

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра: «Промышленная теплоэнергетика и экология»

М. Н. Новиков, Е. Н. Макеева, О. Ю. Морозова

МЕТРОЛОГИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

практикум по одноименному курсу
для студентов специальности 1-43 01 05 «Промышленная
теплоэнергетика» дневной и заочной форм обучения

Гомель 2014

УДК 621.1
ББК

*Рекомендован к изданию научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 4 от 23.12.2014 г.)*

Рецензент: доцент кафедры «Электроснабжение» ГГТУ
им. П. О. Сухого, к. т. н., доц. Т.В. Алферова

Новиков, М. Н.

Метрология и стандартизация: практикум по одноименному курсу для студентов специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» дневной и заочной форм обучения / М. Н. Новиков, Е. Н. Макеева, О. Ю. Морозова. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2014, – 39 с.

Практикум предназначен для закрепления теоретических основ метрологии, методов измерений, порядка проведения измерений значений физических величин и правил обработки результатов измерений и охватывает следующие разделы: изучение устройства, правил работы и поверки приборов, применяемых для теплотехнических измерений; способы и методы измерений основных параметров (температуры, давления и др.) теплоэнергетического оборудования.

УДК

© Новиков М. Н., 2014
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П.О. Сухого, 2014

Лабораторная работа №1 ИЗУЧЕНИЕ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Цель работы: изучить принцип действия и устройство приборов для измерения температуры (спиртового термометра, термометра с биметаллическим чувствительным элементом, манометрического термометра); произвести измерение температуры с помощью данных приборов; определить погрешности измерений.

Краткие теоретические сведения

Для измерения температуры при контроле влажностно-тепловых процессов производства используют различные приборы – термометры. Эти приборы градуируются в градусах ($^{\circ}\text{C}$).

Для измерения температуры контактным методом используются следующие термометры:

- расширения, измеряющие температуру по тепловому расширению жидкостей (жидкостные) или твердых тел (дилатометрические, биметаллические);
- манометрические, использующие зависимость между температурой и давлением газа (газовые) или насыщенных паров жидкости (конденсационные), а также между температурой и объемом жидкости (жидкостные) в замкнутом пространстве термосистемы;
- термоэлектрические, действие которых основано на измерении термоэлектродвижущей силы (термо-э.д.с.), развиваемой термопарой (спаем) из двух разнородных проводников;
- сопротивления, использующие зависимость электрического сопротивления проводника от его температуры.

В данной лабораторной работе рассмотрим две первые группы приборов для измерения температуры.

Жидкостные стеклянные термометры расширения. Измерение температуры жидкостными стеклянными термометрами основано на различии коэффициентов объемного расширения жидкости и стеклянной оболочки термометра. Пределы измерения жидкостных стеклянных термометров – от -120°C до $+650^{\circ}\text{C}$. Для наполнения термометров используют различные термометрические жидкости: ртуть, этиловый спирт, керосин, пентан и др.

По конструктивному исполнению жидкостные стеклянные термометры выпускаются двух типов:

- термометры с вложенной шкалой, у которых шкальная пластина вставлена внутрь оболочки и жестко скреплена с капилляром (рис. 1.1а);

- термометры палочного типа, у которых шкала нанесена непосредственно на внешнюю поверхность толстостенного капилляра (рис. 1.1б).

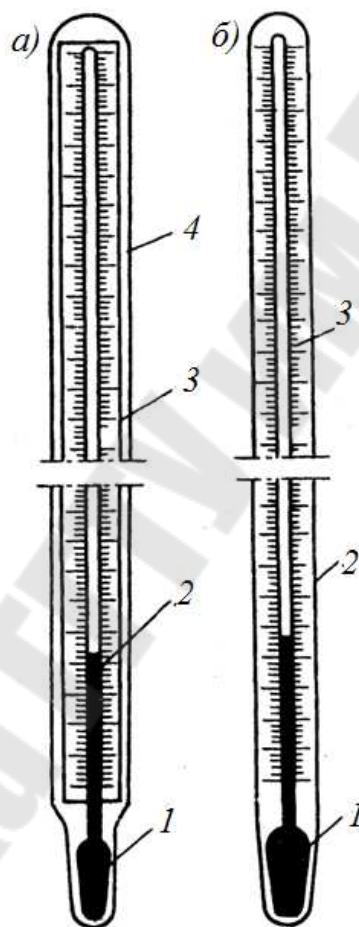


Рис. 1.1. Лабораторные ртутные термометры

а – с вложенной шкалой: 1 – стеклянный резервуар; 2 – капилляр; 3 – шкальная пластина; 4 – стеклянная оболочка;

б – палочный: 1 – резервуар; 2 – толстостенный капилляр; 3 – шкала на наружной поверхности капилляра

Дилатометрические и биметаллические термометры. (рис. 1.2) В дилатометрических и биметаллических термометрах в качестве рабочего тела используются твердые материалы (в основном металлы). Их принцип действия основан на изменении размеров твердого тела в за-

зависимости от изменения температуры в ограниченном температурном диапазоне, в котором сохраняется линейная зависимость удлинения рабочего тела от температуры.

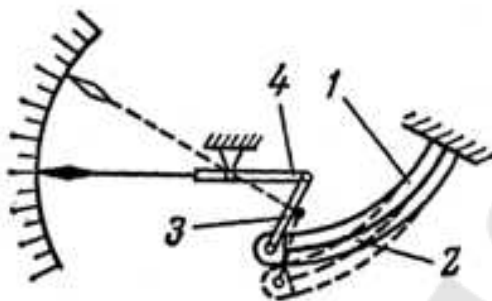


Рис. 1.2. Схема биметаллического термометра:
1, 2 – металлические полоски; 3 – тяга; 4 – рычаг

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

Манометрические термометры. (рис. 1.3) Действие манометрических термометров основано на изменении давления газа, пара или жидкости в замкнутом объеме при изменении температуры. Манометрический термометр состоит из термобаллона, гибкого капилляра и собственно манометра. В зависимости от заполнителя термосистемы манометрические термометры изготавливают трех видов: газовые (ТПГ, ТДГ) – с азотом; жидкостные (ТПЖ, ТДЖ) – с полиметилсилоксановыми жидкостями; конденсационные (парожидкостные) (ТПП) – с ацетоном, метилом, хлоридом фреона. Область измерения температур манометрическими термометрами колеблется в диапазоне от -60 до $+600^{\circ}\text{C}$.

Термобаллон манометрического термометра помещают в измеряемую среду. При нагреве термобаллона внутри замкнутого объема увеличивается давление, которое измеряется манометром. Шкала манометра градуируется в единицах температуры. Капилляр обычно представляет собой латунную трубку с внутренним диаметром в доли миллиметра. Это позволяет удалить манометр от места установки

термобаллона на расстояние до 40 м. Капилляр по всей длине защищен оболочкой из стальной ленты.

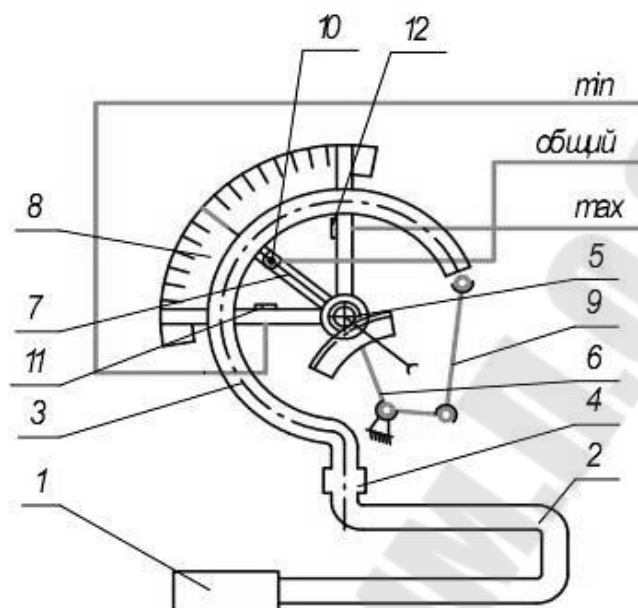


Рис.1.3. Схема устройства манометрического термометра:

- 1 – термобаллон; 2 – соединительный капилляр; 3 – манометрическая трубка (пружина); 4 – держатель; 5 – ось; 6 – сектор; 7 – стрелка; 8 – циферблат; 9 – тяга; 10 – ведущий поводок; 11 – контакт «минимум»; 12 – контакт «максимум»

Схема установки и порядок выполнения работы

Произвести измерение температуры в термокамере с помощью следующих приборов: спиртового термометра, биметаллического термометра ТБ-63 и манометрического термометра ТП-100Эк-М. Схема стенда изображена на *рис. 1.4*. Для этого:

1. С помощью измерителя-регулятора задаем определенное значение температуры, например, 20 °С.
2. Фиксируем показания спиртового, биметаллического и манометрического термометров.
3. Аналогичные измерения производим для температур 60 °С и 100 °С (либо для других значения, заданных преподавателем).
4. Определить погрешность измерения термометров.

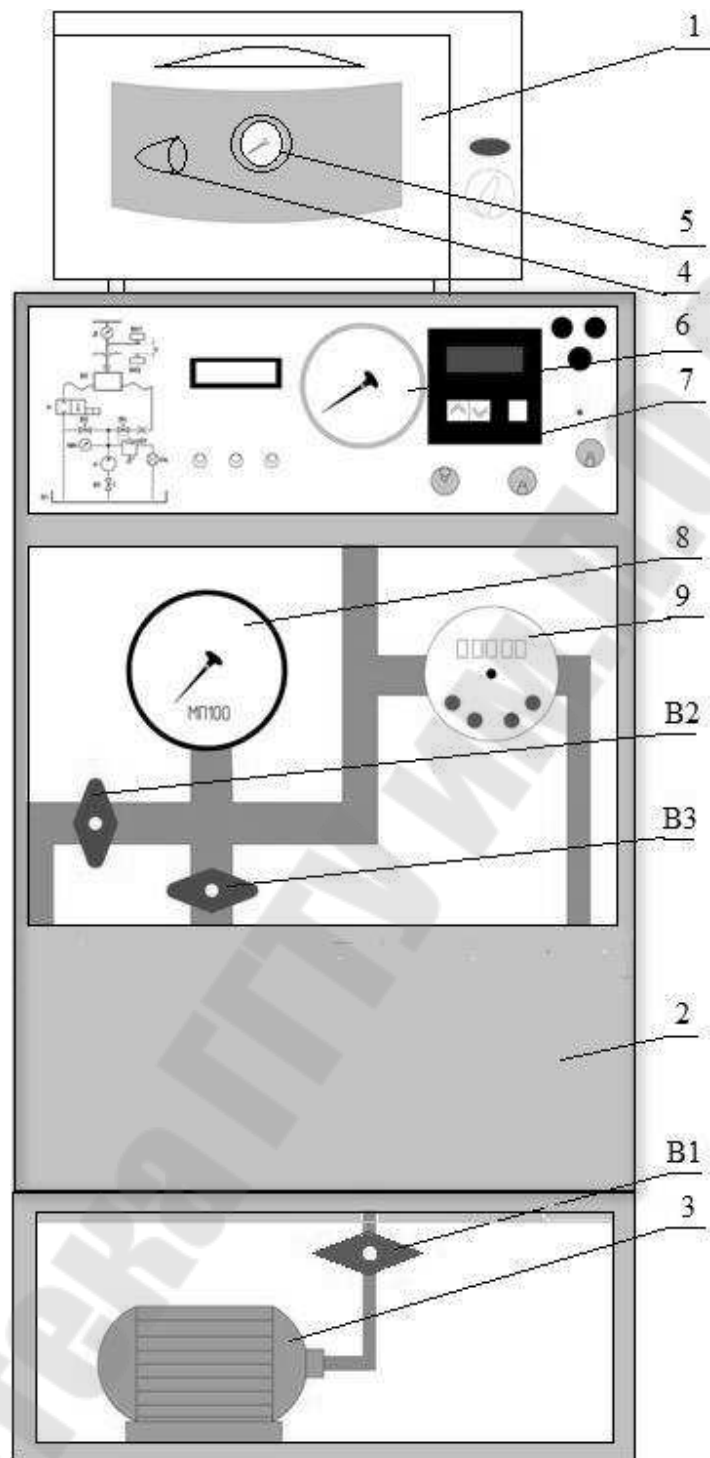


Рис. 1.4. Общий вид стенда

- 1 – термокамера; 2 – бак; 3 – насосная установка; 4 – спиртовой термометр; 5 – биметаллический термометр; 6 – манометрический термометр; 7 – измеритель-регулятор «ОВЕН»; 8 – манометр МП100; В1, В2, В3 – вентили

5. Измеренные и расчетные данные снести в таблицу:

Таблица 1.1

Результаты измерений и вычислений

Тип термометра	Диапазон измерений N	Класс точности	Действительная температура $t_d, ^\circ\text{C}$	Температура изучаемого термометра $t_T, ^\circ\text{C}$	Абсолютная погрешность $\Delta, ^\circ\text{C}$	Относительная погрешность $\delta, \%$

Контрольные вопросы

1. Классификация приборов, служащих для измерения температуры.
2. Принцип работы, конструкция и диапазон измерения жидкостных термометров.
3. Принцип работы, конструкция и диапазон измерения дилатометрических и биметаллических термометров.
4. Принцип работы, конструкция и диапазон измерения манометрических термометров.
5. Определение абсолютной и относительной погрешности измерений.

Лабораторная работа № 2
ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ, КОНСТРУКЦИИ И
СПОСОБОВ ПОВЕРКИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ТЕРМОМЕТРОВ

Цель работы: изучить принцип действия, типы и конструкции термоэлектрических преобразователей; произвести поверку хромель-копелевой термопары.

Краткие теоретические сведения

Термоэлектрический метод измерения температуры основан на строгой зависимости термоэлектродвижущей силы (термо-э.д.с.) термоэлектрического преобразователя от температуры.

Сущность метода состоит в том, что в замкнутой цепи, состоящей из n -го числа разнородных проводников с различной температурой мест их соединения (спаев), возникает термо-э.д.с. Существующее представление о механизме образования термо-э.д.с. основывается на том, что концентрация в межмолекулярном пространстве проводника свободных электронов, находящихся в единице объема, зависит от рода проводника и его температуры. При соприкосновении одинаково нагретых концов двух проводников из разнородных материалов, из которых в первом количество свободных электронов в единице объема больше, чем во втором, последние будут диффундировать из первого проводника во второй в большем числе, чем обратно. Таким образом, первый проводник станет заряжаться положительно, а второй – отрицательно. Образующееся при этом в месте соприкосновения (спае) проводников электрическое поле будет противодействовать этой диффузии, вследствие чего наступит состояние подвижного равновесия, при котором между свободными концами указанных проводников появится некоторая разность потенциалов (термо-э.д.с.).

По характеру термоэлектродных материалов термоэлектрические преобразователи подразделяются на две группы:

1. Термоэлектрические термометры с металлическими термоэлектродами из благородных и не благородных металлов;
2. Термоэлектрические термометры с термоэлектродами из тугоплавких соединений или соединений графита с другими материалами.

Платинородий-платиновые термоэлектрические термометры ТПП применяются для измерения температур в области 300 – 1600 °С в окислительной и нейтральной среде. Они находятся в числе лучших термоэлектрических термометров по точности и воспроизводимости термо-э.д.с. Положительным термоэлектродом являются платинородий (90 % Pt и 10 % Ro, отрицательным - чистая платина. В зависимости от назначения платинородий-платиновые термометры разделяются на эталонные (ТПП-Э), образцовые (ТПП-РПТ), рабочие повышенной точности (ТПП-РПТ) и технические (ТПП). Эталонные термометры служат для воспроизведения международной температурной шкалы в интервале от 630,74 до 1064,43°С. Образцовые термометры служат для поверки рабочих повышенной точности и технических в диапазоне температур от 300 до 1800°С.

Платинородий-платинородиевые термометры ТПР за последнее время получили распространение для измерения высоких температур до 1800°С. Наибольшее распространение получил термометр ТПР с положительным электродом из платинородия (30 % родия) и отрицательным электродом (6 % родия). Они могут применяться в окислительной (воздушной) среде и нейтральной атмосфере.

Хромель-копелевые термометры ТХК широко применяются для измерения температур различных сред. Для изготовления положительного термоэлектрода используется хромель (89%Ni + 8,8%Cr + 10%Fe + 0,2%Mn). Отрицательный термоэлектрод - копель (56 % Cu + 44 % Ni). Верхний температурный предел длительного применения термоэлектродов из копелевой проволоки в зависимости от диаметра лежит в пределах 500 – 600 °С. Невысокий температурный предел объясняется тем, что копелевая проволока, содержащая медь, сравнительно быстро окисляется при высоких температурах и вследствие этого происходит изменение термо-э.д.с. термоэлектрода.

Хромель-алюмелевые термометры ТХА применяются для измерения температуры газовых сред, пара и жидкости. Положительным электродом является хромелевая проволока, отрицательным - алюмель (94% Ni + 2%Al + 2,5%Mn + 1% Si + 0,5% примеси). ТХА обладают лучшей сопротивляемостью окислению, чем другие термометры из благородных металлов. Верхний температурный предел - 1000°С длительно и 1300°С кратковременно.

Общий вид термопары из недорогих металлов в этой арматуре показан на *рис. 2.1*.

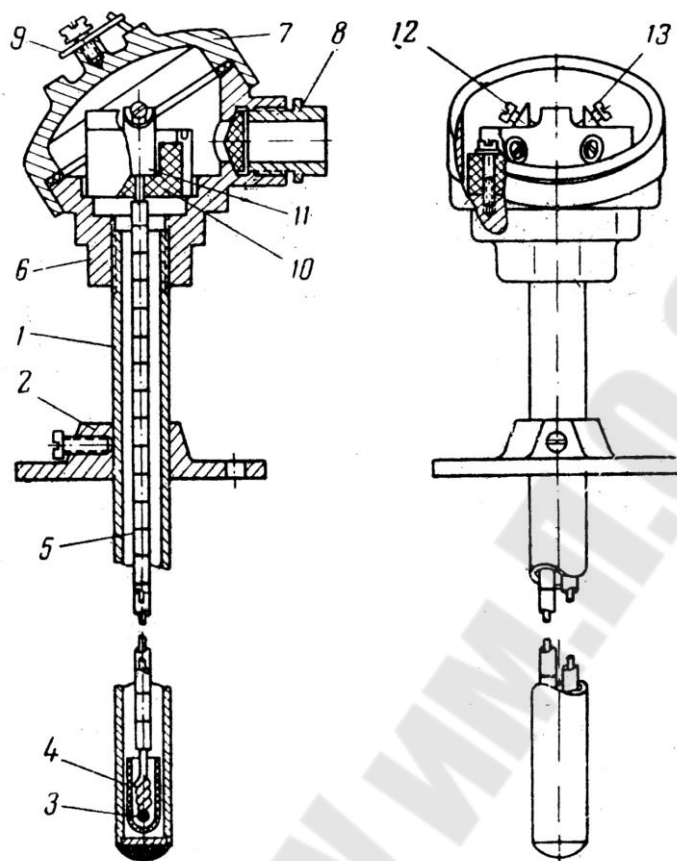


Рис. 2.1. Термопара в арматуре

Термопара имеет стальной защитный чехол 1, на который насажен подвижный фланец 2 со стопорным винтом, служащим для ее закрепления. Рабочий конец термопары 3 помещен в фарфоровый стаканчик 4. Оба термоэлектрода изолированы по длине фарфоровыми бусами 5. Водозащищенная головка термопары состоит из литого корпуса 6, крышки 7 и сальника 8 с асбестовым уплотнением для вывода проводов. Крышка при помощи резьбы и прокладки плотно соединяется с корпусом головки. Во избежание потери крышки при монтаже и ремонте она прикрепляется к корпусу головки цепочкой 9. Внутри головки расположена фарфоровая колодка 10 с двумя плавающими (подвижными) зажимами 11, несущими на себе две пары винтов 12 и 13 для закрепления термоэлектродов и соединительных проводов. Плавающие зажимы обеспечивают свободное тепловое удлинение термоэлектродов, благодаря чему исключается появление в проводниках механических напряжений, вызывающих сравнительно быстрое разрушение термопары.

Схема установки и порядок выполнения работы

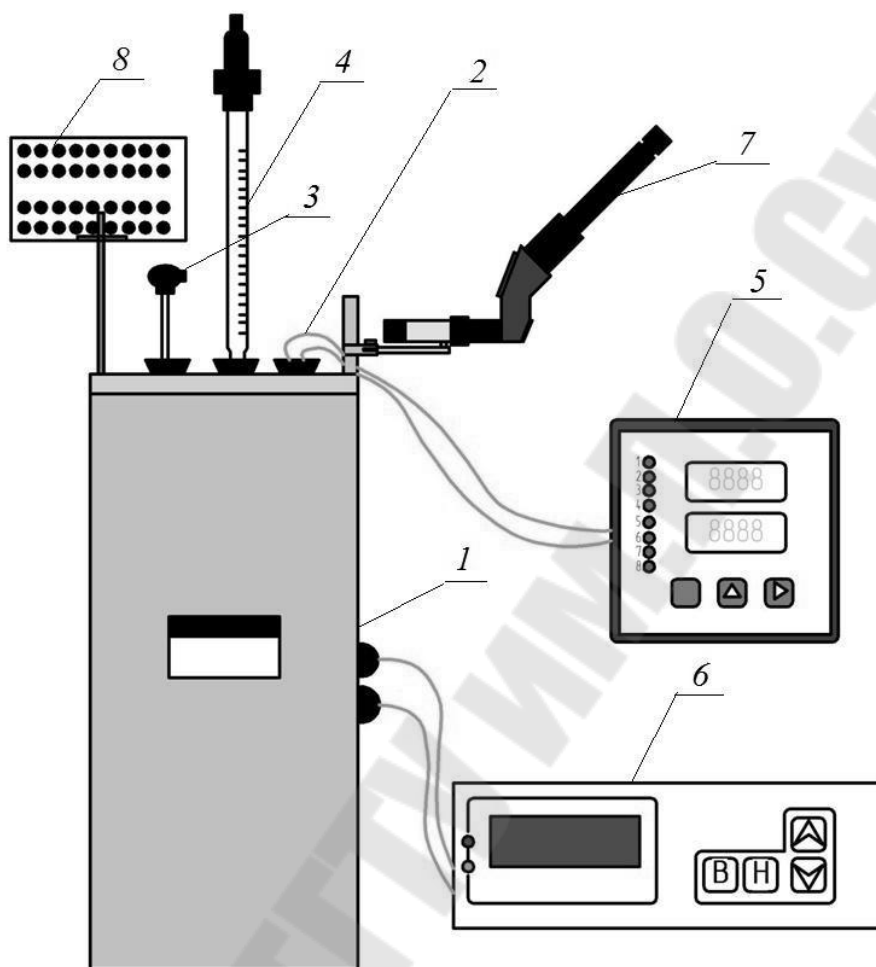


Рис. 2.1. Схема лабораторной установки:

1 – термостат; 2 – термопара ТХК, 3 – термометр сопротивления ТСП; 4 – стеклянный ртутный термометр; 5 – измеритель-регулятор Сосна-002; 6 – блок управления; 7 – видеокабель; 8 – переходная плата

1. Проверить наличие жидкости ПМС-100 в термостате ТР-1М-300 (до уровня нижнего переливного отверстия в термованне).

2. Установить поверяемое средство измерения (термопару ТХК) в рабочее гнездо крышки. Свободные отверстия крышки закрыть пробками.

3. Присоединительные провода термопары подключить к поверочной установке.

4. Подготовить прибор Сосна-002 для работы в качестве вторичного прибора.

5. Установить выключатель-автомат на задней панели БУ-1М-02 в положение «ВКЛ.».

6. Установить сетевой выключатель на лицевой панели БУ-1М-02 в нажатое положение. При этом должно светиться световое табло и включиться мешалка термованны.

7. Задать температуру в рабочей камере, для чего нажать кнопку «Н» на БУ-1М-02. При достижении и стабилизации заданного значения температуры в термостате на БУ-1М-02 светится индикатор зеленого цвета, что соответствует установившемуся режиму. Температура задается в пределах от 25 до 100 °С.

8. Произвести измерение температуры поверяемого термометра и действительного значения температуры.

9. Оценить абсолютную Δ , °С и относительную δ , % погрешности измерений:

$$\Delta = t_k - t_d \quad (2.1)$$

$$\delta = \frac{\Delta \cdot 100}{t_d} \quad (2.2)$$

Таблица 2.1

Результаты измерений и расчетов

Действительное значение температуры t_d , °С	Температура поверяемого термометра t_T , °С	Абсолютная погрешность Δ , °С	Относительная погрешность δ , %
0			
25			
50			
75			
100			

Контрольные вопросы

1. Принцип действия термоэлектрических термометров.
2. Сущность термоэлектрического метода измерения температуры.
3. Чем вызвана необходимость поддержания постоянной температуры холодного спая?
4. Как вводится поправка на температуру холодного спая?
5. Охарактеризуйте различные типы термопар из группы благородных металлов.
6. Охарактеризуйте различные типы термопар из группы неблагородных металлов.
7. Конструкции промышленных термопар.

Лабораторная работа № 3
ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ И
МЕТОДОВ ПОВЕРКИ ТЕРМОМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Цель работы: Изучить принцип действия, конструкцию и метод поверки термометров сопротивления.

Краткие сведения из теории

Для измерения температуры широкое применение получили электрические термометры сопротивления, основанные на изменении электрического сопротивления металлических проводников в зависимости от температуры. Металлы, как известно, увеличивают при нагреве свое сопротивление. Следовательно, располагая зависимостью сопротивления проводника от температуры и определяя это сопротивление при помощи электроизмерительного прибора, можно судить о величине температуры проводника.

Термометр сопротивления, выполняемый из тонкой металлической проволоки, намотанной на каркас из электроизоляционного материала (слоуды, кварца, пластмассы) и помещенной в металлический защитный чехол с головкой для подключения соединительных проводов, является первичным прибором измерительного устройства, питаемого от постороннего источника тока.

В качестве вторичных приборов, работающих с термометрами сопротивления, применяются уравновешенные и неуравновешенные измерительные мосты и логометры.

Верхний предел измерений термометров медных сопротивления, обусловленный стойкостью их при нагреве, равен 650°C . Достоинствами термометров сопротивления являются: высокая точность измерения, возможность получения приборов с безнулевой шкалой на узкий диапазон температур, легкость осуществления автоматической записи и дистанционной передачи показаний и возможность присоединения к одному вторичному прибору при помощи переключателя нескольких однотипных термометров. Недостатком этого метода измерения является потребность в постороннем источнике тока.

К материалам, применяемым для изготовления обмотки термометров сопротивления, предъявляются следующие требования:

1) устойчивость физических и химических свойств при нагревании, в частности однозначность зависимости сопротивления от тем-

пературы и стойкость проводника против коррозии, обеспечивающие получение достаточной точности измерения;

2) высокий и по возможности постоянный температурный коэффициент электрического сопротивления, повышающий чувствительность прибора и дающий линейное Изменение сопротивления проводника от температуры;

3) большое удельное сопротивление проводника, позволяющее изготавливать термометры малых размеров;

4) воспроизводимость степени чистоты металла при отдельных его плавках, обеспечивающая взаимозаменяемость изготавливаемых термометров.

Из числа чистых металлов наиболее пригодными для изготовления термометров сопротивления являются платина (Pt) и медь (Cu).

Наилучшим материалом для термометров сопротивления считается платина, которая обладает большой химической инертностью в окислительной среде и может быть легко получена в чистом виде. Она имеет достаточно большой температурный коэффициент электрического сопротивления ($3,94 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$) и высокое удельное сопротивление ($0,099 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$). Верхний температурный предел применения платиновых термометров сопротивления из соображений механической прочности обмотки, изготовляемой из очень тонкой проволоки ограничивается 650°C .

Применяются технические, образцовые и эталонные платиновые термометры сопротивления. Эталонные термометры служат для воспроизведения (интерполяции) Международной практической температурной шкалы в интервале температур $0-630,5^\circ \text{C}$ (точка затвердевания сурьмы).

Степень чистоты платины характеризуется отношением R_{100} / R_0 . Для спектрально чистой платины это отношение равно 1,392, а для платины, применяемой при изготовлении образцовых термометров 2-го разряда и технических термометров – 1,391. Сопротивление R_t платины в зависимости от температуры в интервале $0-650^\circ \text{C}$ находится по формуле:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + A \cdot t + B \cdot t^2), \text{ Ом} \quad (3.1)$$

где A и B – постоянные, определяемые при градуировке термометра.

Медь также обладает рядом положительных свойств, позволяющих использовать ее для изготовления технических термометров сопротивления. К достоинствам меди относятся ее дешевизна, легкость получения в чистом виде и сравнительно высокий температурный коэффициент электрического сопротивления ($4,26 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$). Недостатками ее являются небольшое удельное сопротивление ($0,017 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$) и легкая окисляемость при высоких температурах, вследствие чего верхний предел применения медных термометров сопротивления ограничивается температурой 200°C .

Зависимость сопротивления меди от температуры t в интервале $-50-180^\circ \text{C}$ выражается уравнением

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t), \text{ Ом (3.2)}$$

где α – температурный коэффициент сопротивления меди, град^{-1} .

Для меди, применяемой для изготовления термометров сопротивления, отношение R_{100} / R_0 равно 1,426.

Основной характеристикой термометра сопротивления, по которой устанавливается градуировка, является его сопротивление, измеренное при температуре таяния льда. Сопротивление электрических термометров при 0°C берется равным 10-100 Ом. Увеличение сопротивления термометра позволяет уменьшить погрешность измерения, связанную с изменением сопротивления соединительных проводов под влиянием температуры окружающей среды. Однако применение термометров с более высоким сопротивлением может привести к погрешности из-за нагрева их измерительным током, так как при одном и том же объеме обмотки, обусловленном размерами термометра, для повышения его сопротивления необходимо уменьшить диаметр проволоки, что отражается также и на механической прочности прибора. Измерительный ток, протекающий по обмотке термометра сопротивления, обычно равен 6-8 мА.

Выпускаются стандартные технические термометры сопротивления, изготавливаемые из платины и меди. Платиновые термометры сопротивления имеют условное обозначение ТСП, а медные – ТСМ. При температуре 0°C сопротивление R_0 этих термометров равно: платиновых – 10, 46 или 100 Ом и медных – 53 или 100 Ом. В зависимости от чистоты платины или меди и качества изготовления технические термометры сопротивления делятся по точности на три класса.

Платиновые термометры выпускаются классов К – I и К – II а медные – К – II и К – III.

Инерционность термометров сопротивления, определяемая так же, как и инерционность термопар, делит термометры на три группы: малоинерционные (до 9 сек), со средней инерционностью (до 1 мин 20 сек) и с большой инерционностью (до 4 мин).

Устройство чувствительных элементов и арматуры платинового и медного термометров сопротивления типов ТСП – 1 и ТСМ – X показано на *рис. 3.1*.

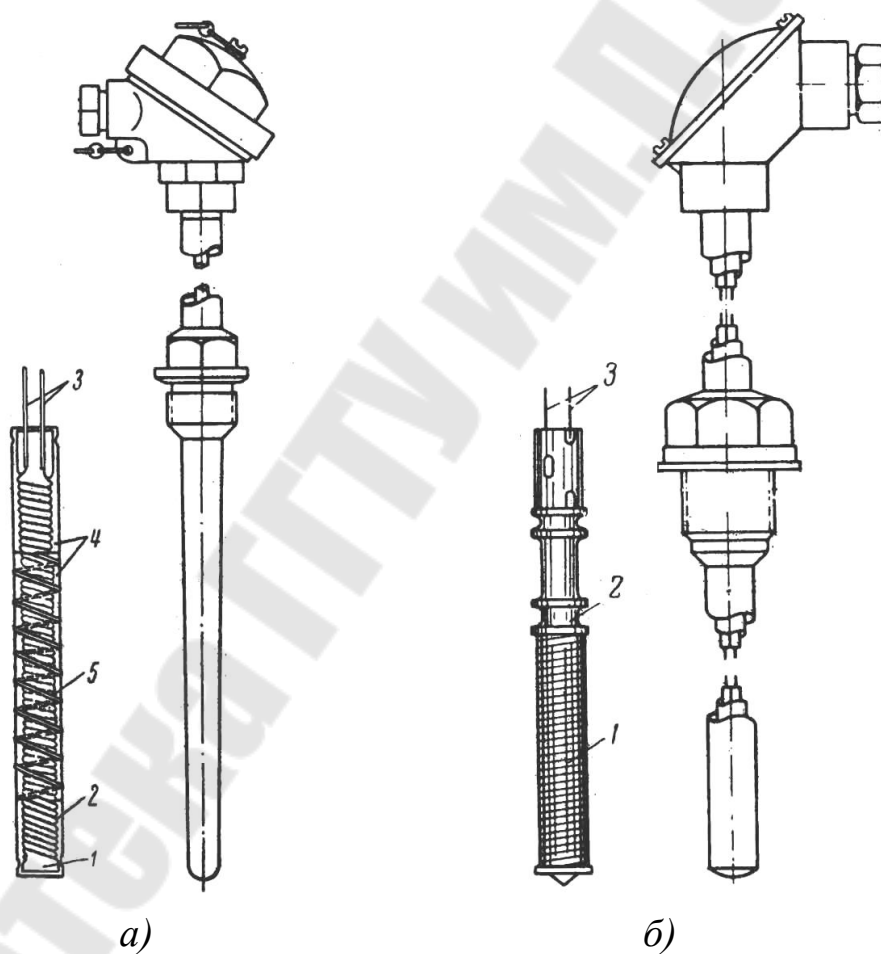


Рис. 3.1. Схема устройства платинового (а) и медного (б) термометров сопротивления

Чувствительный элемент платинового термометра сопротивления ТСП – 1 состоит из слюдяной пластинки 1 с размерами $100 \times (10 \times 0,3)$ имеющей по бокам зубчатую насечку) на которую бифилярно намотана платиновая проволока 2 диаметром 0,07 мм и длиной

около 2 м. Бифилярная обмотка является безындукционной, так как она наматывается одновременно двумя концами провода, сложенного посередине. К концам платиновой обмотки припаяны два вывода 3 из серебряной проволоки диаметром 1 мм, присоединенный к латунным зажимам в головке термометра. Слюдяная пластинка с обмоткой изолирована с двух сторон более широкими слюдяными накладками 4 и связана с ними в общий пакет серебряной лентой 5.

Чувствительный элемент медного термометра сопротивления ТСМ – Х состоит из эмалированной проволоки 1 диаметром 0,11 мм, намотанной в несколько слоев на цилиндрический каркас 2 из пластмассы и покрытой слоем глифталевого лака. Длина чувствительного элемента 40 мм. К концам обмотки припаяны два медных вывода 3 диаметром 1 – 1,5 мм, соединяющих чувствительный элемент с зажимами на головке термометра.

Схема установки и порядок выполнения работы

Схема установки аналогична схеме из лабораторной работы №2.

1. Проверить наличие жидкости ПМС-100 в термостате ТР-1М-300 (до уровня нижнего переливного отверстия в термованне).

2. Подготовить прибор Сосна-002 для работы в качестве вторичного прибора.

3. Чувствительный элемент поверяемого средства измерения (платиновый термометр сопротивления ТСП) погрузить в термостат с тающим льдом. Измерить температуру.

4. Установить поверяемый термометр в рабочее гнездо крышки. Свободные отверстия крышки закрыть пробками. Присоединительные провода термопары подключить к поверочной установке.

5. Установить выключатель-автомат на задней панели БУ-1М-02 в положение «ВКЛ.».

6. Установить сетевой выключатель на лицевой панели БУ-1М-02 в нажатое положение. При этом должно светиться световое табло и включиться мешалка термованны.

7. Задать температуру в рабочей камере, для чего нажать кнопку «Н» на БУ-1М-02. При достижении и стабилизации заданного значения температуры в термостате на БУ-1М-02 светится индикатор зеленого цвета, что соответствует установившемуся режиму.

8. Произвести измерение температуры поверяемого термометра и действительного значения температуры.

9. Оценить абсолютную Δ , °С и относительную δ , % погрешности измерений, а также пригодность прибора к дальнейшему использованию по результатам поверки.

Контрольные вопросы

1. Принцип действия термометров сопротивления.
2. Достоинства и недостатки термометров сопротивления.
3. Требования предъявляемые к материалам для изготовления обмотки термометров сопротивления
4. Устройство медного и платинового термометров сопротивления.
5. Основные характеристики термометров сопротивления и методы и определения.

Лабораторная работа №4 ИЗУЧЕНИЕ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Цель работы: изучить устройство и принцип действия датчиков для измерения давления (пружинного, сильфонного и мембранного манометров); произвести измерение давления с помощью пружинного манометра; перевести величины давления в различные единицы измерения; определить погрешность измерения.

Краткие теоретические сведения

Давление – широкое понятие, характеризующее нормально распределенную силу, действующую со стороны одного тела на единицу поверхности другого. Если действующая среда – жидкость или газ, то давление, характеризующая внутреннюю энергию среды, является одним из основных параметров состояния. Единица измерения давления в системе СИ – Паскаль (Па), равный давлению, создаваемому силой в один ньютон, действующей на площадь в один квадратный метр (Н/м^2).

При измерениях различают абсолютное, избыточное и вакуумметрическое давление. Под абсолютным давлением p , понимают полное давление, которое равно сумме атмосферного давления $p_{\text{ат}}$ и избыточного $p_{\text{и}}$:

$$p_{\text{а}} = p_{\text{и}} + p_{\text{ат}} \quad (4.1)$$

Понятие вакуумметрического давления вводится при измерении давления ниже атмосферного:

$$p_{\text{в}} = p_{\text{ат}} - p_{\text{а}} \quad (4.2)$$

Средства измерения, предназначенные для измерения давления и разности давлений, называются манометрами. Последние подразделяются на барометры, манометры избыточного давления, вакуумметры и манометры абсолютного давления в зависимости от измеряемого ими соответственно атмосферного, избыточного, вакуумметрического и абсолютного давлений. Манометры, предназначенные для измерения давления или разрежения в диапазоне до 40 кПа, называются

напоромерами и тягомерами. Тягонапоромеры имеют двустороннюю шкалу с пределами измерения до ± 20 кПа. Дифференциальные манометры применяются для измерения разности давлений. В зависимости от принципа, используемого для преобразования силового воздействия давления на чувствительный элемент в показания или пропорциональные изменения другой физической величины, средства измерения давления разделяются на жидкостные, деформационные, электрические, ионизационные, тепловые и грузопоршневые.

Очень широкое распространение получили деформационные манометры. К ним относятся: пружинные, сильфонные и мембранные манометры.

Чувствительные элементы датчиков давления выполняют в виде мембран и пружин различной конфигурации. Если датчик давления содержит только первичный преобразователь, то давление преобразуется в перемещение упругого элемента, т.е. выходной величиной первичного преобразователя является перемещение. Так, в мембранном преобразователе (рис. 4.1, а) деформация мембраны y пропорциональна давлению p , в сильфонном (рис. 4.1, б) – гофрированный тонкостенный стакан изменяет свою длину пропорционально давлению; в преобразователе с трубчатой пружиной (рис. 4.1, в) упругая трубка овального сечения под действием давления выпрямляется, форма ее сечения стремится к круглой, а запаянный конец трубки перемещается.

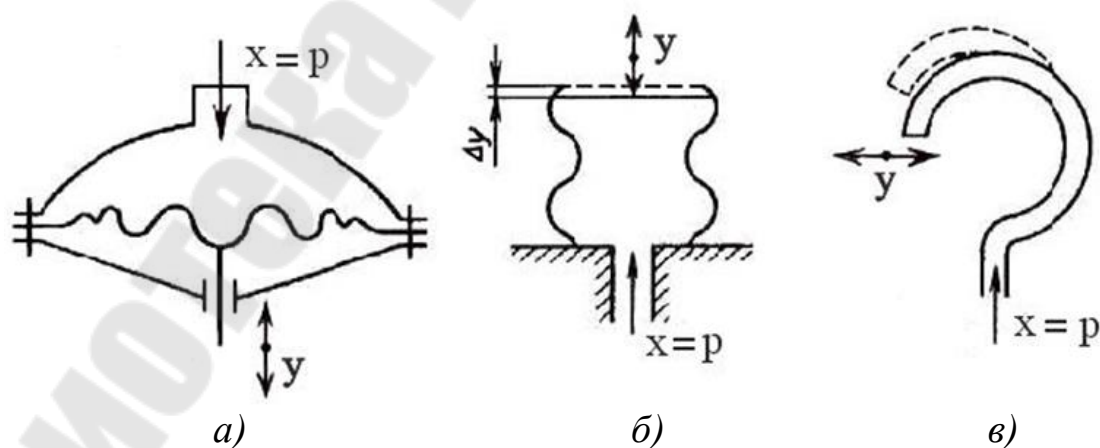


Рис. 4.1. Схемы первичных преобразователей датчиков давления:
 а – мембранный первичный преобразователь; б – сильфонный первичный преобразователь; в – трубчатый первичный преобразователь

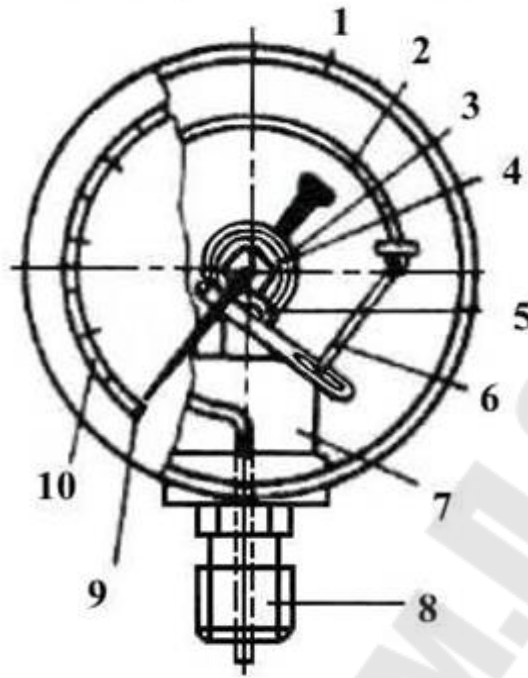


Рис. 4.2. Пружинный манометр

Чувствительным элементом пружинного манометра является трубчатая пружина 2. Пружина открытым концом жестко соединена с держателем 7, укрепленным в цилиндрическом корпусе 1 манометра. Держатель имеет штуцер 8, предназначенный для соединения манометра с линией гидросети или пневмосети. Свободный конец трубчатой пружины закрыт пробкой с шарнирной осью и запаян. При помощи тяги 6 он связан с передаточным механизмом, состоящим из зубчатого сектора 5, находящегося в зацеплении с зубчатым колесом 4. Рядом с зубчатым колесом расположена спиральная пружина (волосок) 3, один конец которой соединен с зубчатым колесом, а другой закреплен неподвижно на стойке, поддерживающей передаточный механизм. Волосок постоянно прижимает зубчатое колесо к одной стороне зубцов сектора 5, благодаря чему устраняется мертвый ход в зубчатом зацеплении передаточного механизма. Отсчетное устройство манометра состоит из шкалы 10 и стрелки 9.

Принцип действия пружинного манометра заключается в следующем. При подводе к штуцеру манометра рабочей среды под давлением в результате деформации стенок трубчатой пружины ее свободный конец перемещается пропорционально давлению. Это перемещение при помощи тяги и передаточного механизма передается

стрелке. Таким образом, выходным сигналом манометра является показание, отсчитываемое по шкале.

Важнейшей характеристикой манометра является класс точности (указывается на циферблате). Промышленные манометры бывают следующих классов точности: 0,6; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Порядок выполнения работы

Схема установки соответствует схеме из лабораторной работы № 1.

Измерение давления осуществляется с помощью манометра МН1:

1. Клапан КП настроить на максимальное давление срабатывания (достигается путем вворачивания регулировочного винта);

2. Вентиль В3 закрыть, а вентили В2 и В1 открыть (вентиль В1 на всасывании насоса должен быть открыт постоянно (тумблер SA4 в положение “Ручн”, тумблер SA1 в положение “Сеть”, верхний тумблер в положении “Выкл”));

3. Включить насосную установку и, прикрывая вентиль В2, установить ряд значений давления на выходе насоса (смотреть по манометру);

4. Оценить погрешность измерения давления;

5. Выключить насосную установку.

6. Перевести полученные значения давления в следующие единицы измерения: бар, кгс/см², мм вод. ст., мм рт. ст.

7. Определить величину абсолютного давления.

8. Определить допустимую погрешность измерения давления манометром:

$$\delta = \frac{K \cdot P}{100}, \quad (4.1)$$

где K – класс точности манометра;

P – верхний предел измерения давления.

Контрольные вопросы

1. Что такое давление?
2. Дать определение избыточному, абсолютному и вакуумметрическому давлению.
3. Классификации средств измерений, предназначенных для измерения давления.
4. Типы деформационных манометров.
5. Первичные преобразователи датчиков давления.
6. Принцип действия пружинного манометра.
7. Класс точности манометров.

Лабораторная работа № 5
ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ
ГРУЗОПОРШНЕВЫХ МАНОМЕТРОВ. ПОВЕРКА МАНОМЕТРОВ

Цель работы: изучить устройство и принцип действия грузопоршневых манометров; изучить методику поверки и произвести поверку деформационного манометра.

Краткие теоретические сведения

Для поверки и градуировки деформационных манометров используются в основном грузопоршневые манометры, которые как самостоятельные приборы для измерения давления не применяются.

Грузопоршневые манометры являются образцовыми приборами, так как обладают высокой чувствительностью и точностью. Приборы этого типа по точности приближаются к жидкостным манометрам, но в отличие от последних могут иметь большой диапазон измерений (до 250 МПа и выше).

Принцип действия грузопоршневого манометра заключается в уравнивании давления измеряемой среды на свободно перемещающийся в цилиндре поршень силой, создаваемой калиброванным грузом. По массе этого груза определяют действующее на поршень давление (*рис. 5.1*).

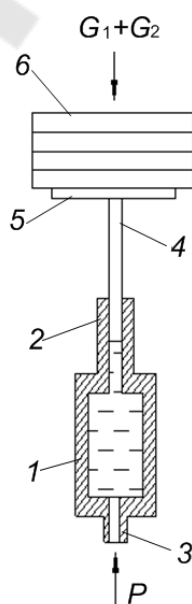


Рис. 5.1. Схема грузопоршневого манометра

В сосуд *1* с цилиндрической колонкой *2* заполненный маслом и сообщающийся посредством соединительного штуцера *3* с измеряемой средой, вставлен вертикально с небольшим зазором стальной поршень *4*. С наружной стороны он скреплен с тарелкой *5*, на которую в зависимости от измеряемого давления накладываются грузы *б* уравнивающие воспринимаемое поршнем давление p (Па) при равновесии системы определяемое по формуле

$$p = \frac{g_n(G_1 + G_2)}{F}, \quad (5.3)$$

где G_1 и G_2 – массы поршня с тарелкой и грузов, кг;

F – площадь поршня, м²;

g_n – нормальное ускорение свободного падения тел, м/с².

Поршень манометра шлифуется к внутренней поверхности колонки. В результате между ними образуется незначительный кольцевой зазор (около 3-5 мкм), что препятствует пропуску масла из колонки наружу и способствует движению поршня без излишнего трения.

Основным недостатком грузопоршневых манометров является влияние на их чувствительность трения поршня в цилиндре, что при измерении требует строго вертикальной установки манометра и проворачивания от руки поршня вокруг оси.

Большое распространение получили грузопоршневые манометры типов МП-60, МП-600, МП-2500 с верхними пределами избыточного давления соответственно 6; 60; 250 МПа. Грузопоршневые манометры изготавливаются двух классов точности 0,05 и 0,02. На *рис. 5.2.* показано устройство образцового грузопоршневого манометра типа МП-60.

Грузопоршневой манометр состоит из цилиндрической латунной колонки *1*, плотно присоединенной к корпусу *2* винтового гидравлического пресса. Полость колонки и пресса заполнена трансформаторным маслом. В канал колонки вставлен шлифованный к его поверхности стальной поршень *3*, несущий на верхнем конце тарелку *4* для наложения калиброванных грузов *5*. Параллельно с колонкой к прессу присоединены штуцера *б* и *7*, служащие для установки на приборе одного или двух поверяемых пружинных манометров *8*. Отключение от пресса колонки и пружинных манометров производится игольчатыми вентилями *9-11*. Поршень манометра имеет площадь 0.5

см². Вместе с тарелкой он создает давление равное 1 кгс/см² (1 атм.). В комплект прибора входят калиброванные грузы, позволяющие получать давления через 0,5; 1 и 5 кгс/см². В расширенной части пресса находится винтовой шток 12 с манжетным поршнем 13, перемещаемый маховиком 14. Для заполнения прибора маслом служит воронка 15 с запорным вентилем 16, установленная на корпусе пресса. Выпуск масла производится через вентиль 17. Для установки поршня манометра в строго вертикальном положении корпус прибора снабжен винтовыми ножками и уровнем.

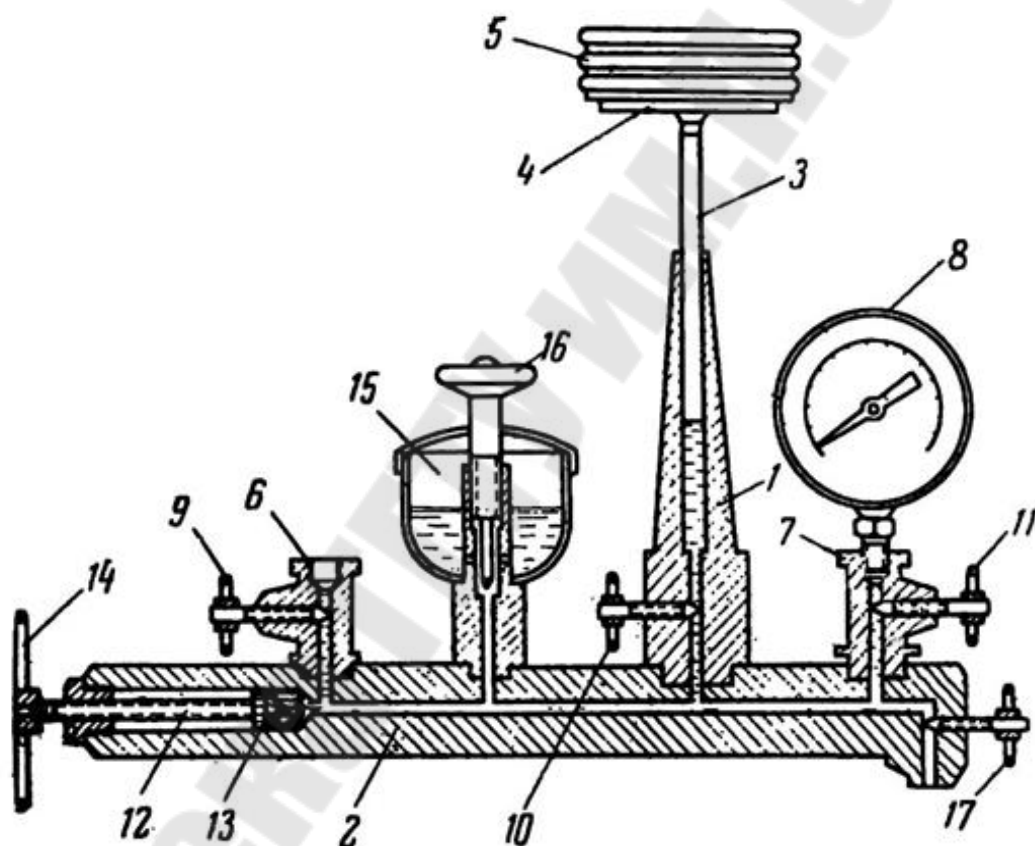


Рис. 5.1. Образцовый грузопоршневой манометр типа МП-60:

- 1 – цилиндрическая латунная колонка; 2 – винтовой гидравлический пресс; 3 – стальной поршень;
- 4 – тарелка; 5 – калиброванные грузы; 6, 7 – штуцеры; 8 – поверяемый пружинный манометр;
- 9-11 – игольчатые вентили; 12 – винтовой шток; 13 – манжетный поршень;
- 14 – маховик; 15 – воронка; 16 – запорный вентиль; 17 – вентиль

Порядок проведения работы

1. Установить поверяемый манометр в штуцер 6 или 7.
2. Игольчатым вентилем 16 открыть бачок с маслом 15 и, вращая рукоятку 14 поршня 13, наполнить систему маслом.
3. Открыть вентили 9 или 11, обеспечив доступ масла в манометр.
4. Вращением рукоятки 14 поршня 13 создать давление масла на поршень 3, которое уравнивается весом тарелки 4 с грузами.
5. Рукоятку поршня 13 вращать до тех пор, пока нижний край тарелки не установится на уровне контрольной черты. Слегка повернув тарелку на рабочем манометре, снять значение полученного давления.
6. На тарелку положить один груз и вращением рукоятки 14 поршня подвести нижний край тарелки до контрольной черты, проворачивая тарелку и на рабочем манометре фиксируя следующее значение давления. Последовательно поверить пять оцифрованных точек на поверяемом манометре при прямом и обратном ходе.
7. После окончания работы закрыть вентили 10, 11, открыть игольчатый вентиль на бачке с маслом и, вращая рукоятку поршня 13, закачать масло в бачок.

Произвести анализ полученных данных, определить допустимую погрешность, результаты измерений и расчетов занести в таблицу и сделать вывод о степени годности прибора к эксплуатации.

Таблица 5.1

Результаты измерений и вычислений

Показания манометров				Погрешности				Вариация
Грузопоршневого		Поверяемого		Абсолютная		Относительная		
Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	Δ_m
0,2	1	0,18	0,95					
0,4	0,8	0,34	0,74					
0,6	0,6	0,55	0,56					
0,8	0,4	0,74	0,36					
1	0,2	0,94	0,19					

Контрольные вопросы

1. Назначение, устройство и принцип действия грузопоршневых манометров.
2. Методика проведения и цель поверки манометров, причины проведения поверки.

Лабораторная работа №6
ИЗУЧЕНИЕ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА

Цель работы: ознакомиться с физической сущностью расхода, единицами и методами его измерения, с классификацией и устройством расходомеров; изучить методику измерения расхода.

Краткие теоретические сведения

Расход – это количество жидкости (газа), проходящей через живое сечение потока в единицу времени. Различают объемный Q , весовой Q_G и массовый Q_M расходы. Единицы измерения этих расходов в системе СИ следующие: Q – м³/с; Q_G – Н/с; Q_M – кг/с.

Весовой и массовый расходы связаны с объемным следующими зависимостями:

$$Q_G = \gamma \cdot Q; \quad Q_M = \rho \cdot Q, \quad (6.1)$$

где γ и ρ – удельный вес и плотность жидкости (газа) соответственно.

Наиболее простым способом измерения расхода (он используется в данной лабораторной работе) является объемный с помощью мерного бака. Суть его заключается в том, что измеряется время τ прохождения через систему определенного объема жидкости V , которая поступает в мерный бак. Зная V и τ , затем вычисляют объемный расход, который равен:

$$Q = \frac{V}{\tau} \quad (6.2)$$

Измерение расхода может осуществляться с помощью сужающихся расходомеров. В качестве устройств, сужающих поток и создающих перепад давления, используются диафрагмы, сопла, трубы Вентури и др.

На рисунке 6.1. показана схема сужающего расходомера, широко распространенного в измерительной практике. В качестве сужающего устройства здесь применена диафрагма. Расход через диафрагму

тем больше, чем больше падение напора ΔH (или давления) на диафрагме.

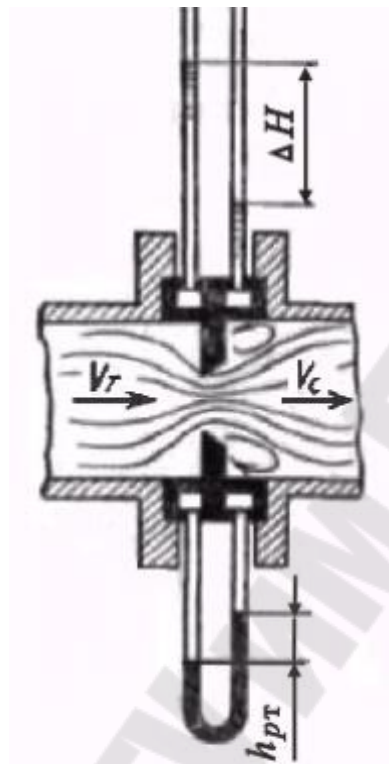


Рис. 6.1. – Схема сужающего расходомера

На практике наиболее широкое применение для измерения расхода находят механические расходомеры-счетчики, которые бывают двух типов: объемные и скоростные. Принцип действия объемных расходомеров основан на попеременном заполнении и опорожнении рабочей (рабочих) камеры (камер). Число заполнений или опорожнений, подсчитываемое с помощью специальных устройств (механических, электрических), характеризует расход через систему.

Достоинством объемных расходомеров является высокая точность измерения: максимальная относительная погрешность не превышает 1 %. Недостаток – громоздкость и сложность конструкций.

Объемные расходомеры бывают следующих типов: дисковые, поршневые, шестеренные, кольцевые и лопастные. Для измерения расхода воды чаще всего применяют скоростные расходомеры.

Принцип действия скоростных расходомеров основан на том, что жидкость, протекающая через прибор, приводит во вращение крыльчатку или вертушку, частота вращения которой пропорцио-

нальна скорости потока и, следовательно, расходу. Ось крыльчатки или вертушки посредством передаточных механизмов соединена со счетчиком. Скоростные расходомеры по конструкции проще объемных, но обладают меньшей точностью измерений. Максимальная относительная погрешность измерений может достигать 2-3 %.

По конструктивному признаку скоростные расходомеры разделяются на две основные группы: крыльчатые расходомеры, ось вращения крыльчатки которых перпендикулярна направлению движения жидкости, и турбинные (аксиальные) расходомеры, у которых ось вращения вертушки (турбинки) параллельна направлению движения жидкости. Могут быть также комбинированные расходомеры.

Крыльчатые расходомеры могут быть одноструйными и многоструйными. Основными элементами крыльчатого одноструйного расходомера (рис. 6.2) являются: крыльчатка 1, камера крыльчатки 2, агатовый пошипник 3, входной патрубок 4, редуктор 5, механизм счетчика 6, циферблат 7, крышка циферблата 8, корпус 9, сальник 10, лопасть регулятора 11.

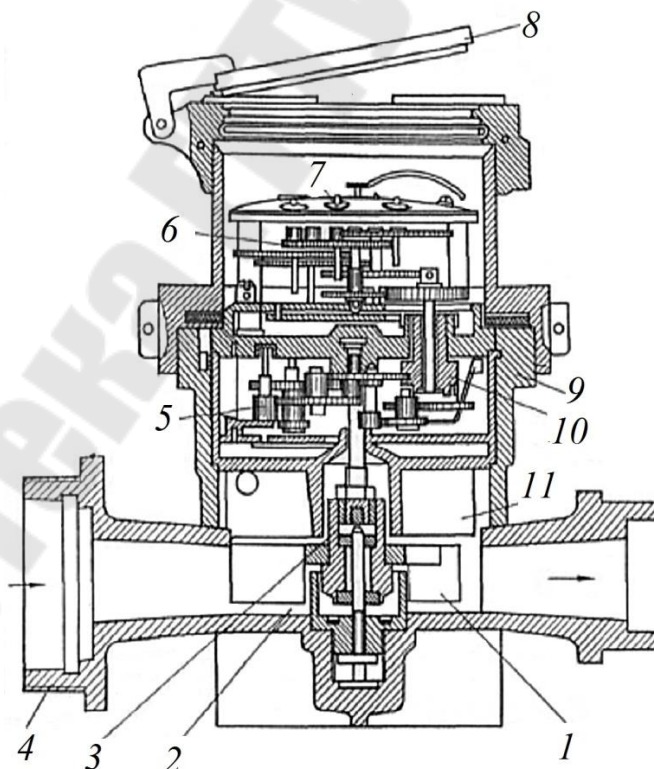


Рис. 6.2. Крыльчатый расходомер

Скоростные расходомеры-счетчики широко применяются для учета количества воды, расходуемой в системах водоснабжения. Подбор счетчиков воды, предназначенных для установки в водопроводных сетях, производится чаще всего по максимальному суточному расходу.

При измерениях расхода нас может интересовать мгновенное значение расхода или расход жидкости за определенный период времени, т.е. интегральная величина расхода. Расходомер, показанный на *рис. 6.1*, позволяет определять мгновенное значение расхода. Скоростные же расходомеры являются расходомерами интегрирующего типа. Для определения с их помощью расхода в единицу времени необходимо использовать секундомер. Так же определяется расход с помощью мерного бака.

Схема установки и порядок проведения работы

Объектом изучения является скоростной крыльчатый расходомер, а также мерный бак с указателем уровня (в качестве мерного бака используется верхний гидробак).

На стенде предусмотрена возможность определения расхода двумя способами.

1. С помощью переключек со штекерами обеспечить необходимую схему электрических соединений (на передней панели модуля электрического управления).

2. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В3, В4 и В5 (закрытие вентиля осуществляется путем вращения маховика управления по часовой стрелке). Вентиль В2 необходимо открыть (при управлении вентилями рекомендуется не прикладывать больших усилий).

3. Закрыть вентиль В6 (в закрытом положении рукоятка вентиля перпендикулярна оси трубопровода).

4. Включить на модуле электрического управления питание электронного секундомера (нажать кнопку “ Вкл”).

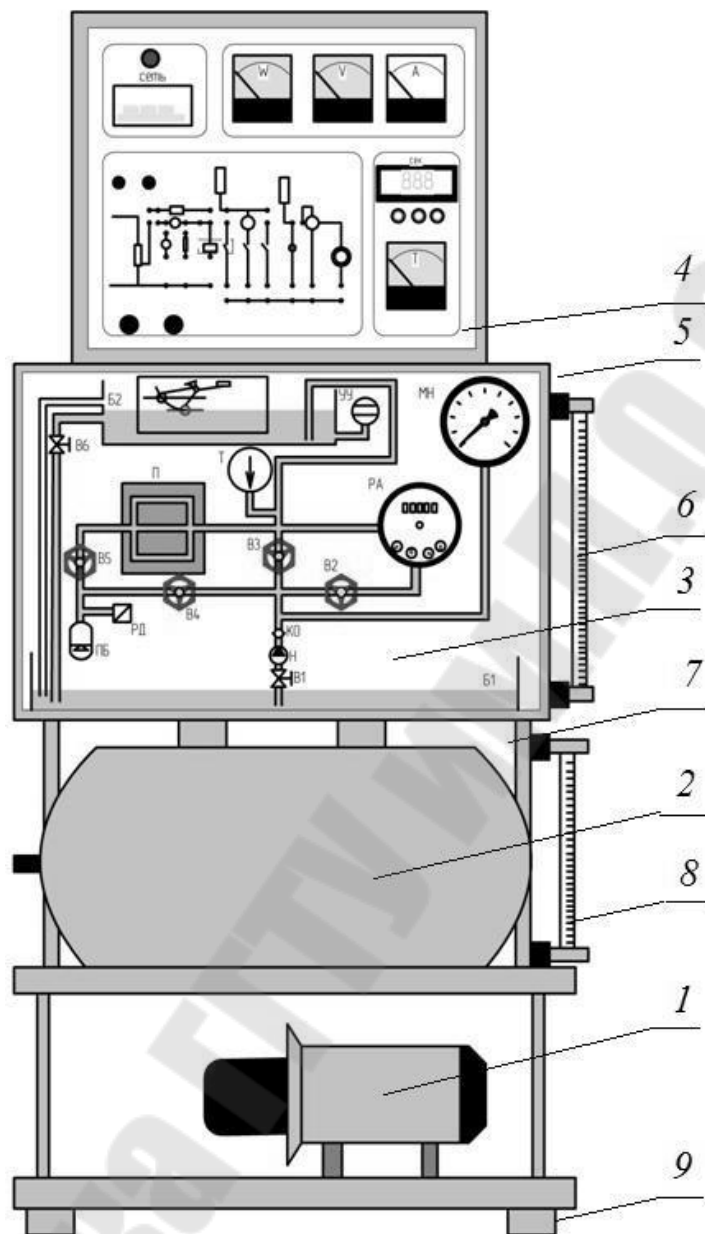


Рис. 6.3. Общий вид стенда:

1 – насосная установка; 2 – пневматический бак; 3 – модуль гидравлического управления; 4 – модуль электрического управления; 5 – гидробак верхний; 6 – указатель уровня воды в верхнем гидробаке; 7 – гидробак нижний; 8 – указатель уровня воды в нижнем гидробаке; 9 – рама стенда; 10 – расходомер; 11 – манометр; B1... B5 – вентили

5. Включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер «СЕТЬ» на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение. Включить насос тумблером SA2. При этом насос начнет подавать воду в верхний бак стенда.

6. Когда уровень воды в стеклянной трубке указателя, установленного на боковой поверхности верхнего бака (поз. 6, рис. 6.3), совпадет с нижней меткой шкалы, необходимо нажать кнопку “Счет” управления секундомером. Когда уровень воды в указателе поднимется на 30 делений, необходимо выключить секундомер, нажав для этого повторно кнопку “Пуск”. Затем с табло секундомера считать время τ_6 (время заполнения верхнего бака на 30 делений). После этого нажать кнопку “Сброс”. Не выключая насос, перейти к выполнению пункта 7.

7. Используя секундомер и скоростной расходомер, определить время τ прохождения через скоростной расходомер объема воды V (объемом V необходимо задаться, приняв, например, $V = 0,02 \text{ м}^3$).

8. Опыты по пунктам 6 и 7 повторить трижды. Каждый раз перед началом выполнения пункта 6 необходимо выключать насос и сливать воду из верхнего бака в нижний. Результаты испытаний занести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1

Результаты исследований

№ опыта	τ_6 – время заполнения верхнего бака	V – объем воды, проходящей через скоростной расходомер, м^3	τ – время прохождения объема V , с	Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$	V_6 – объем воды, поступившей в верхний бак за время t_6 , м^3	C – цена деления указателя уровня верхнего бака, $\text{дм}^3/\text{дел}$

9. После обработки результатов исследований и определения $C_{\text{ср}}$ необходимо при различных значениях расхода (расход изменяется при изменении давления в напорной линии насоса путем воздействия на вентиль В2) провести опыты по определению расхода воды в верхний бак с помощью мерного бака, а также с помощью скоростного расходомера (количество опытов указывает преподаватель).

Обработка результатов экспериментов

Расход воды (определяется по показаниям скоростного расходомера):

$$Q = \frac{V}{\tau} \quad (6.3)$$

Объем воды, содержащейся в верхнем баке между нулевым и тридцатым делением указателя уровня:

$$V_6 = Q \cdot \tau_6 \quad (6.4)$$

Цена деления указателя уровня:

$$C = \frac{V_6}{K}, \quad (6.5)$$

где K – число делений ($K = 30$).

После определения цены деления в каждом опыте необходимо вычислить среднее арифметическое цены деления $C_{\text{ср}}$.

Контрольные вопросы

1. Понятие расхода, единицы измерения.
2. Методы измерения расхода жидкости.
3. Классификация расходомеров.
4. Устройство скоростных расходомеров.
5. Методика определения расхода жидкости с помощью мерного бака и скоростного расходомера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванова Г. М. Теплотехнические измерения и приборы: учебник для вузов / Г. М. Иванова. - 3-е изд., стер. - Москва: МЭИ, 2007 - 458 с.
2. Мурин, Г. А. Теплотехнические измерения: учебник для энерг. и энергостроит. техникумов / Г. А. Мурин. - 5-е изд., перераб. и доп. - Москва: Энергия, 1979 - 424 с.
3. Назаров, В. И. Теплотехнические измерения и приборы: учебное пособие для вузов / В. И. Назаров, В. А. Чт тиж, А. Л. Буров. - Минск: Техноперспектива, 2008 - 174 с.
4. Чистяков В.С. Краткий справочник по теплотехническим измерениям / В. С. Чистяков. - Москва: Энергоатомиздат, 1990 – 320 с.
5. Гончаров, А.А. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие для вузов / А. А. Гончаров. - 2-е изд., стер.. - Москва : Академия, 2005 – 240 с.
6. Димов, Ю. В. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. для вузов / Ю. В. Димов. - 2-е изд. - Санкт-Петербург: Питер, 2004 – 432 с.
7. Эрастов, В. Е. Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие для вузов / В. Е. Эрастов. - Москва: Форум, 2010 – 204 с.
8. Новиков, М. Н. Метрология и стандартизация: электронный учебно-методический комплекс дисциплины / М. Н. Новиков, Е. Н. Волкова, А. А. Нижников. - Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011.
9. Практическое руководство "Метрология и стандартизация" к лабораторным работам по одноименному курсу для студентов спец. Т.01.02.00 "Теплоэнергетика" / М. Н. Новиков; кафедра "Промышленная теплоэнергетика и экология". - Гомель: ГГТУ, 2004 - 39 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1 ИЗУЧЕНИЕ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ.....	3
Лабораторная работа № 2 ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ, КОНСТРУКЦИИ И СПОСОБОВ ПОВЕРКИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕРМОМЕТРОВ.....	9
Лабораторная работа № 3 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ И МЕТОДОВ ПОВЕРКИ ТЕРМОМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ.....	15
Лабораторная работа №4 ИЗУЧЕНИЕ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ.....	21
Лабораторная работа № 5 ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ГРУЗОПОРШНЕВЫХ МАНОМЕТРОВ. ПОВЕРКА МАНОМЕТРОВ.....	26
Лабораторная работа №6 ИЗУЧЕНИЕ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА.....	31
ЛИТЕРАТУРА.....	38