется отношение энергий фиксированных участков спектра.

В данной лабораторной работе изучается пирометр частичного излучения, измеряющий яркостную температуру реального тела.

Яркостной температурой тела T_j в свете длины волны λ называется такая температура T абсолютно черного тела, при которой спектральные энергетические яркости реального тела и черного тела в лучах той же длины волны равны между собой.

Известно большое количество различных вариантов пирометров частичного излучения (ПЧИ), которые подразделяются на три группы:

1. С непосредственным измерением электрического сигнала на приемнике (АПИР-С).
2. Выполненные по компенсационной схеме с эталонным источником излучения, температура которого изменяется (ФЭП).
3. Выполненные по компенсационной схеме, в них температура эталонного излучателя поддерживается постоянной, уравнивание потоков производится с помощью поглотителя (сетка с переменной плотностью, диафрагма и пр.), вводимого между эталонным излучателем и приемником излучения.

Конструкция пирометрического преобразователя ПЧД-131

Устройство пирометрического преобразователя приведено на рис. 1.

Защитное стекло 1 служит для защиты оптической системы от загрязнения и крепится кольцом с резьбой. Линза 2 (объектив) служит для получения изображения измеряемого объекта в плоскости полевой диафрагмы 4, предназначенной для получения заданного показателя визирования. Для получения стандартной градуировки предусмотрена апертурная диафрагма 3, перемещением которой осуществляется подгонка градуировочной характеристики. Конденсатор 5 предназначен для передачи изображения от диафрагмы 4 в плоскость приемника излучения.

Приемное устройство служит для преобразования светового потока в электрический сигнал. Оно состоит из диафрагмы 6, светофильтра 7, фотодиода 8, которые помещены в термостат 9.

Светофильтр предназначен для выделения рабочей спектральной области фотодиода. Фотодиод преобразует тепловую энергию, поступившую на него, в электрический сигнал.

Для наведения преобразователя на объект служит смещенный с оптической оси окуляр 11 и зеркало 10.

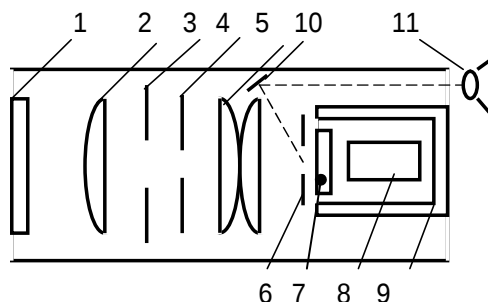


Рис. 1. Пирометрический преобразователь

Термостат в ПЧД-131 представляет собой двустенный цилиндр, между стенками которого положен пенопласт. Задатчиком температуры является транзистор ГТ 310 А, сигнал управления с которого поступает в блок питания ПВ-3. Нагрев термостата производится манганиновым нагревателем, на который поступает напряжение 40 В при токе не более 0,05 А. В преобразователях типа ПЧД в качестве приемника излучения применяются фотодиоды двух типов:

- германиевый фотодиод ФД-3А (градуировки ДГ);
- кремниевый фотодиод ФД-25К (градуировки ДК).

Градуировочные характеристики преобразователей для каждого диапазона измерений одинаковы для любых типоразмеров.

Преобразователи ПЧД-121 и ПЧД-131 имеют термостатированный приемник излучения. Наличие термостатирования позволяет значительно уменьшить температуру окружающего воздуха. Элементом, регулирующим температуру термостата, служит транзистор ГТ310А. Температура термостатирования выбрана с учетом характеристик фотодиодов и составляет $30 \pm 2^\circ\text{C}$ для преобразователей градуировок ДГ и 50°C для ПЧД градуировок ДК.

Описание установки

Установка состоит из пирометрического преобразователя ПЧД-131, преобразователя вторичного и регистрирующего прибора КСП-3 (рис. 2).

Пирометрический преобразователь визируется на нагреватель, температура которого ступенчато изменяется с помощью тиристорного регулятора мощности. Температура объекта контролируется с помощью хромель-алюмелевой термопары, подключенной к милливольтметру.

Пирометры АПИР-С используются для измерения температуры движущихся объектов. Для имитации движущегося предмета перед пирометром помещается обтюратор, скорость вращения которого регулируется с помощью реостата.

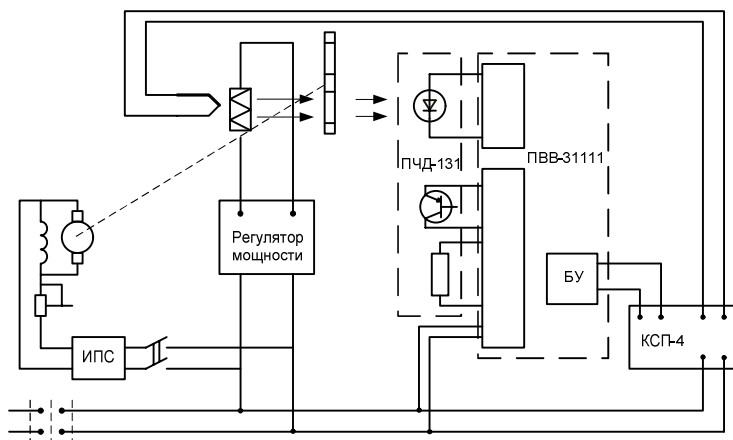


Рис. 2. Схема лабораторной установки для измерения температуры пирометром АПИР-С

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством пирометра АПИР-С и установкой, предназначенной для измерения температуры объекта.
2. Включить установку, вторичный измерительный преобразователь и регистрирующий прибор КСП-3. Время нагрева 5 мин.
3. Установить температуру объекта примерно 900–1000°C и осуществить наводку пирометра на объект (черное пятно должно полностью перекрывать объект).
4. Произвести измерение при различных положениях переключателя «ИЗЛУЧАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ» и разной температуре объекта. Построить график, характеризующий взаимосвязь температуры объекта, измерений с помощью термопары (ось абсцисс) и комплексом АПИР-С (ось ординат).
5. Составить отчет о проделанной работе, сделать необходимые выводы.

Содержание отчета

Отчет должен быть оформлен в соответствии с требованиями стандарта предприятия (МГТУ).

Отчет составляется каждым студентом и должен включать в себя:

- название и цель работы;
- выполнение работы – указывается методика исследования, даются схемы, эскиз установки с необходимыми пояснениями и кратко описывается порядок выполнения работы;
- результаты работы приводятся в виде таблицы, графиков (градуировочная характеристика и изменение температуры для различных степеней черноты) с текстовым пояснением, результаты измерений (пример показан на рис. 3);

– выводы по работе.

Результаты измерений

Степень черноты	Положение переключателя I		Положение переключателя II		Положение переключателя III	
	мВ	мА	мВ	мА	мВ	мА
0,1						
0,2						
.....						
0,9						

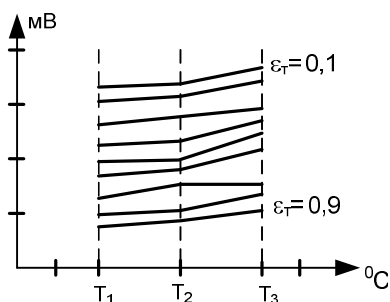


Рис. 3. Изменение температуры для различных степеней черноты

Контрольные вопросы

1. Какие существуют законы теплового излучения?
2. Какие типы пирометрии Вы знаете?
3. Как классифицируются пирометры для каждого типа?
4. Какая температура называется яркостной температурой?
5. Из каких элементов состоит преобразователь ПЧД-131?
6. Назначение светофильтра в преобразователе излучения?

Лабораторная работа № 6 (стенд № 14) ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ЖИДКОСТЕЙ

Цель работы

1. Ознакомиться с методами измерения уровня жидкостей.
2. Изучить пьезометрический метод измерения уровня.
3. Изучить устройства, реализующие данный метод и методику измерения уровня и плотности неизвестной жидкости.

Общие положения

Измерение уровня жидкостей играет важную роль при автоматизации технологических процессов.

Под **измерением уровня** понимается индикация положения раздела двух сред различной плотности относительно какой-либо горизонтальной плоскости, принятой за начало отсчёта. Технические средства, применяемые для измерения уровня, называются **уровнемерами**. Приборы, предназначенные для сигнализации предельных уровней жидкости, называются **сигнализаторами уровня**.

Уровнемеры также имеют широкое применение в различных отраслях промышленности для измерения по уровню количества жидкости, находящейся в резервуарах, баках и других устройствах. Соответствие уровнемеров тем или иным требованиям позволяет произвести разделение их на определённые группы. Так, например, ГОСТ 15983 предусматривает разделение уровнемеров по следующим признакам:

- по виду используемой вспомогательной энергии;
- по наличию устройства для отсчёта и передачи показаний;
- по виду сигнала-носителя информации;
- по защищённости от воздействия окружающей среды;
- по устойчивости к механическим воздействиям;
- по температурному диапазону.

Приведённое выше разделение уровнемеров является скорее разделением по признакам конструктивного исполнения и не может помочь в выборе того или иного уровнемера, т.к. характеризует вторичные свойства уровнемера.

Основной же следует считать классификацию уровнемеров по применённому методу измерения уровня. Методы измерения уровня группируются по тем физическим свойствам, различие которых у веществ, образующих поверхность раздела, положено в основу метода.

По принципу действия приборы для измерения уровня жидкости можно разделить на механические, пьезометрические, электрические, акустические и радиоизотопные. Приборы в указанных группах, в свою очередь, подразделяются по устройству:

1. Механические, которые подразделяются на:

- *поплавковые*, с чувствительным элементом, находящимся на поверхности измеряемой жидкости и передающим значение уровня указателя с помощью мерной ленты или троса;
- *буйковые* (поплавки с отрицательной плавучестью), имеющие в качестве чувствительного элемента буйёк, связанный с компенсационным устройством, реагирующим на изменение веса буйка при изменении уровня погружения его в жидкость.

2. Пьезометрические (гидростатические):

- *барботажные*, представляющие собой пневмометрическую трубку, имеющую выход для воздуха на фиксированном положении от дна резервуара; уровень определяется по давлению воздуха, прокачиваемого по трубке;

- *манометрические*, определяющие уровень по давлению пьезометрического столба жидкости, воспринимаемого манометром, дифманометром.

3. *Электрические:*

- *электроконтактные*, основанные на измерении электропроводимости измеряемых сред;
- *емкостные*, использующие различие диэлектрических свойств воздуха ($\epsilon = 1$) и измеряемой жидкости (воды $\epsilon = 81$);
- *индуктивные*, импеданс датчика уровня имеет индуктивный характер и меняется с изменением уровня из-за различия электропроводностей жидкости и парогазовой смеси;
- *радиоволновые*, основанные на использовании зависимости какой-либо характеристики электромагнитного колебательного процесса от величины контролируемого уровня (радиолокационный, радиоинтерференционный, эндовибраторный и резонансный методы).

4. *Акустические* методы измерения уровня, которые, в свою очередь, подразделяются на локационные, диссипативные и резонансные. Чаще применяется локационный, определяющий уровень по времени распространения ультразвуковых волн в измеряемой среде.

5. *Радиоактивные*, использующие поглощение измеряемой жидкостью γ -лучей, излучаемых радиоактивным излучателем (кобальт-60 или цезий-137).

Пьезометрический уровнемер

Пьезометрический метод измерения уровня основан на измерении высоты столба жидкости по давлению, которое создаёт этот столб. В этом случае уровень жидкости можно определить подключением манометра к нижней отметке ёмкости, продувкой воздуха или при помощи дифференциального манометра.

На рис. 1 изображены два способа измерения уровня жидкости в резервуаре: при помощи установки манометра и продувки воздухом.

При измерении уровня продувкой воздухом опускают в резервуар на фиксированное расстояние трубку. Через трубку прокачивают воздух, который, выходя из свободного конца пузырьками, препятствует поступлению жидкости в трубку. Давление воздуха, прокачиваемого по трубке, всегда будет равно гидростатическому давлению столба жидкости:

$$P = H\gamma, \quad (1)$$

где H – высота столба жидкости над обрезом трубки; γ – удельный вес жидкости.

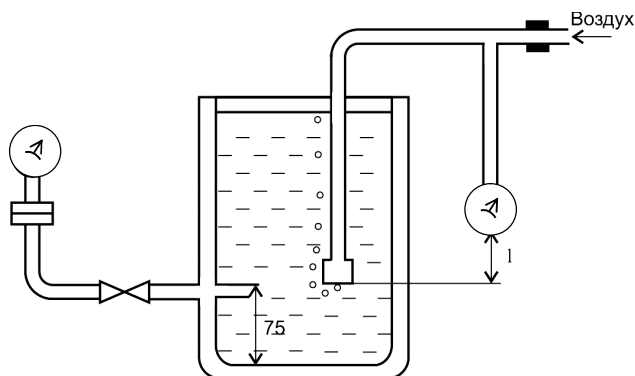


Рис. 1. Схема измерения уровня жидкости при помощи манометра и пьезометрическим способом (продувкой воздухом)

Уравнение, связывающее давление P с текущим значением уровня в сосуде и различными параметрами уровнемера и жидкости, в общем случае будет иметь вид

$$H = \frac{P}{\gamma} + \Delta h_l + \Delta h_{тр} + \Delta h_{\sigma}, \quad (2)$$

где Δh_l – поправка, учитывающая вертикальный градиент давления и зависящая от возвышения манометра l над нижним обрезом трубки; $\Delta h_{тр}$ – поправка на преодоление сил трения по длине импульсной трубки; Δh_{σ} – поправка на потери давления из-за действия сил поверхностного натяжения жидкости.

Поправка Δh_l вводится либо при значительном давлении газа (свыше 7 кгс/см^2), либо при значительном возвышении манометра над уровнем жидкости.

Потери давления на трение по длине трубки определяются как

$$\Delta h_{тр} = \gamma_r \lambda \frac{Lv^2}{d2q}, \quad (3)$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления трубки, функциональная зависимость которого определяется режимом движения газа в ней; d – диаметр импульсной трубки; L – длина импульсной трубки от нижнего обреза до манометра; $v = \frac{4Q}{\pi d^2}$ – скорость движения газа в трубопроводе; Q – объёмный расход газа.

Существует тенденция выбирать диаметр трубки по возможности большим в пределах от 6 до 20 мм, сводя к минимуму потери на трение.

Расход воздуха, как правило, выбирается опытным путём и обычно колеблется от 0,1 до 2 л/мин, что соответствует скорости газа 8–10 м/с. Практически расход газа должен быть таким, чтобы обеспечивалось постоянное его прохождение через жидкость с образованием цепочки пузырей без слияния их в сплошную струю.

Потери давления на поверхностное натяжение можно определить по формуле

$$\Delta h_{\sigma} = \frac{4\sigma}{d}, \quad (4)$$

где σ – сила поверхностного натяжения жидкости.

Характерно, что все поправки, вводимые в результат измерения, не зависят от текущего значения уровня, поэтому для определения суммарной величины поправок достаточно провести тарировку датчика в одной точке.

Пьезометрический уровнемер пригоден для измерения уровня практически любой жидкости. Агрессивность среды не оказывает влияния на работу уровнемера при правильном выборе материала импульсной трубки. Единственным лимитирующим параметром жидкости является её вязкость. Влияние вязкости проявляется в увеличении диаметра пузырьков, отрыв которых от обрезов трубки сопровождается возникновением колебаний в измерительной линии, что отражается на точности измерения уровня. Пьезометрический уровнемер пригоден для измерения уровня жидкостей, вязкость которых не превышает 1800–2000 сСт (сантистокс).

Пьезометрический метод измерения уровня можно легко использовать для измерения плотностей жидкости. Для этого заполняют один сосуд эталонной жидкостью, плотность $\rho_{\text{э}}$ которой известна (например, водой), а другой сосуд – испытуемой жидкостью с неизвестной плотностью ρ_x . Уровни в обоих сосудах поддерживаются на одинаковой высоте. В каждый сосуд на равную глубину H , м, вводят трубки, через которые продувают воздух.

В первом эталонном сосуде давление продуваемого воздуха, Н/м, устанавливается на значение

$$P_{\text{э}} = H \rho_{\text{э}} g, \quad (5)$$

а во втором с испытуемой жидкостью на значение

$$P_x = H \rho_x g, \quad (6)$$

где $g = 9,81$ м/с²; H – уровень, м; P_x и $P_{\text{э}}$ – давление соответственно в испытуемом и эталонном сосудах, Н/м².

Отсюда плотность испытуемой жидкости

$$\rho_x = \frac{P_x}{P_{\text{э}}} \rho_{\text{э}}. \quad (7)$$

Описание установки

Схема лабораторной установки для определения уровня пьезометрическим способом приведена на рис. 2.

В сосуд 1, уровень жидкости в котором измеряется, опускается импульсная трубка 2. По соединительной трубке 5 подаётся воздух от побудителя расхода 7 (компрессор). Перемещение импульсной трубки осуществляется с помощью держателя 4 вдоль шкалы 3 по направляющим. Расход воздуха от побудителя регулируется с помощью ротаметра 6, давление воздуха после ротаметра измеряется с помощью U-образного манометра 8 и преобразователя «Метран-100» со вторичным прибором «Диск-250».

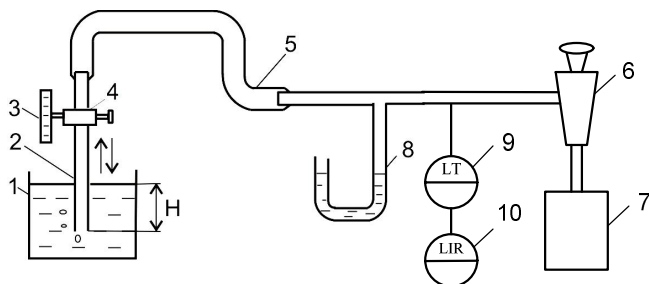


Рис. 2. Схема установки для определения уровня пьезометрическим способом:

- 1 – сосуд; 2 – импульсная трубка; 3 – шкала; 4 – держатель; 5 – резиновая трубка; 6 – ротаметр с регулированием расхода воздуха; 7 – компрессор; 8 – U-образный манометр; 9 – преобразователь «Метран-100» с жидкокристаллическим индикаторным устройством; 10 – потенциометр типа «Диск-250»

Схема электрических соединений приборов для измерения уровня и плотности жидкости пьезометрическим способом приведена на рис. 3.

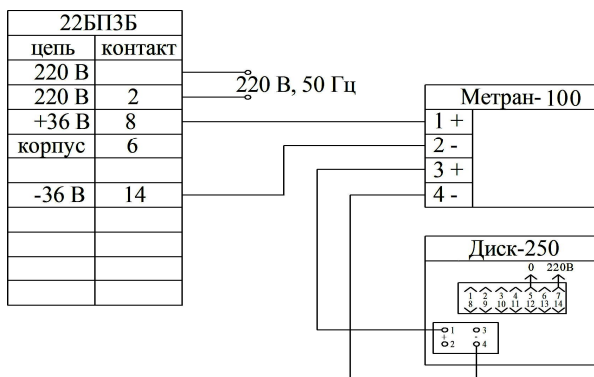


Рис. 3. Схема электрических соединений приборов для измерения уровня и плотности жидкости пьезометрическим способом

Порядок выполнения работы

Уровень изменяется вертикальным перемещением импульсной трубки. Давление измеряется двумя приборами: U-манометром и преобразователем давления «Метран-100». «Метран-100» преобразует давление в электрический сигнал 0–5 мА.

Сигнал от преобразователя «Метран-100» передаётся на вторичный прибор «Диск-250» (см. рис. 3). При этом одновременно осуществляется индикация давления на жидкокристаллическом дисплее преобразователя «Метран-100».

При проведении работы устанавливают различные расходы воздуха с помощью ротаметра 6 и при каждом расходе воздуха проводят измерение уровня на всех оцифрованных отметках. Полученные данные заносят в табл. 2. Строят графики зависимости давления от уровня для различных расходов воздуха (минимального, среднего, максимального). На рисунке откладывают по оси абсцисс отсчёт по шкале 3, а по оси ординат показания вторичного прибора «Диск-250». По полученным графикам и результатам наблюдений производят выбор оптимального расхода воздуха, который затем устанавливают с помощью ротаметра 6.

Затем определяют плотность неизвестной жидкости, для чего производят измерение давления и уровня при определённом значении уровня воды. Далее сосуд с водой заменяют сосудом с неизвестной жидкостью и при тех же значениях уровня производят измерения давления при неизвестной жидкости. Расчёт плотности жидкости осуществляют по формуле (7). Пользуясь табл. 1, определяют неизвестную жидкость.

Таблица 1

Плотности жидкостей

Жидкость	Плотность, г/см ³	Жидкость	Плотность, г/см ³
Анилин	1,022	Пентан	0,621
Ацетон	0,792	Сероуглерод	1,263
Бензол	0,878	Толуол	0,866
Вода	0,997	Хлороформ	1,489
Глицерин	1,261	Четырёххлористый	1,535
Керосин	0,825		

Таким образом, порядок выполнения работы выглядит следующим образом:

1. Ознакомиться по инструкции с методами измерения уровня и устройством пьезометрического уровнемера.
2. Подать напряжение на установку, переключатель «Работа» установить в положение «ВКЛ».
3. Перемещая держателем импульсную трубку через 10 мм, записать показания преобразователя «Метран-100» в табл. 2. За начало отсчёта считать момент, когда срез импульсной трубки касается жидкости.

4. Прodelать п. 3 для разных расходов воздуха. Минимальный расход воздуха соответствует расходу, когда пузырьки редко следуют друг за другом, преобразователь «Метран-100» реагирует на каждый пузырёк. Средний расход – вторичный прибор перестаёт реагировать на каждый пузырёк. Максимальный – воздух идёт сплошной струёй.
5. Установить оптимальный расход воздуха и произвести измерения при одних и тех же отсчётах по шкале для воды и неизвестной жидкости. Рассчитать плотность неизвестной жидкости. По таблице определить, какая это жидкость.
6. Построить графики зависимости показаний прибора от перемещения импульсной трубки для разных расходов воздуха.
7. Составить отчёт о проделанной работе.
8. Результаты эксперимента свести в табл. 2.

Таблица 2

Результаты эксперимента

Измерение расхода, %	Глубина погружения импульсной трубки H_0 , мм	Показания «Метран-100», Па	Приращение показаний «Метран-100» на каждое изменение при погружении	Среднее значение приращений показаний при каждом изменении расхода

Содержание отчета

Отчёт должен содержать:

1. Краткий перечень методов измерения уровня жидкости.
2. Схему установки для измерения уровня пьезометрическим способом.
3. Результаты работы: таблица, расчет плотности неизвестной жидкости, выводы.

Контрольные вопросы

1. Принцип действия и устройство пьезометрического уровнемера.
2. Какие поправки необходимо учитывать при определении уровня?
3. В каких случаях вводится поправка Δh_v , учитывающая вертикальный градиент давления?
4. Почему диаметр трубки для продувки выбирают по возможности наибольшим?
5. Каким должен быть расход газа или воздуха, вдуваемого под слой жидкости?
6. Каков принцип измерения плотности жидкости на данной установке?
7. Почему нельзя устанавливать очень малый расход воздуха?

Лабораторная работа № 7 (стенд № 15) ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы

1. Ознакомление с особенностями сыпучих материалов методами измерения уровня.
2. Изучение устройства и работы схемы зондового метода.

Общие положения

Определение уровня сыпучих сред – более сложная задача, чем контроль уровня жидких веществ. Это связано с тем, что сыпучие материалы при заполнении и опорожнении емкостей не имеют горизонтальной поверхности, а образуют откосы в результате трения и некоторого сцепления между частицами сыпучего продукта. Давление сыпучих сред на дно и стенки емкости непропорционально высоте уровня загрузки, т.е. на сыпучие материалы не распространяется закон Паскаля.

Большинство сыпучих материалов при хранении теряет сыпучесть, т.е. обладает свойством *слеживаемости*. Установлены два вида слеживаемости, а следовательно, связности сыпучих тел: физико-механическая и физико-химическая. Слеживаемость первого вида связана с возникновением сил трения между частицами в результате упругого молекулярного и электростатического взаимодействия, а также капиллярных и других сил. Слеживаемостью этого вида обладают зерно, цемент и другие материалы. Связность второго рода обуславливается физико-химическими процессами, которые могут приводить к соединению частиц и образованию монолитного твердого тела. Такую связность имеют поваренная и калийная соль, сахар и аналогичные им материалы. Существенное влияние на связность оказывает влага. Сыпучие продукты могут прилипать к поверхностям емкостей и чувствительным элементам приборов контроля и регулирования уровня.

В сочетании со слеживаемостью сыпучих продуктов налипание приводит к зависанию материалов на наклонных и в некоторых случаях на вертикальных стенках. Некоторые сыпучие материалы имеют повышенную абразивность (зола, песок, боксит, железная руда и др.).

Таким образом, сыпучие материалы, уровни которых контролируются, обладают разнообразными физическими и химическими свойствами: различным размером частиц (пылевидные, порошкообразные и кусковые), плотностью и объемной массой, липкостью, абразивностью, слеживаемостью, углами откоса свободной поверхности при засыпании и при обрушении, электропроводностью, влажностью, сыпучестью, взрывоопасностью, смерзаемостью, температурой и др. Контроль уровня может осуществляться при различных условиях: давлении, температуре, влажности, количестве материала. Все это обуславливает сравнительно большую номенклатуру серийно выпускаемых отечественной промышленно-

стью приборов для контроля и регулирования уровня сыпучих сред, основанных на разнообразных принципах работы и предназначенных для эксплуатации в различных условиях.

Классификация методов измерения уровня сыпучих материалов

По своему назначению уровнемеры делятся на две группы:

- уровнемеры, измеряющие абсолютное значение уровня по отношению к принятому за нулевой (такие уровнемеры имеют одностороннюю шкалу);
- уровнемеры, измеряющие отклонение уровня от номинального (они имеют двустороннюю шкалу, как правило симметричную).

Приборы, применяемые для контроля уровня сыпучих материалов можно классифицировать по следующим признакам:

- по характеру работы (контактные, бесконтактные);
- по исполнению (общепромышленные, взрывобезопасные и др.);
- по виду выполняемых функций: реле или сигнализатор уровня (регуляторы, уровнемеры);
- по принципу работы;
- по способу контроля (порционные, дискретные и непрерывные).

По принципу действия уровнемеры для сыпучих материалов можно представить в виде шести групп методов:

- использующих различие плотностей (весовой, радиоизотопный, гидростатический, буйковый, поплавковый);
- акустические (локационный, диссипативный, резонансный.);
- тепловые (дилатометрический, терморезисторный, термоЭДС);
- оптические (фотоэлектрический, визуальный, преломления, поглощения, отражения);
- электромагнитные (кондуктометрический, индуктивный, емкостной, радиоволновый.)
- механические (с гибким щупом, зондовый, маятниковый, с вращающимся телом, с колеблющимся телом).

Методы, основанные на различиях плотностей

Весовые (массовые) уровнемеры

Простейшими из них по принципу работы являются весовые (массовые), основанные на взвешивании бункера вместе с имеющимся в нем материалом. В качестве преобразователя в этих уровнемерах может быть использована гидравлическая мессдоза, которая является опорой одной из лап бункера. Мессдоза представляет собой стальной корпус, герметично закрытый мембраной с закрепленным на ней поршнем, на который опирается лапа бункера. Внутренняя полость корпуса (под мембраной) заполнена жидкостью и соединительной линией соединяется с маномет-

ром, влияние жидкости в системе мессдоза–манометр равно силе тяжести бункера с материалом, деленной на площадь поршня.

В массовых уровнемерах вместо мессдозы применяются и более совершенные магнитоупругие преобразователи, обеспечивающие высокую точность измерения (их погрешность не более $\pm 5\%$). Основным элементом таких преобразователей является металлический чувствительный элемент, магнитная проницаемость которого изменяется при упругой механической деформации. Магнитоупругие преобразователи устанавливаются под опоры бункера и включаются в схему неуравновешенного моста, выходной сигнал которого будет зависеть от степени деформации преобразователя, т.е. от количества материала в бункере.

Радиоизотопные уровнемеры

Радиоизотопные уровнемеры предназначены для непрерывного бесконтактного дистанционного измерения уровней жидкостей и сыпучих тел. Принцип действия этих приборов основан на изменении степени ослабления γ -излучения на границе раздела двух сред, испускаемого радиоактивными изотопами цезием Cs137 или кобальтом Со60 через контролируемую среду. Сигнал от счетчика через измерительные блоки воздействует на исполнительный механизм, который перемещает детектор вверх до положения, соответствующего уровню материала и регистрируемого вторичным прибором. Схема радиоизотопного уровнемера приведена на рис. 1.

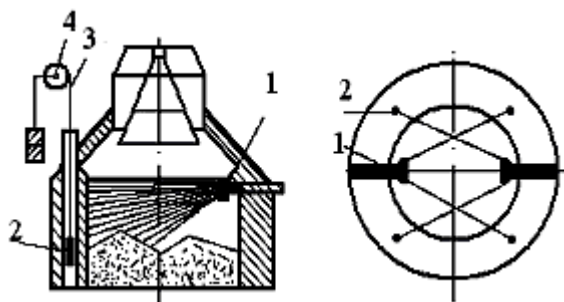


Рис. 1. Радиоизотопный уровнемер: 1 – источник радиационного излучения; 2 – приёмник (детектор) излучения; 3 – кабель-тросы; 4 – токосъёмники

Акустические методы

В уровнемерах, называемых акустическими, используется метод локаций уровня сыпучего материала через газовую среду. Достоинством этого метода является то, что акустическая энергия, посланная в объект для измерения уровня сыпучего материала, распространяется по газовой среде. Это обеспечивает универсальность измерения уровня сыпучего материала. Распространение по газовой среде обеспечивает универсальность по отноше-

нию к различным материалам, уровень которых необходимо измерить, а также высокую надежность первичных преобразователей, не контактирующих с сыпучими материалами. По принципу действия акустические уровнемеры можно подразделить на локационные, поглощения и резонансные. Наибольшее распространение получили локационные уровнемеры.

Локационные уровнемеры

В локационных уровнемерах используется эффект отражения ультразвуковых колебаний от границы раздела сыпучий материал–газ. Положение уровня определяется по времени прохождения ультразвуковых колебаний от источника до приемника после отражения их от поверхности раздела. На рис. 2 изображён локационный уровнемер.

Уровнемеры диссипативные (поглощения)

В уровнемерах поглощения положение уровня определяется по ослаблению интенсивности ультразвука при прохождении через слои сыпучего материала и газа.

Уровнемеры резонансные

В резонансных уровнемерах измерение уровня производится посредством измерения частоты собственных колебаний столба газа над уровнем сыпучих материалов, которая зависит от уровня сыпучих материалов.

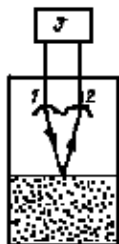


Рис. 2. Схема локационного уровнемера: 1 – излучатель; 2 – приемник электромагнитной энергии; 3 – схемы измерения интервала времени

Оптические методы

Визуальный уровнемер

Визуальный метод основан на визуальном определении уровня сыпучих материалов. При повышенных давлениях применяются плоские стекла, на поверхности которых со стороны сыпучего материала нанесены вертикальные граненые канавки. Из условий прочности не рекомендуется применять указательные стекла длиной более 0,5 м, поэтому при большом диапазоне изменения уровня устанавливается несколько стекол в шахматном порядке таким образом, чтобы их диапазоны измерения перекрывались.

Уровнемеры преломления (отражения)

Метод преломления (отражения) основан на изменении положения преломленного (отраженного) луча при изменении уровня сыпучего материала.

Для электропроводных материалов наиболее простыми являются кондуктометрические уровнемеры.

Кондуктометрический уровнемер

Кондуктометрический уровнемер основан на измерении величины активного сопротивления между электродами при изменении уровня сыпучего материала. Сигнализатор может контролировать либо только верхний уровень сыпучего материала в бункере (в этом случае применяется только один электрод), либо верхний и нижний уровни (применяются два электрода). Примером может послужить уровнемер типа ИКС. Принцип действия таких сигнализаторов (рис. 3) заключается в замыкании электрической цепи стенка бункера–материал–электрод при касании поверхности материала электрода. Основные недостатки при эксплуатации: механическое разрушение электродов под действием материала, возможность ложных срабатываний из-за утечек через запыленную среду (обычно во избежание этого на электроды устанавливают охранные кольца).

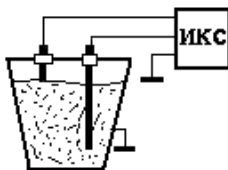


Рис. 3. Схема кондуктометрического уровнемера

Индуктивный уровнемер

Индуктивный метод основан на изменении индуктивности датчика, подключенного к генератору высокой частоты, при его погружении в контролируемую среду.

Емкостной уровнемер

Принцип действия основан на измерении электрической емкости первичного преобразователя, изменяющийся пропорционально изменению уровня контролируемого материала в резервуаре относительно неподвижного датчика. В таких устройствах емкостный преобразователь, образованный электродом 1 и стенкой бункера 2 (рис. 4), совместно с катушкой индуктивности L образуют колебательный контур, резонансная частота которого определяется емкостью преобразователя, т.е. текущим значением уровня.

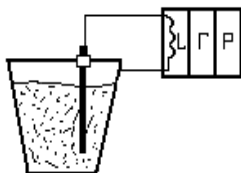


Рис. 4. Схема ёмкостного уровнемера

Радиоволновый уровнемер

Радиоволновый уровнемер основан на зависимости параметров колебаний электромагнитных волн от высоты уровня материала. Работа радиолокационных уровнемеров основывается на явлении отражения электромагнитных волн от границы раздела сред, различающихся электрическими и магнитными свойствами. В результате взаимодействия отражённого и излучённого сигнала изменяется частота сигналов. Частотный сигнал подаётся на вход вторичного преобразователя, где производится его обработка.

Механические методы

Лотовый (зондовый) метод

Специфическим уровнемером для сыпучих материалов является лотовый (зондовый) (рис. 5). Зондовый метод основан на поддержании груза на границе раздела двух сред. Чувствительным элементом таких уровнемеров является массивное тело (лот) 1, подвешенное на гибком тросе 2. В начале цикла измерений лот зафиксирован в предельном верхнем положении. Цикл измерения уровня начинается с момента растормаживания лота, при этом под действием собственного веса лот начинает опускаться. В этот же момент сигнальным устройством 3, реагирующим на натяжение троса, включается отсчетное устройство 4, регистрирующее смещение лота относительно первоначального предельного положения. В момент касания лотом поверхности, натяжение троса уменьшается, и сигнальное устройство 3 отключает отсчетное устройство, одновременно включая механизм подъема 5 лота, который поднимает лот в исходное положение, после чего цикл измерения повторяется. Показания от счетного устройства позволяют определить текущее значение уровня. Перед началом следующего цикла измерения показания отсчетного устройства должны быть сброшены.

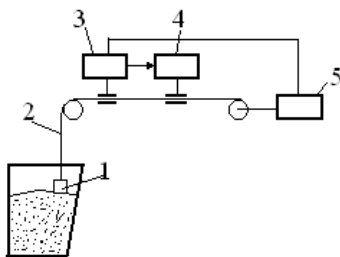


Рис. 5. Схема зондового уровнемера

Метод с гибким щупом

Уровнемеры с гибким щупом основаны на воздействии сыпучего материала на щуп, под воздействием сыпучего материала щуп упруго изгибается, поворачиваясь в месте шарнирного крепления, при этом элемент, нахо-

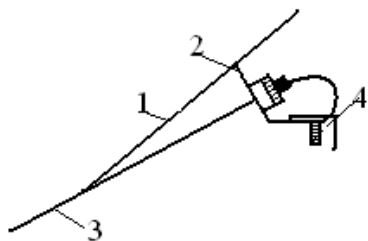


Рис. 6. Схема уровнемера с гибким щупом

Уровнемер крепится к стенке бункера 4 с таким расчетом, чтобы гибкий щуп находился на уровне контролируемого материала. Если щуп не подвергается механическому воздействию сыпучего продукта, контакты, образованные щупом и трубкой и находящиеся в корпусе датчика, разомкнуты. Под действием давления сыпучего материала щуп изгибается, замыкая контакты, и в цепь управления подается сигнал.

Маятниковый метод

Для контроля предельных уровней сыпучих материалов в емкостях находят применение маятниковые уровнемеры. При наличии угла естественного откоса прохождение уровня сыпучего материала приводит к повороту маятника вокруг оси подвески, при этом замыкаются контакты ртутного реле, вмонтированного в маятник.

Для контроля верхнего уровня легкосыпучих материалов рекомендуется применение уровнемера маятникового типа, выполненное в виде конусообразного, снабженного ребрами корпуса. В точку контроля уровня корпус подвешивается с помощью гибкого кабеля, соединяющего со схемой управления находящийся внутри него ртутный контакт (рис. 7), обеспечивающий коммутацию нагрузки в цепях переменного тока напряжением до 127 В при токе 1 А. А в цепях с напряжением 220 В – до 0,2 А. При отключении продукта корпуса замыкается ртутный контакт, выдавая сигнал в цепь контроля.

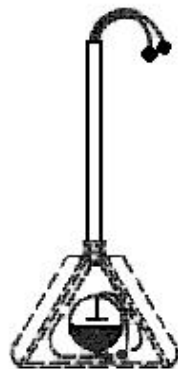


Рис. 7. Схема маятникового реле

Метод с вращающимся телом

Принцип действия следующий. Когда уровень контролируемого материала ниже тормозной крыльчатки, вал двигателя и, следовательно, вращающийся вал (крыльчатка) непрерывно вращаются, при достижении сыпучего материала крыльчатка останавливается. По замыканию или размыканию сигнальной цепи узнаем уровень сыпучих материалов.

Метод колеблющегося тела

Основан на изменении параметров электрической цепи, по которым регистрируется достижение уровнем сыпучего материала места установки датчика.

Описание установки

Уровнемеры с поступательным движением чувствительного элемента называют зондовыми. Схема лабораторной установки представлена на рис. 8.

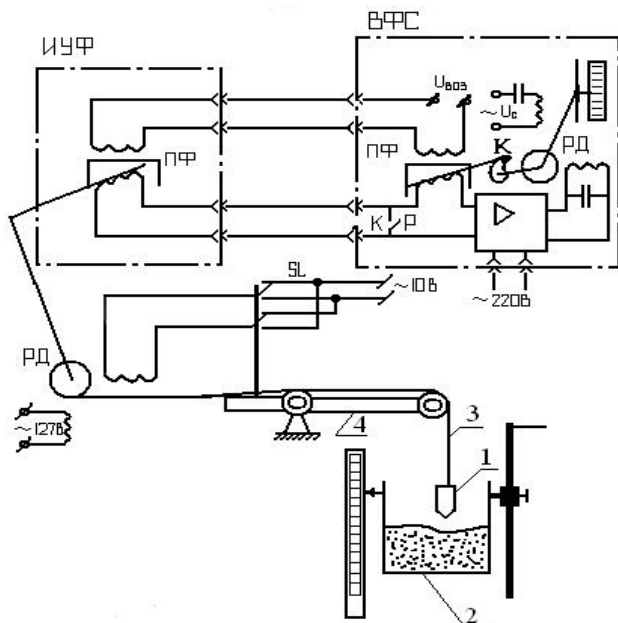


Рис. 8. Схема установки для измерения уровня сыпучего материала зондовым методом

Массивное тело 1 подвешено внутри сосуда с сыпучим материалом 2 на гибкой связи 3 (тросе или ленте). На валу реверсивного двигателя РД1 закреплен барабан, наматывающий трос с грузом. Включение двигателя выполнено таким образом, что при ослабленном тросе (груз касается сыпучего материала) двигатель наматывает трос и начинает поднимать груз. В момент натяжения троса через коромысло 4 срабатывают контакты SL и двигатель РД1 ослабляет трос. В дальнейшем цикл повторяется. Таким образом, груз будет постоянно находиться на поверхности сыпучего материала.

Двигатель РД1 связан кинематически с индикатором угла поворота ИУФ с ферродинамическим преобразователем, сигнал с которого поступает на вторичный самопишущий прибор ВФС. При рассогласованном

положении рамок преобразователей на вход усилителя будет подаваться разность напряжений $\Delta U = U_2 - U_1$. Сигнал небаланса ΔU усиливается усилителем и приводит в действие реверсивный двигатель РД, выходной вал которого, кинематически соединенный с рамкой компенсирующего преобразователя и через профилирующий кулачок К со стрелкой, вращает рамку до тех пор, пока напряжение небаланса ΔU , уменьшаясь, не станет меньше порога чувствительности усилителя.

При достижении полной компенсации ротор реверсивного двигателя остановится, а рамка преобразователя вторичного прибора и его стрелка займут положение, соответствующее углу поворота рамки преобразователя первичного прибора (ИУФ), а следовательно, и значению измеряемой величины. Шкала прибора отградуирована в единицах измерения (мм).

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться по инструкции с принципом действия и устройством зондового следящего уровнямера.
2. Подать напряжение на установку. Переключателем «Работа» установить его в положение «Вкл».
3. Включить прибор ВФС, для чего переключатель «Питание» установить в положение «Вкл». Выдержать 3 мин.
4. Перемещая емкость с сыпучим материалом, записать показания прибора ВФС для разных уровней сыпучего материала. Результаты измерений свести в таблицу.

Результаты определения уровня сыпучих материалов

Экспериментальные данные		Расчетные	
Показания уровня по шкале H_1 , мм	Показания вторичного прибора ВФС H_2 , мм	Абсолютная погрешность a , мм	Приведенная погрешность, %

Абсолютная погрешность рассчитывается по формуле

$$a = H_2 - H_1. \quad (1)$$

Приведенная погрешность рассчитывается по формуле

$$\delta = \frac{|a|}{H_{1к} - H_{2к}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $H_{2к}$ – конечное показание уровня по шкале; $H_{1к}$ – начальное показание уровня по шкале.

5. По результатам таблицы построить график зависимости показаний прибора ВФС от перемещения емкости.
6. Составить отчет о проведенной работе.
7. Отчет должен содержать наименование работы, цель работы, схему установки и ее краткое описание, результаты работы в виде таблицы и графика, выводы. В выводах отразить точность и надежность метода.

Контрольные вопросы

1. Что такое слеживаемость и каких видов она бывает?
2. Какими основными свойствами обладают сыпучие материалы?
3. Принцип действия уровнемеров, основанных на различии плотностей сыпучего материала.
4. Принцип действия акустических методов.
5. Принцип действия зондового метода, реализованного в лабораторной работе.

Лабораторная работа № 8 (стенд № 18) ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДАВЛЕНИЯ СЕРИИ «МЕТРАН»

Цель работы

1. Изучить принцип действия и конструкцию преобразователей давления серии «Метран».
2. Изучить методы поверки преобразователей серии «Метран».

Общие положения

Непрерывное усложнение задач автоматизации в последние годы обусловлено дальнейшей интенсификацией производства, переходом от относительно простых локальных к сложным многосвязным системам, выполняющим непрерывный или непрерывно-дискретный контроль и регулирование технологических процессов. Сложность автоматизации подобных технологических процессов потребовала совершенствования датчиков (первичных преобразователей), вторичных приборов, регуляторов и других традиционных средств автоматики. Точность, эксплуатационная и метрологическая надежность АСУТП во многом определяется качеством датчиков, среди которых наиболее распространенными являются датчики (измерительные преобразователи) давления со стандартным электрическим выходным сигналом (0-5 мА, 4-20 мА, 0-10 В и т.п.).

В современных электрических датчиках давления используются различные методы измерения. В мировой практике приборостроения распространены электрические датчики давления, основанные на пьезоэлектрическом, емкостном методах. Но наиболее известны датчики,

основанные на тензометрическом методе измерения с применением полупроводниковых и тонкопленочных металлических тензочувствительных схем, что в значительной мере обусловлено бурным развитием тонкопленочной и микроэлектронной техники. Такие датчики выпускают фирмы США, Франции, Великобритании, Японии и России (НИИ «Теплоприбор»).

Использование тензорезисторного метода измерения позволяет создавать приборы с простейшей кинематикой или практически без нее, малой массой подвижных элементов, малогабаритными упругими элементами, работающими в режиме малых перемещений.

Суть тензорезисторного метода измерения применительно к датчикам давления заключается в непосредственном преобразовании деформации упругого манометрического элемента или связанного с ним упругого силового элемента в изменение электрического сопротивления тензорезисторов, закрепленных на одном из указанных элементов. Это изменение сопротивления тензорезисторов преобразуется электрической измерительной схемой в выходной сигнал для дистанционной передачи.

Датчики давления «Метран-22»

Датчики давления «Метран-22» предназначены для непрерывного преобразования значения измеряемого параметра – давления избыточного (ДИ), абсолютного (ДА), разрежения (ДВ), давления-разрежения (ДИВ), разности давлений (ДД) нейтральных и агрессивных сред, а также газообразного кислорода и обогащенного кислородом воздуха (далее кислород) в унифицированный выходной токовый сигнал дистанционной передачи.

Датчик состоит из преобразователя давления (в дальнейшем измерительный блок) и электронного преобразователя. Датчики имеют унифицированный электронный преобразователь.

Измеряемый параметр подается в камеру измерительного блока и преобразуется в деформацию чувствительного элемента, вызывая при этом изменение электрического сопротивления тензорезисторов тензопреобразователя, размещенного в измерительном блоке.

Чувствительным элементом тензопреобразователя является пластина из монокристаллического сапфира с кремниевыми пленочными тензорезисторами (структура КНС), прочно соединенная с металлической мембраной тензопреобразователя.

Электронный преобразователь датчика преобразует изменение сопротивления моста тензопреобразователя в токовый выходной сигнал.

В данной лабораторной работе измерение давления производится с помощью датчика «Метран-22 ДИ» модели 2130, схема которого приведена на рис. 1.

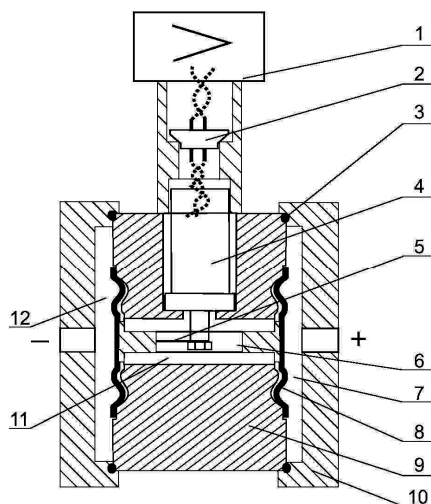


Рис. 1. Схема датчика «Метран-22» модели 2130

Тензопреобразователь 4 мембранно-рычажного типа размещен внутри основания 9 и замкнутой полости 11, заполненной кремнийорганической жидкостью (для датчиков кислородного исполнения используется жидкость ПЭФ-70/110), и отделен от измеряемой среды металлическими гофрированными мембранами 8. Мембраны 8 приварены по наружному контуру к основанию 9 и соединены между собой центральным штоком, который связан с концом рычага тензопреобразователя 4 с помощью тяги 5. Фланцы 10 уплотнены прокладками 3. Камера 12 сообщается с окружающей атмосферой. Воздействие измеряемой разности давлений (большее давление подается в камеру 7, меньшее в камеру 12) вызывает прогиб мембраны 8, изгиб мембраны тензопреобразователя 4 и изменение сопротивления тензорезисторов.

Электрический сигнал от тензопреобразователя передается из измерительного блока в электронный преобразователь 1 по проводам через гермоввод 2.

Измерительный блок выдерживает без разрушения кратковременное воздействие односторонней перегрузки рабочим избыточным давлением. Это обеспечивается тем, что при такой перегрузке одна из мембран 8 ложится на профилированную поверхность основания 9.

Примечание. В рассмотренной ранее лабораторной работе №1 для измерения динамического давления и разности давлений на сужающем устройстве применяются датчики «Метран-22 ДД» модели 2410, схема и принцип действия которых аналогичны датчику «Метран-22 ДИ» модели 2130, однако в них камера 12 не сообщается с окружающей атмосферой.

Интеллектуальные датчики давления серии «Метран-100 (150)»

В настоящее время уже находятся в серийном производстве интеллектуальные датчики серии «Метран-100» и «Метран-150».

Интеллектуальные датчики давления серии «Метран-100(150)» предназначены для работы в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами и обеспечивают непрерывное преобразование в унифицированный аналоговый токовый сигнал дистанционной передачи и/или цифровой сигнал в стандарте протокола HART, или цифровой сигнал на базе интерфейса RS485 следующих входных величин:

- избыточного давления ДИ;
- абсолютного давления ДА;
- разрежения ДВ;
- давления-разрежения ДИВ;
- разности давлений ДД;
- гидростатического давления ДГ.

Управление параметрами датчика:

- кнопочное со встроенной панели;
- с помощью HART-коммуникатора или компьютера;
- с помощью программы ICP-Master и компьютера или программных средств АСУТП.

Датчики имеют встроенный фильтр радиопомех, внешнюю кнопку установки «нуля» и обладают свойством непрерывной самодиагностики.

Измеряемые среды: жидкости, пар, газ, в т.ч. газообразный кислород и кислородосодержащие газовые смеси; пищевые продукты.

Диапазоны измеряемых давлений: минимальный – 0-0,04 кПа; максимальный – 0-100 МПа.

Основная погрешность измерений до $\pm 0,1\%$ от диапазона.

Диапазон перенастроек пределов измерений до 25:1.

Внешний вид датчиков серии «Метран-100(150)» приведен на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид некоторых моделей датчиков серии «Метран-100(150)»

Датчики предназначены для работы с вторичной регистрирующей и показывающей аппаратурой, системами управления, воспринимающими стандартные сигналы постоянного тока 0-5 или 4-20 мА или цифрового сигнала на базе HART- протокола.

Датчики «Метран-100»

Принцип действия датчиков «Метран-100» основан на использовании пьезорезистивного эффекта в гетероэпитаксиальной пленке кремния, выращенной на поверхности монокристаллической пластины из искусственного сапфира. Чувствительный элемент с монокристаллической структурой кремния на сапфире является основой всех сенсорных блоков датчиков семейства «Метран».

При деформации чувствительного элемента под воздействием входной измеряемой величины (например, давления или разности давлений) изменяется электрическое сопротивление кремниевых тензорезисторов мостовой схемы на поверхности этого чувствительного элемента.

Электронное устройство датчика преобразует электрический сигнал от тензопреобразователя в стандартный аналоговый сигнал постоянного тока и/или в цифровой сигнал в стандарте протокола HART, или цифровой сигнал на базе интерфейса RS485.

В памяти сенсорного блока (АЦП) хранятся в цифровом формате результаты калибровки сенсора во всем рабочем диапазоне давлений и температур. Эти данные используются микропроцессором для расчета коэффициентов коррекции выходного сигнала при работе датчика.

Цифровой сигнал с платы АЦП сенсорного блока вместе с коэффициентами коррекции поступает на вход электронного преобразователя, микроконтроллер которого производит коррекцию и линейризацию характеристики сенсорного блока, вычисляет скорректированное значение выходного сигнала датчика и далее:

- для датчиков с кодами МП, МП1, МП2, МП3 передает его в цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), который преобразует его в аналоговый выходной сигнал или цифровой в стандарте HART (коды МП2, МП3);
- для датчиков с кодами МП4, МП5 при помощи драйвера RS485 по запросу выдает значения давления (в заданном формате) в цифровую линию связи.

Для лучшего обзора жидкокристаллического индикатора (ЖКИ) и для удобного доступа к двум отделениям электронного преобразователя последний может быть повернут относительно измерительного блока от установленного положения на угол не более 90° против часовой стрелки.

Датчики «Метран-150»

Датчик «Метран-150» состоит из сенсора и электронного преобразователя.

Сенсор состоит из измерительного блока и платы аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Давление подается в камеру измерительного блока, преобразуется в деформацию чувствительного элемента и изменение электрического сигнала.

Электронный преобразователь преобразует электрический сигнал в соответствующий выходной сигнал.

Схема датчиков моделей 150CD, 150CG представлена на рис. 3.

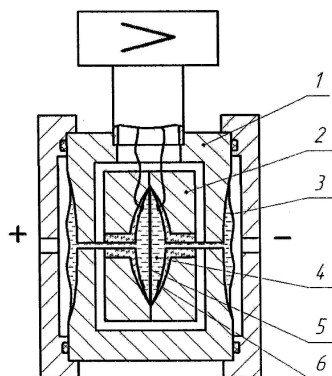


Рис. 3. Схема датчиков «Метран-150» моделей 150CD, 150CG

Измерительный блок датчиков моделей 150CD, 150CG состоит из корпуса 1 и емкостной измерительной ячейки 2. Емкостная ячейка изолирована механически, электрически и термически от технологической измеряемой среды и окружающей среды.

Измеряемое давление передается через разделительные мембраны 3 и разделительную жидкость 4 к измерительной мембране 5, расположенной в центре емкостной ячейки.

Воздействие давления вызывает изменение положения измерительной мембраны. Изменение положения мембраны приводит к появлению разности емкостей между измерительной мембраной и пластинами конденсатора 6, расположенным по обеим сторонам от измерительной мембраны.

Разность емкостей измеряется АЦП и преобразуется электронным преобразователем в соответствующий выходной сигнал.

Схема датчиков моделей 150TG, 150TA представлена на рис. 4.

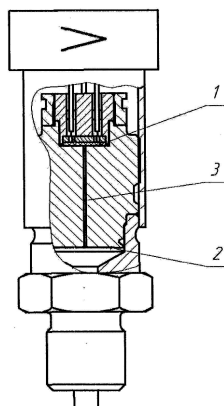


Рис. 4. Схема датчиков «Метран-150» моделей 150TG, 150TA

В измерительных блоках моделей 150TG, 150ТА используется тензорезистивный тензомодуль на кремниевой подложке. Чувствительным элементом тензомодуля является пластина 1 из кремния с пленочными тензорезисторами (структура КНК).

Давление через разделительную мембрану 2 и разделительную жидкость 3 передается на чувствительный элемент тензомодуля. Воздействие давления преобразуется в деформацию чувствительного элемента, вызывая при этом изменение электрического сопротивления его тензорезисторов и разбаланс мостовой схемы. Электрический сигнал, образующийся при разбалансе мостовой схемы, измеряется АЦП и подается в электронный преобразователь.

Электронный преобразователь преобразует это изменение в соответствующий выходной сигнал.

В модели 150ТА полость над чувствительным элементом вакуумирована и герметизирована.

Описание установки

Схема установки для проведения лабораторной работы приведена на рис. 5. Установка состоит из преобразователя серии «Метран-22», вторичного прибора ДИСК 250, U-образного манометра и сильфона, с помощью которого создается необходимое давление.

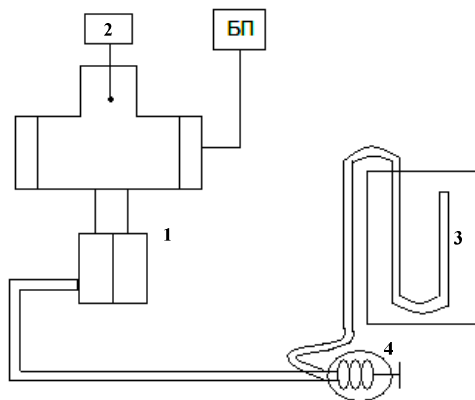


Рис. 5. Схема установки: 1 – преобразователь давления «Метран-22»; 2 – вторичный прибор «Диск-250»; 3 – U-образный манометр; 4 – сильфон; БП – блок питания

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с принципом действия и устройством преобразователей серии «Метран-22» и «Метран-100(150)».
2. Включить установку, вторичный прибор «Диск 250». Время прогрева 5 мин.

3. Создавая давление в системе сильфоном, подвести стрелку прибора «Диск-250» к первой оцифрованной отметке и записать показания преобразователя «Метран-22». Затем повторить для каждой оцифрованной отметки при прямом и обратном ходе прибора.
4. Полученные данные занести в протокол поверки.

ПРОТОКОЛ ПОВЕРКИ

Дата _____ поверки измерительного преобразователя
типа «Метран-22 ДИ», № _____

Пределы измерения от 0 до 16 кПа. Класс точности 0,5.

Поверка производилась по _____.

Поверя- емая точка P , Па·10 ³	Показания «Метран-22ДИ»		Погрешность			
	Прямой ход $P_{пр}$, Па	Обратный ход $P_{обр}$, Па	Прямой ход		Обратный ход	
			Абсолют- ная, Па $a = P_{пр} - P$	Приведен- ная, % $\delta = \frac{ a \cdot 100\%}{P_k - P_n}$	Абсолютная, Па $a = P_{обр} - P$	Приведен- ная, % $\delta = \frac{ a \cdot 100\%}{P_k - P_n}$
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Содержание отчета

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Краткое описание датчиков «Метран-22» и «Метран-100(150)». Устройство и принцип действия.
4. Результаты работы в виде протокола поверки.
5. Выводы по протоколу поверки. Оценка погрешности комплекта для измерения давления.

Контрольные вопросы

1. Тензометрический метод измерения давления.
2. Как соединяется преобразователь давления со вторичным прибором?
3. Принцип действия преобразователя серии «Метран».
4. Характеристик и устройство датчиков «Метран-22», «Метран-100» и «Метран-150».

Лабораторная работа № 9 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Цель работы

1. Изучить статический и динамический режимы работы САР.
2. Изучить методику экспериментального определения характеристик на физической и имитационной моделях объекта управления.
3. Приобрести навыки расчета динамических параметров объекта управления по полученной характеристике.

Общие положения

Общие сведения о статических характеристиках объектов управления

Автоматизация процессов металлургического производства осуществляется с помощью разнообразных технических средств, объединенных в системы управления.

Основным элементом системы является *объект*, в котором протекает управляемый процесс. Объектами управления (ОУ) могут быть как отдельные параметры, так и весь технологический процесс: металлургические агрегаты или цехи, отдельные предприятия или целые отрасли промышленности.

Создание условий, обеспечивающих требуемое направление протекания процесса, на основании анализа поступающей с объекта информации, называется управлением.

Процесс управления состоит из следующих этапов:

- получение информации о задачах и целях управления;
- получение информации о текущем состоянии и поведении ОУ в переходном режиме;
- проведение анализа полученной информации, принятие решения на управление;
- реализация принятого решения, контроль прохождения управляющего воздействия на объект и анализ качества управления.

Для обеспечения эффективного управления очень важно иметь информацию о характерных особенностях ОУ, которую получают при помощи анализа статических и динамических характеристик объекта.

Зависимость выходной (регулируемой) величины Y от входной (регулирующее воздействие) X в установившемся режиме называется *статической характеристикой объекта*.

Установившимся режимом называется такое состояние ОУ или системы, при котором все переходные процессы закончены.

В качестве входной величины X обычно используется положение регулирующего органа или процент хода перемещения вала ИМ системы регулирования. Статическая характеристика позволяет определить границы управляемости объекта, т.е. в каких пределах $Y_{min} - Y_{max}$ может изменяться регулируемый параметр при изменении X от X_{min} до X_{max} , где минимальное и максимальное значения входного параметра ограничены концевыми выключателями ИМ.

Примерный вид статических характеристик представлен на рис. 1.

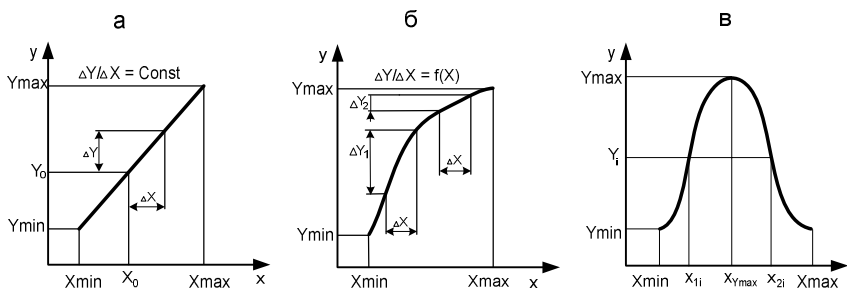


Рис. 1. Виды статических характеристик

Статические характеристики могут быть линейными (рис. 1, а), нелинейными (рис. 1, б) и экстремальными (рис. 1, в).

По статической характеристике можно определить один из важнейших параметров объекта управления – коэффициент передачи K_{OB} .

$$K_{OB} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}. \quad (1)$$

Коэффициент передачи K_{OB} равен отношению приращения выходной величины ΔY к приращению входной ΔX .

Объект считается **линейным**, если коэффициент передачи K_{OB} является постоянной величиной на всем диапазоне изменения входной величины. Линейную зависимость можно выразить следующим уравнением:

$$Y = Y_0 + K_{OB} \cdot X \quad \text{или} \quad Y = K_{OB} \cdot \Delta X, \quad (2)$$

где Y_0 – значение параметра Y при начальном значении $X = X_0$.

Линейными объектами управлять значительно проще, т.к. несложно прогнозировать выходное значение Y при изменении входного параметра X .

Объект считается **нелинейным**, если коэффициент передачи является переменной величиной, зависящей от входного параметра $K_{OB} = f(X)$.

Экстремальные статические характеристики можно отнести к существенно нелинейным характеристикам, коэффициент передачи которых

меняет знак при переходе статической характеристики через минимум или максимум. Одному значению Y_i соответствует два значения X_{i1} и X_{i2} . В качестве примера нелинейной экстремальной характеристики можно привести характеристику процесса горения топлива в рабочем пространстве методической печи (рис. 2).

Общие сведения о динамических характеристиках

Состояние и поведение управления в неустойчивых переходных режимах определяются их динамическими свойствами. Динамические свойства ОУ могут быть определены линейными дифференциальными уравнениями, выражающими функциональную связь между входными и выходными величинами во времени.

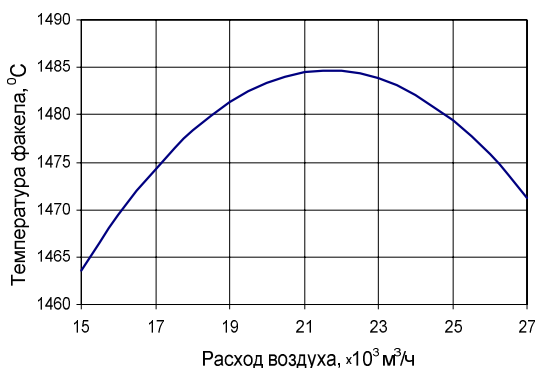


Рис. 2. Статическая характеристика процесса горения топлива в рабочем пространстве нагревательной печи

Исходными данными для составления дифференциальных уравнений являются математические выражения физических законов, определяющих неустойчивый процесс в ОУ или другом элементе системы.

Определение динамических характеристик объектов с помощью дифференциальных уравнений может быть выполнено только для сравнительно простых объектов.

В общем виде зависимость выходной величины от входной в неустойчивом режиме выражается линейным дифференциальным уравнением вида

$$\begin{aligned}
 a_n \frac{d^n Y_{\text{вых}}}{d\tau^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} Y_{\text{вых}}}{d\tau^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dY_{\text{вых}}}{d\tau} + a_0 &= \\
 = b_m \frac{d^m X_{\text{вх}}}{d\tau^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} X_{\text{вх}}}{d\tau^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dX_{\text{вх}}}{d\tau} + b_0 &
 \end{aligned} \tag{3}$$

где $a_0, \dots, a_n, b_0, \dots, b_m$ – постоянные коэффициенты; $n, n-1, \dots$ и $m, m-1, \dots, 1$ – порядок производных.

В теории автоматического управления для записи и решения дифференциальных уравнений используется операторный метод, который при нулевых начальных условиях позволяет значительно упростить запись и решение дифференциальных уравнений. Уравнение (3) в операторной форме будет иметь вид

$$\begin{aligned} & (a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0) \cdot Y_{\text{вых}}(p) = \\ & = (b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0) \cdot X_{\text{вх}}(p), \end{aligned} \quad (4)$$

где $Y_{\text{вых}}(p), X_{\text{вх}}(p)$ – изображение по Лапласу выходного и входного параметров.

Операторная форма записи уравнения (4) позволяет получить очень важную динамическую характеристику ОУ – передаточную функцию $W(p)$. Выражение, стоящее в скобках перед $Y_{\text{вых}}(p)$, называется собственным оператором. Выражение, стоящее в скобках перед $X_{\text{вх}}(p)$, называется оператором воздействия.

Передаточной функцией объекта называется отношение оператора воздействия к собственному оператору:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0}. \quad (5)$$

Передаточная функция объекта $W(p)$ является записью дифференциального уравнения (3) в операторной форме и широко используется как основная динамическая характеристика объекта или другого элемента системы.

Наглядное представление о характере переходного процесса в объекте дает **кривая разгона**, которая представляет собой траекторию изменения выходного параметра во времени при однократном скачкообразном возмущении на входе.

По виду кривых разгона практически все объекты управления можно разделить на три вида:

- объекты с самовыравниванием (рис. 3, а);
- объекты без самовыравнивания (рис. 3, б);
- объекты с запаздыванием с самовыравниванием и без самовыравнивания (рис. 3, в).

Большинство объектов металлургического производства относится к первой группе. Изменение выходной величины после скачкообразного входного возмущающего воздействия происходит с постоянно уменьшающейся скоростью до момента достижения нового установившегося значения (см. рис. 3, а).

Свойство объекта восстанавливать нарушенное равновесие называется **самовыравниванием**.

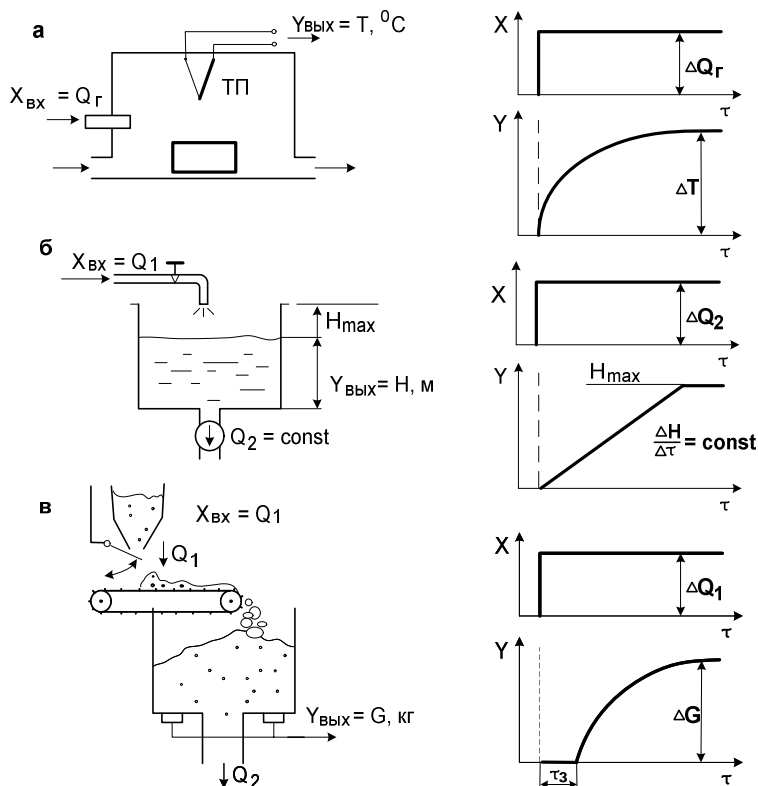


Рис. 3. Объекты различного вида и траектории кривых разгона, соответствующих каждому типу объектов

В объектах **без самовыравнивания** изменение выходной величины происходит с постоянной скоростью и беспредельно (до возникновения аварийных ситуаций) (см. рис. 3, б).

В объектах **с запаздыванием** регулируемая величина начинает изменяться не одновременно с изменением входной величины, как в предыдущих случаях, а через некоторое время τ_3 , называемое временем запаздывания. Для рис. 3, в: $\tau_3 = L/V_L$, где V_L – скорость движения на транспортном участке L .

Реальные кривые разгона (рис. 4), полученные на промышленных объектах, отличаются от рассмотренных выше и имеют S-образный вид

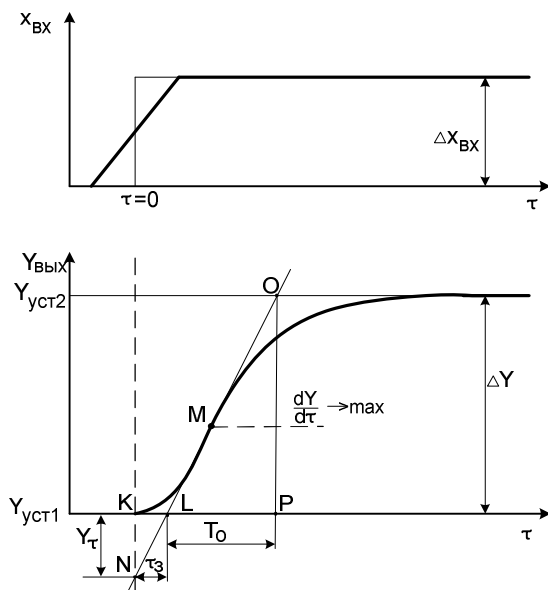


Рис. 4. Реальная кривая разгона

Для количественной оценки динамических свойств объектов используются следующие параметры:

- τ_3 – **время запаздывания** – отрезок времени от начала возмущения $\tau = 0$ до момента начала изменения выходной величины с постоянной максимальной скоростью или до момента пересечения касательной к $Y=f(\tau)$ в точке максимальной скорости $[dY/d\tau]_{\max}$ с осью времени;
- T_0 – **время разгона (постоянная времени)** – время, в течение которого выходная величина переходит из одного установившегося состояния $Y_{уст1}$ в другое $Y_{уст2}$ при условии изменения этой величины с постоянной максимальной скоростью $[dY/d\tau]_{\max}$. Время разгона характеризует инерционные свойства объекта.

- $K_{об}$ – **коэффициент передачи объекта** – число единиц измерения выходной величины, приходящихся на единицу входной величины.

Иногда, особенно для теплоэнергетических объектов, вместо постоянной времени T_0 используют параметр ε – **скорость разгона**, а вместо коэффициента передачи $K_{об}$ используют **коэффициент самовыравнивания** ρ

$$\varepsilon = \frac{Y_{\tau}}{\tau_3 \cdot \Delta X}; \quad (6)$$

$$\rho = \frac{\Delta X}{\Delta Y}, \quad (7)$$

где ΔX , ΔY , Y_τ определены графически на рис. 4.

Соотношение между ρ и K_{OB} следующее:

$$\rho = \frac{1}{K_{OB}}. \quad (8)$$

Соотношение между ε и T_O можно вывести из подобия треугольников ΔKLN и ΔPLO (см. рис. 4):

$$\frac{\tau_3}{T_O} = \frac{Y_\tau}{\Delta Y} \Rightarrow Y_\tau = \frac{\tau_3 \cdot \Delta Y}{T_O}.$$

Подставив получившееся выражение в формулу (6), получим:

$$\varepsilon = \frac{\Delta Y}{\Delta X \cdot T_O} = \frac{K_{OB}}{T_O} \quad (9)$$

В теории автоматического управления вместо кривой разгона используется переходная функция, представляющая собой траекторию изменения выходной величины во времени, вызванном единичным входным ступенчатым воздействием $\Delta X = 1$ при условии, что до момента приложения этого воздействия система находится в покое.

В большинстве случаев динамические свойства объектов с самовыравниванием можно представить последовательным соединением двух инерционных звеньев первого порядка с постоянными времени T_1 и T_2 . Структурная схема такого соединения показана на рис. 5.

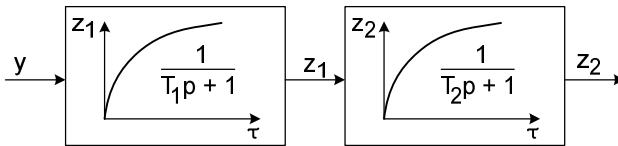


Рис. 5. Структурная схема представления динамических свойств ОУ с самовыравниванием

Передаточная функция последовательного соединения двух инерционных звеньев первого порядка имеет вид

$$W(p) = \frac{1}{(T_1 \cdot p + 1)(T_2 \cdot p + 1)}. \quad (10)$$

Описание установки

Для экспериментального определения статической и динамической характеристик объекта управления на физической модели (стенде) необходимо заранее узнать у преподавателя номер стенда для проведения эксперимента и получить инструкцию с его описанием.

Для выполнения всего цикла работ и изучения процессов, происходящих в промышленной САУ технологическим параметром, используется компьютерная имитационная программа «САУ», которая моделирует работу реального промышленного контура регулирования.

Для экспериментального определения статической и динамической характеристик объекта управления на имитационной модели – изучить работу следующей программы.

Программа имитации располагается в исполняемом файле CAU.EXE и запускается автоматически после включения ПЭВМ, расположенной в лаборатории. Общий вид окна программы представлен на рис. 6.

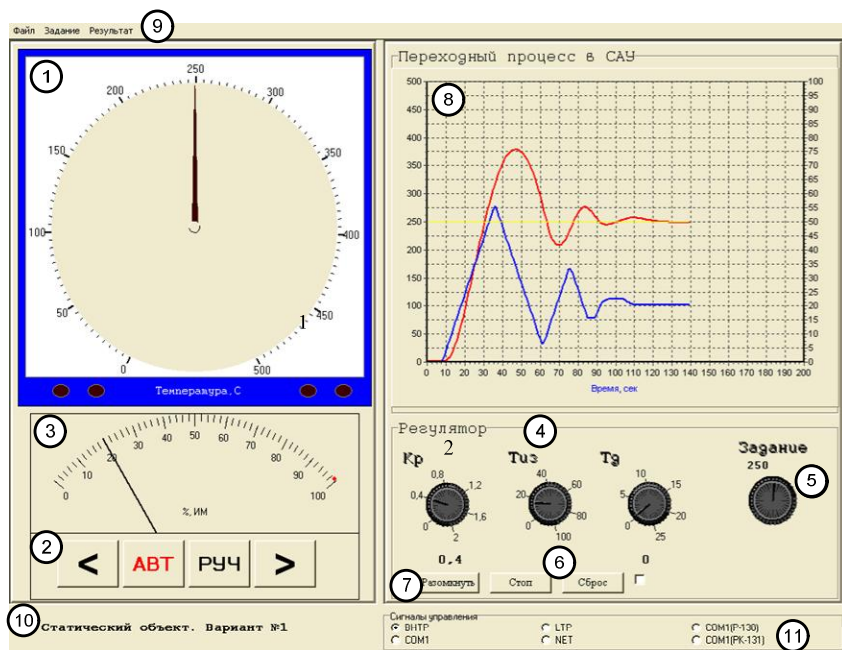


Рис. 6. Общий вид окна программы имитации промышленной САУ технологическим параметром

Окно программы включает следующие элементы имитируемой системы:

- 1 – измерительный прибор;
- 2 – блок ручного управления исполнительным механизмом (ИМ);

- 3 – дистанционный указатель положения вала ИМ;
- 4 – органы настройки регулятора;
- 5 – ручной задатчик;
- 6 – кнопки управления ходом процесса регулирования в имитируемой САУ;
- 7 – кнопка размыкания контура;
- 8 – поле отображения процессов в САУ;
- 9 – меню команд управления программой;
- 10 – отображение номера варианта;
- 11 – переключатели между локальным внутренним регулятором и внешним регулирующим устройством.

Показывающий измерительный прибор отображает текущее значение сигнала с выхода имитируемого объекта управления (ОУ) в единицах измерения контролируемого параметра.

Блок ручного управления позволяет выбрать режим управления контуром «автоматический» – «ручной» и изменять положение вала ИМ в ручном режиме управления. Также блок сигнализирует о наличии сигналов «больше» и «меньше», поступающих на ИМ, как в ручном, так и в автоматическом режиме управления. Сигнализация наличия управляющих импульсов и вида режима управления осуществляется красным цветом.

Дистанционный указатель положения показывает текущее положение вала исполнительного механизма в процентах хода.

Органы настройки регулятора позволяют установить параметры настройки ПИД-регулятора: коэффициент передачи регулятора КР; время изодома ТИЗ и время предварения ТП. Изменение параметра настройки осуществляется с помощью манипулятора «мышь». Для изменения параметра необходимо подвести к соответствующей ручке параметра настройки указатель, нажать на левую кнопку манипулятора и переместить указатель по вертикали. Движение указателя по вертикали вверх увеличивает значение параметра настройки, вниз – уменьшает.

С помощью ручного задатчика в систему управления задается текущее значение задания контура. Изменение задания контура осуществляется по такому же принципу, как и изменение настроек регулятора.

Кнопки управления ходом процесса позволяют останавливать и запускать после остановки процесс в САУ или производить сброс всех внутренних сигналов в системе (текущее время, накопленное значение в интегральной части регулятора, входной и выходной сигналы объекта управления и т.д.) и приведение системы в исходное состояние.

Кнопка размыкания контура САУ позволяет разомкнуть связь между исполнительным механизмом и регулирующим органом. Кроме того, сигнал размыкания контура останавливает («замораживает») в звене моделирования динамических свойств ОУ все переходные процессы.

В поле отображения процессов в САУ в графическом виде показывается изменение выхода ОУ (красная линия), положение вала ИМ (синяя

линия) и задание контура (желтая линия) во времени. По оси абсцисс указывается текущее время в секундах в системе. По левой оси ординат – выходной сигнал ОУ, по правой – положение вала ИМ.

Меню программы служит для выбора варианта, открытия окна описания контура и порядка выполнения работы, сохранения результата работы, пуска и останова процесса в системе.

Структурная схема имитируемого контура имеет вид, показанный на рис. 7. Алгоритмы, заложенные в основу функционирования САУ, моделируют работу следующих звеньев системы управления:

1. Статическая характеристика ОУ.
2. Динамические свойства ОУ.
3. Интегрирующее звено ИМ с блоком конечных выключателей (КВ), ограничивающих выходную величину интегрирующего звена и хода регулирующего органа (РО).
4. ПИД-регулятор с возможностью оперативного изменения параметров настройки.
5. Релейный элемент, формирующий сигналы σ_1 на ИМ.
6. Элементы сравнения: ЭС1 для формирования сигнала рассогласования контура $\varepsilon(\tau)$ и ЭС2 для формирования входного сигнала $u'(\tau)$ релейного элемента.
7. Блок переключения режимов управления «ручной» – «автоматический».
8. Блок формирования сигнала σ_2 для управления ИМ в ручном режиме.

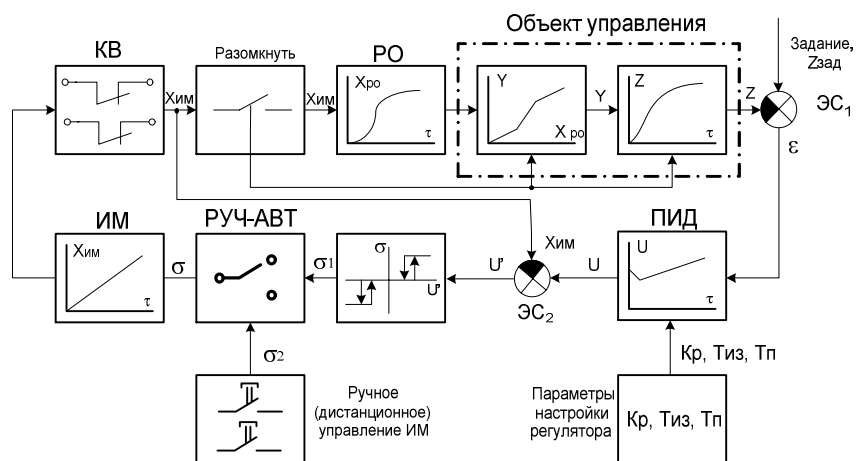


Рис. 7. Структурная схема имитируемого контура САУ

Кроме формирования контура локального управления, в программе предусмотрена возможность переключения между внутренним локаль-

ным регулятором (ВНТР) и внешним регулятором, сигналы которого поступают в систему имитации по одному из возможных интерфейсов связи: последовательному интерфейсу («COM»), параллельному интерфейсу («LTP»), сетевому каналу («NET»).

Протоколы объекта по каждому интерфейсу приведены в окне описания работы с программой и в отдельной инструкции.

Используя эти внешние интерфейсы связи с внешними регуляторами, программу имитационного моделирования можно использовать для изучения переходных процессов в САУ с другими типами регуляторов, формируемых аппаратными средствами (например, РП25) или программно в микропроцессорных контроллерах либо ПЭВМ. Данные виды работ выходят за объем настоящего курса и проводятся в работах по другим дисциплинам или при самостоятельной работе.

Порядок выполнения работы

Определение статической характеристики

1. Подготовить рабочий журнал наблюдений в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Экспериментальные данные

№ п/п	X, % хода ИМ	Y, единицы регулируемой величины	ΔY , единицы регулируемой величины	$K_{об} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$	$\bar{Y}(X_i)$	$\bar{K}_{об}$
1	0	..	—	—		
2	10	..	..			
..	..	..	..			
..	..	..	..			
..	100	..	..			

2. Включить ПЭВМ и дождаться загрузки программы имитации «САУ».
3. Из меню «Файл» выбрать команду «Открыть вариант» и выбрать номер заданного варианта. Подтвердить выбор нажатием кнопки «Выбрать».
4. С помощью блока ручного управления (см. рис. 6) установить ручной режим управления.
5. Кнопками больше «>» и меньше «<» установить значение входного параметра на отметку 0% хода ИМ. Установку осуществить по указателю положения вала ИМ. Дождаться достижения выходной величины установившегося значения.
6. Зафиксировать в журнале наблюдений значение X и Y.
7. При помощи кнопок «>» и «<» установить положение вала ИМ на 10% хода; дождаться перехода Y в новое установившееся значение по шкале вторичного прибора и занести данные в журнал наблюдений.

8. Повторить п. 2, 7 для 20, 30, ..., 100% угла поворота вала ИМ.
 9. На основе полученных данных построить график статической характеристики ОУ в координатах «% хода вала ИМ X – единицы регулируемого параметра Y ».
- Примерный график статической характеристики приведен на рис. 8.

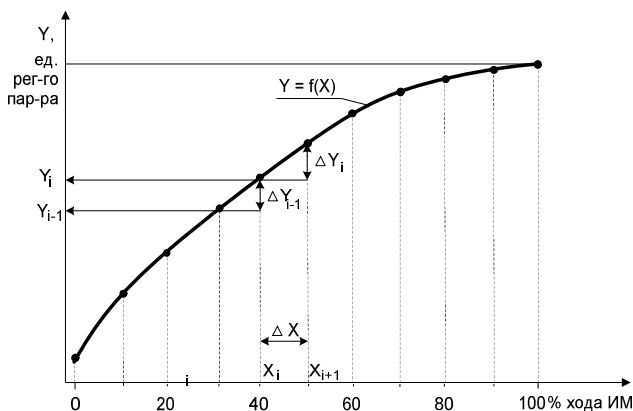


Рис. 8. Статическая характеристика объекта управления

10. Определить величину приращения выходного (регулируемого) параметра ΔY_i и занести в журнал наблюдений:

$$\Delta Y_i = Y(X_i) - Y(X_{i-1}). \quad (11)$$

11. Для каждого опыта определить величины значений коэффициентов передачи объекта и занести в журнал полученные результаты.
12. Построить график зависимости $K_{OB} = f(x)$ следующим образом:
 - на оси X нанести отрезки, равные ΔX ;
 - из середины каждого отрезка провести линии параллельно оси Y и отложить на них значения K_{OB} , для каждого отрезка ΔX ;
 - соединить полученные точки плавной линией, что и будет графиком функции $K_{OB} = f(x)$.

Примерный график зависимости приведен на рис. 9.

13. Сделать выводы о типе полученной статической характеристике ОУ.
14. Подготовить рабочий журнал наблюдений (табл. 2).

Таблица 2

Экспериментальные данные

Время, с	X , % хода	Y , единицы регулируемой величины
0	ХН	...
...		...
...	ХК	...

15. Включить ПЭВМ и дождаться загрузки программы имитации «САУ», выбрать номер заданного варианта.
16. С помощью блока ручного управления (см. рис. 6) установить ручной режим управления.
17. Кнопками больше «>» и меньше «<» установить положение вала ИМ на середину линейного участка статической характеристики ОУ или на 40-50% хода вала ИМ и дождаться достижения выходной величины установившегося значения.

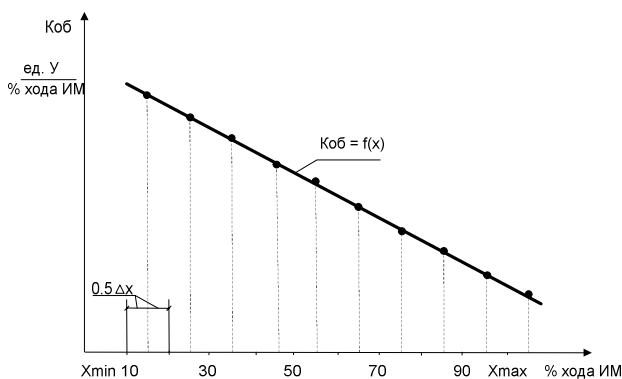


Рис. 9. График зависимости $K_{OB} = f(x)$

Определение динамической характеристики

18. Изменить положение вала ИМ на 15-20% хода. Зафиксировать в журнале время хода ИМ из начального состояния X_H в конечное X_K и величину возмущения $\Delta X = X_K - X_H$.
19. С момента изменения положения вала ИМ фиксировать по шкале вторичного прибора изменение во времени выходного параметра через каждые 3-7 с, занося данные в журнал наблюдений.
20. Используя полученные значения, построить график траектории кривой разгона объекта. Примерный вид кривой разгона показан на рис. 4.
21. Графическим методом определить динамические параметры объекта: τ , T_O , K_{OB} , ρ , ε .

Содержание отчета

1. Назначение статической характеристики, виды характеристик.
2. Таблица рабочего журнала наблюдений.
3. График статической характеристики ОУ.
4. График функции K_{OB} , полученный экспериментальным и расчетным путем.
5. Определения передаточной функции, кривой разгона. Виды кривых разгона.

6. Динамические параметры объекта, формулы для их расчета.
7. Таблица рабочего журнала и расчет динамических параметров технологического объекта.
8. График экспериментальной кривой разгона.
9. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Статическая характеристика ОУ. Виды статических характеристик.
2. Коэффициент передачи объекта. Метод определения.
3. Что такое передаточная функция объекта?
4. Как подразделяются ОУ по виду кривых разгона?
5. Какие количественные оценки динамических свойств объекта вы знаете? Приведите формулы.

Лабораторная работа № 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Цель работы

Экспериментальное определение показателей качества переходного процесса в САУ технологического параметра.

Общие положения

В наши дни наибольшее распространение получили одноконтурные следящие системы регулирования. Структурная схема такой системы представлена на рис. 1.

На САУ воздействуют два вида возмущающих воздействий:

- задающее воздействие X_3 ;
- внутреннее f и внешнее F возмущающие воздействия.

В связи с этим система управления должна удовлетворять следующим требованиям:

- с максимальной точностью и быстродействием обрабатывать сигнал задания: $X_d(\tau) = X_3(\tau)$;
- по возможности быстро реагировать на возмущения $f(\tau)$ и $F(\tau)$, т.е. ошибка $\varepsilon(\tau) = X_3 - X_d$ под действием возмущений должна быть минимальной.

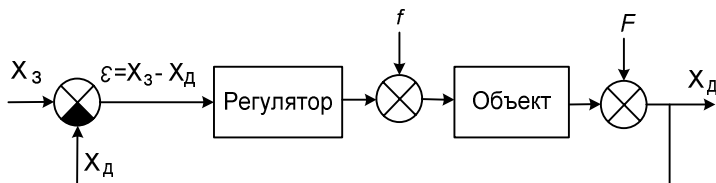


Рис. 1. Структурная схема САУ

Качество работы САУ является одной из важнейших её характеристик. Для оценки уровня качества работы системы в ТАУ введены количественные оценки качества.

Получить общую оценку качества в виде функциональной зависимости от множества структурных, технических и эксплуатационных характеристик системы достаточно сложно. Поэтому о качестве САУ судят в первую очередь по устойчивости статической и динамической точности.

Устойчивость САУ, т.е. затухание переходных процессов в системе, является необходимым, но недостаточным условием практической пригодности этой системы.

Существенное значение для реальных промышленных условий имеет и сам характер протекания переходного процесса $Z(\tau)$ при регулировании; прежде всего его продолжительность и колебательность.

Показатели качества переходных процессов в САУ

По траектории переходных процессов в системе можно определить прямые показатели качества её работы: τ_{p1} , τ_{p2} , e , σ , Ψ (рис. 2).

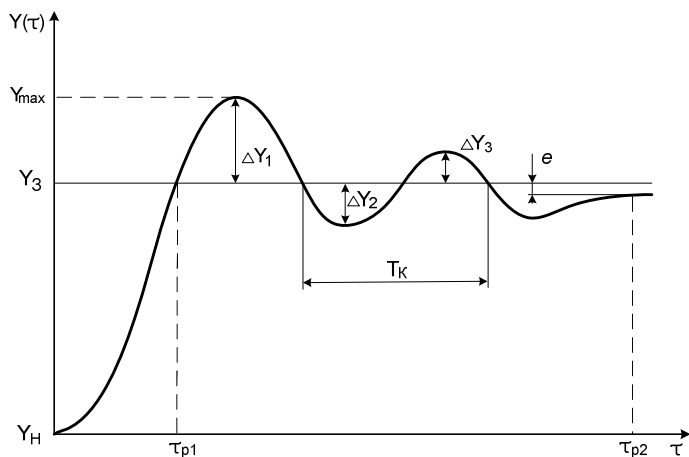


Рис. 2. Прямые показатели качества переходного процесса

Время первого достижения регулируемой величиной заданного значения τ_{p1} оценивает качество регулирования системы относительно задающего воздействия и определяется как интервал времени от начала переходного процесса до момента, когда регулируемая величина впервые достигнет заданного значения Y_3 .

Время переходного процесса или полное время регулирования τ_{p2} характеризует быстродействие системы. Определяется τ_{p2} как интервал времени от начала переходного процесса до момента, когда отклонение управляе-

мой величины от его нового установившегося значения становится меньше или равной допустимой ошибке регулирования $X_3 - Z(\tau) \leq \varepsilon^*$. Величину ε^* обычно принимают равной $\pm 2-5\%$ от диапазона возможного изменения Z .

Статическая ошибка регулирования $e = X_3 - Z(\tau)$ – отклонение регулируемой величины от заданного значения по окончании переходного процесса.

Динамическая ошибка регулирования – величина наибольшего отклонения регулируемого параметра от задания.

Перерегулирование σ – максимальное отклонение в переходный период $\Delta Z_{\max}$ от установившегося значения, выраженное в процентах от X_3 :

$$\sigma = \frac{Z_{\max} - X_3}{Y_3 - Y_H} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Переходные процессы в САР могут быть монотонными и колебательными. Особенностью колебательного процесса является наличие переходов через установившееся значение.

Колебательность переходного процесса обычно оценивается периодом T_K и числом колебаний, равным числу минимумов траектории переходного процесса в интервале времени $[0; \tau_{p2}]$, а также степенью затухания.

Степень затухания Ψ определяется как отношение разности двух соседних положительных амплитуд колебаний к первой из них:

$$\Psi = \frac{\Delta Y_1 - \Delta Y_3}{\Delta Y_1} = 1 - \frac{\Delta Y_3}{\Delta Y_1}. \quad (2)$$

Степень затухания колебаний в пределах 0,78-0,98 считается вполне удовлетворительной.

Задача определения параметров качества переходного процесса сводится к построению траектории и определению требуемых оценок. Траектория $Y(\tau)$ может быть получена путем решения неоднородного дифференциального уравнения, описывающего систему при заданных начальных условиях и воздействиях. Для систем, описываемых уравнениями выше третьего порядка, такой способ представляет значительные трудности, поэтому используются различные приближенные методы: метод Акульшина, метод трапеций и т.д. В промышленных САУ оценки показателей качества переходных процессов обычно определяют по экспериментальной траектории переходного процесса регулирования при возмущении по заданию.

Порядок выполнения работы

1. Включить ПЭВМ и дождаться загрузки программы имитации «САУ», выбрать номер заданного варианта.

2. С помощью блока ручного управления установить автоматический режим управления.
3. Установить заданное значение регулируемого параметра на середине рабочего интервала статической характеристики и дождаться окончания переходного процесса. Зафиксировать в журнале значение Y_H регулируемого параметра по шкале вторичного прибора и положение вала ИМ ХН по указателю положения вала.
4. Быстро изменить на 12-20% заданное значение регулируемого параметра до Y_3 .
5. С момента изменения задания фиксировать по шкале вторичного прибора изменение во времени выходного параметра $Y(\tau)$ и положение вала ИМ $X(\tau)$ через каждые 2-5 с, занося данные в журнал наблюдений. Измерения проводить до окончания переходного процесса или установления колебаний постоянной амплитуды.
6. Используя полученные значения, построить графики траекторий $Y(\tau)$ и $X(\tau)$. Примерный вид переходных процессов показан на рис. 3.

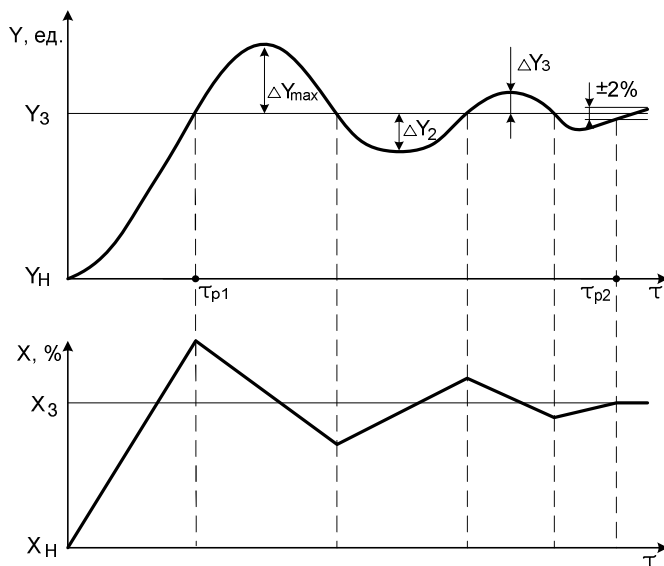


Рис. 3. Примерный вид графиков переходных процессов

7. По построенным графикам определить количественные оценки качества САУ: τ_{p1} , τ_{p2} , e , σ , Ψ .
8. Привести систему в начальное состояние $Y_H(X_H)$, для чего установить ручку задания в прежнее положение и дождаться окончания переходного процесса.
9. Перейти на ручной режим управления переключателем «Р».

10. Кнопками больше «>» и меньше «<», подавая управляющие команды на ИМ, постараться установить регулируемую величину на то же значение Y_3 , что и в автоматическом режиме. Повторить п. 5 и 6.
11. Определить параметры переходных процессов автоматического и ручного управления; сравнить их между собой.
12. Сделать вывод о качестве управления и эффективности работы САУ.

Содержание отчета

1. Структурная схема САУ.
2. Показатели качества.
3. Таблица рабочего журнала и расчет динамических параметров технологического объекта.
4. График экспериментальной кривой разгона.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Понятие качество применительно к САУ.
2. Структурная схема САУ вашего варианта.
3. Дайте определения прямым показателям качества.
4. Какие показатели применяют для оценки качества колебательных процессов?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате успешного выполнения и защиты лабораторных работ, включенных в данный практикум, студент будет:

- знать основные понятия и определения теории автоматического управления и технологической кибернетики, методы и функции управления технологическими процессами, устройство и принцип действия элементов автоматических систем регулирования, основные способы сбора, обработки и хранения информации о параметрах технологических процессов, организацию производственного контроля и управления технологическими процессами;
- уметь определять статические и динамические характеристики технологических объектов управления и процессов, оценивать качество работы систем управления;
- владеть навыками построения типовых схем систем управления технологическими процессами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Сергеев, А.И.** Технические измерения и приборы: лаб. практикум. Ч.1. [Текст] / А.И. Сергеев, И.Г. Корнилова, В.В. Гребенникова. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ». 2010. – 130 с.
2. **Иванова, Т.М.** Теплотехнические измерения и приборы [Текст] / Т.М. Иванова, Н.Д. Кузнецов, В.С. Чистяков. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 232 с.
3. **Блинов, О.М.** Теплотехнические измерения и приборы [Текст] / О.М. Блинов, А.М. Беленький, В.Ф. Бердышев. – М.: Metallurgy, 1993. – 288 с.
4. **Бобровников, Г.Н.** Методы измерения уровня [Текст] / Г.Н. Бобровников, А.Г. Катков. – М.: Машиностроение, 1997. – 168 с.
5. **ГОСТ 15983.** Уровнемеры и датчики промышленного применения ГСП. Общие технические требования [Текст].
6. **Преображенский, В.П.** Теплотехнические измерения и приборы [Текст] / В.П. Преображенский. – М.: Энергия, 1998. – 704 с.
7. **Дмитриенко, Л.П.** Приборы контроля и регулирования уровня сыпучих материалов [Текст] / Л.П. Дмитриенко. – М.: Энергия, 1978. – 96 с.
8. **Промышленные приборы и средства автоматизации:** справочник [Текст] / под общ. ред. В.В. Черенкова. – СПб.: Машиностроение, 1987.
9. **Датчики давления «Метран-22», «Метран-100», «Метран-150».** Технические инструкции [Текст].
10. **Глишков, Г.М.** Проектирование систем контроля и автоматического регулирования металлургических процессов [Текст] / Г.М. Глишков, В.А. Маковский, С.Л. Лотман и др. – М.: Metallurgy, 1986. – 352 с.
11. **Парсункин, Б.Н.** Определение динамических параметров объекта управления по экспериментальным характеристикам [Текст] / Б.Н. Парсункин, В.М. Дубинин, М.Ю. Рябчиков. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. – 91 с.: ил.
12. **Парсункин, Б.Н.** Оптимизация настройки и исследование переходных процессов в контурах систем автоматического регулирования [Текст] / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, Т.Г. Обухова. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. – 47 с.

Учебное издание

Елена Юрьевна МУХИНА
Елена Сергеевна РЯБЧИКОВА

Автоматизированные системы управления технологическими процессами

Практикум

Редактор Н.П. Боярова
Компьютерная верстка Г.Н. Лапиной

Подписано в печать 04.10.2012. Рег. № 37-12. Формат 60х84/16. Бумага тип. № 1.
Плоская печать. Усл.печ.л. 6,00. Тираж 100 экз. Заказ №622



Издательский центр ФГБОУ ВПО «МГТУ»
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Полиграфический участок ФГБОУ ВПО «МГТУ»

**Е.Ю. Мухина
Е.С. Рябчикова**

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ
СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ**

**Магнитогорск
2012**