

**Министерство высшего и среднего специального образования
Республики Узбекистан**

Ташкентский архитектурно-строительный институт

Факультет Инженерного сервиса

Ю.К.Рашидов

**Кафедра: «Проектирование, строительство и эксплуатация
инженерных коммуникаций»**

**Методические указания для проведения лабораторных работ
по предмету: Тепломассообмен**

Ташкент 2008 г.

Лабораторная работа №1
ПРИБОРЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ
I. ПРИБОРЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ
1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Давлением называется величина, численно равная силе, действующей по нормали к поверхности тела, и отнесенная к единице площади этой поверхности. С учетом того, что в СИ единицей силы является Ньютон (1 Н), поверхность измеряется в м², единицей измерения давления является 1 Н/м², эта единица называется Паскаль (1 Па). Поскольку 1 Па - очень небольшое давление, в технике используются кратные от этой величины:

$$1 \text{ кПа (килопаскаль)} = 10^3 \text{ Па};$$

$$1 \text{ МПа (мегапаскаль)} = 10^6 \text{ Па}.$$

Кроме того, применяется 1 бар = 10⁵ Па - давление, близкое к атмосферному.

При практических измерениях давления применяют единицу технической системы — 1 кгс/см² (читается килограмм-сила на сантиметр квадратный). Ее другое обозначение 1 кгс/см² = 1 ат — техническая атмосфера.

Между единицами измерения давления существуют такие соотношения:

$$1 \text{ МПа} = 10 \text{ бар} = 10,2 \text{ ат}; \quad 1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 10^4 \text{ мм вод.ст.};$$

$$1 \text{ ат} = 101,325 \text{ кПа} = 760 \text{ мм рт.ст} = 10333 \text{ мм вод.ст}.$$

Физической атмосфере (1 атм) соответствует высота ртутного столба 760 мм рт.ст. при температуре ртути 0 °С. Давление подразделяется на:

1) абсолютное давление $P_{\text{абс}}$ - это давление, которое непосредственно оказывает газ или жидкость на стенки сосуда или другую поверхность;

2) атмосферное или барометрическое давление $P_{\text{бар}}$ - давление атмосферного воздуха;

3) избыточное давление $P_{\text{изб}}$ - превышение абсолютного давления над атмосферным.

4) разрежение или вакуум $P_{\text{вак}}$ - превышение атмосферного давления над абсолютным.

Только абсолютное давление является параметром состояния газа или жидкости. Если в сосуде давление больше атмосферного, то

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{бар}} + P_{\text{изб}}$$

В случае, когда давление в сосуде меньше атмосферного

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{бар}} - P_{\text{вак}}$$

Для измерения давления применяют приборы: атмосферного - барометры; выше атмосферного - манометры, ниже атмосферного - вакуумметры.

По принципу действия приборы измерения давления подразделяются на:

1) жидкостные приборы, у которых измеряемое давление уравнивается давлением столба жидкости;

2) деформационные (пружинные) приборы, у которых измеряемое давление определяется по деформации пружинного элемента.

В лабораторных условиях применяют также грузопоршневые приборы, в

которых измеряемое давление уравнивается весом грузов и поршня.

2. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПРИБОРОВ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Жидкостные приборы. Жидкостные манометры наиболее простые из приборов для измерения давления и в то же время имеют достаточно высокую точность. К недостаткам этих манометров можно отнести то, что ими измеряются сравнительно небольшие давления — до 100 КПа.

U-образные манометры. U-образный манометр представляет собой U-образную трубку, заполненную жидкостью и одним концом присоединенную к сосуду, в котором измеряется давление среды. При этом с другой стороны трубка открыта и здесь на жидкость действует атмосферное давление (рис.1. 1,1- левое колено, 2-правое колено, 3-панель со шкалой). Если давление среды больше атмосферного, то жидкость в одном колене манометра опустится, в другом поднимется. В этом случае разность уровней жидкости соответствует избыточному давлению. Так как в качестве жидкости, заполняющей манометр, используют чаще всего воду или ртуть, то измеренное давление $P_{изб} = h$ получаем в мм вод.ст. или мм рт.ст. соответственно. Или $P_{изб} = h(\rho - \rho_c)g$ в Па; где h - разность уровней столбов жидкости, м; ρ - плотность жидкости, $кг/м^3$; ρ_c — плотность среды, $кг/м^3$; g - ускорение свободного падения, $м/с^2$.

Если $\rho \gg \rho_c$, то уравнение имеет вид

$$P_{изб} = h\rho g, Па.$$

U-образным манометром можно также измерить пониженное давление (вакуум). Для этого колено манометра, в котором жидкость должна подниматься, присоединяется к сосуду с разрежением, а другое колено остается открытым. Если оба колена прибора присоединить к сосудам, имеющим различные давления, то разность уровней жидкости будет показывать разность давлений в этих сосудах. Такой прибор называется дифференциальным манометром или дифманометром.

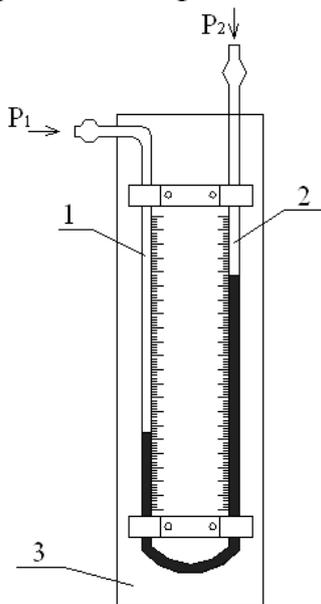


Рис. 1.1

Чашечный манометр. Недостаток U-образного манометра — необходимость двух отсчетов — устранен в так называемом чашечном (однотрубном) манометре (рис. 1.2). Чашечный манометр отличается от U-образного тем, что одно его колено представляет собой широкий и невысокий сосуд-чашку, в то время как другое колено — тонкую трубку. Рабочую жидкость (воду, ртуть или др. жидкость) заливают в широкий сосуд настолько, чтобы уровень ее в измерительной трубке находился против нулевой отметки шкалы. При измерении избыточного давления в сосуде его соединяют с помощью трубки с чашкой прибора, а при измерении разрежения - с измерительной трубкой. При измерении разности давлений большее давление подается в чашку манометра, а меньшее - в измерительную трубку. Отсчет производится только по измерительной трубке, так как перемещение жидкости в чашке пренебрежительно мало.

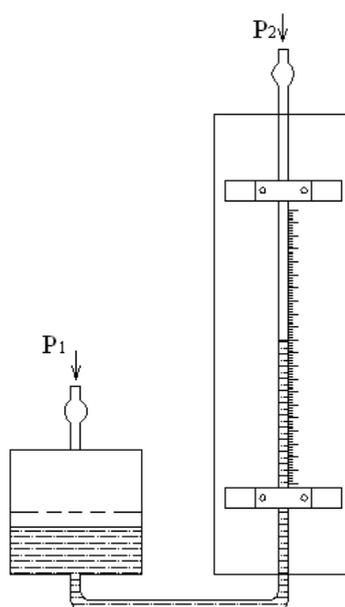


Рис. 1.2

Микроманометр. Для измерения малых давлений (от 100 до 200 Па) применяют микроманометр с наклонной трубкой, представляющий собой чашечный манометр, трубка которого расположена не вертикально, а под углом к горизонту (рис. 1.3).

При этом $P = h \rho g \sin \alpha$ имеем где h - длина столба жидкости на наклонной трубке, мм.

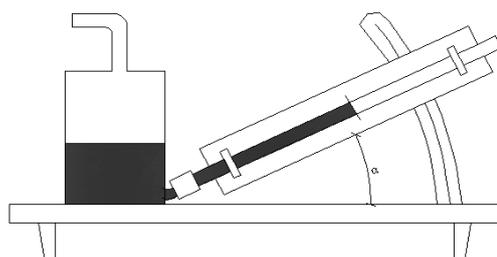


Рис 1.3.

В этом случае длина измеряемого наклонного столба жидкости намного больше вертикального, что увеличивает точность измерения. Для измерения с большей точностью малых давлений в лабораторных условиях применяются приборы специальной конструкции - манометры с переменным углом наклона типа ММН. Угол наклона трубки имеет несколько фиксированных положений, которым соответствует величина поправки 0,1; 0,2; 0,3 0,4. При измерениях давления длина столба жидкости умножается на величину этой поправки, соответствующую положению трубки.

Микроманометром типа ММН можно измерить избыточное давление и разрежение. Для этого на приборе установлен многоходовых кран, позволяющий подключить гайку или трубку к сосуду в зависимости от того, давление в нем или разрежение. (Конструкцию прибора изучить непосредственно на стенде).

Деформационные (пружинные) приборы. Принцип действия деформационных (пружинных) приборов основан на деформации пружинного элемента. Наибольшее применение для измерения давления получили манометры с одновитковой трубчатой пружиной (пружиной или трубкой Бурдона). Приборами с трубчатой пружиной можно измерять избыточное давление или разрежение в диапазоне от 0,05 до 1000 МПа.

Манометр с трубчатой пружиной. Чувствительным элементом манометра с трубчатой пружиной является полая, спирально изогнутая металлическая трубка (плоская одновитковая пружина), которая имеет в сечении эллипс (рис. 1.4). Один конец трубки запаян и соединен со стрелкой прибора (передаточным механизмом), а другой, закрепленный неподвижно в корпусе прибора, сообщается с сосудом, в котором измеряется давление. Газ или жидкость из сосуда входит внутрь трубки. На внутреннюю поверхность трубки действует $P_{абс}$, а на внешнюю – $P_{бар}$. Под действием разности давлений ($P_{абс} - P_{бар}$) трубка деформируется и свободный конец, следовательно, и прикрепленная к нему стрелка - перемещается.

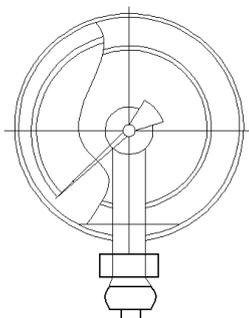


Рис. 1.4.

Причина деформации манометрической пружины связана с изменением

формы ее поперечного сечения. При повышении давления в пружине ее сечение стремится перейти от эллиптического к круглому, что вызывает усилия, которые перемещают свободный конец пружины.

Манометрические пружины обычно изготавливаются из латуни и других медных сплавов, для высоких давлений - из стали. Такие приборы могут быть манометрами (измерять избыточное давление) вакуумметрами (измерять разрежение) и мановакуумметрами (измерять избыточное давление и разрежение).

При измерении избыточного давления свободный конец пружины перемещается по часовой стрелке, при измерении разрежения - против часовой стрелки, поэтому нулевая отметка шкалы вакуумметра должна находиться справа. Для того, чтобы нулевая отметка вакуумметра находилась слева, необходимо плоскую одновитковую пружину развернуть на 180° . Таким образом, у манометров свободный конец пружины находится справа, у вакуумметра - слева.

У мановакуумметров нулевая отметка шкалы находится в самой верхней части шкалы, манометрическая часть шкалы расположена справа от нуля, вакуумметрическая — слева.

3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Рассмотренные приборы смонтированы на стенде, с которым необходимо ознакомиться непосредственно в лаборатории кафедры. При выполнении данной работы необходимо:

1. Изучить устройство и принцип работы жидкостных и механических манометров.
2. Проверить запорную арматуру (краны и вентили) на воздухопроводе компрессора — лабораторный стенд.
3. Включить компрессор и довести давление воздуха в ресивере (емкость со сжатым воздухом) до 1 - 1,5 ат, после чего остановить компрессор.
4. Открыть кран на воздухопроводе для подачи сжатого воздуха к лабораторному стенду.
5. Измерить перепад давления с помощью дифманометра.
6. Открыть рабочий кран микроманометра и измерить давление воздуха в воздухопроводе.

4. ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ

Отчет по работе состоит из:

- 1) краткого описания изученных манометров;
- 2) принципиальных схем этих манометров;
- 3) протокола измерения давления, перепада давления и разрежения.

II. ПРИБОРЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Температура является мерой нагретости тела и определяет направление самопроизвольного перехода тепла.

Непосредственное измерение температуры невозможно. Ее измеряют косвенно с помощью приборов - термометров, действие которых основано на зависимости от степени нагретости, определенных свойств тел (объема жидкости, давления газа, электрического сопротивления, электродвижущей силы (ЭДС) между спаянными разнородными металлами и т.д.).

Измерение численной величины температуры производится с помощью температурной шкалы. Для ее построения выбирают произвольно две температуры - реперные точки - и делят температурный интервал между ними (разность показаний термометров в этих точках) на произвольное число равных частей, называемых градусами. Построенная таким образом шкала носит название эмпирической шкалы температур, так как выбор основных реперных точек является произвольным, то могут существовать различные температурные шкалы (Цельсия, Фаренгейта, Реомюра). В шкале Цельсия за основные реперные точки приняты точка таяния льда при нормальном атмосферном давлении (101325 Па) $t_0 = 0^\circ\text{C}$ и точка кипения воды при том же давлении $t_k = 100^\circ\text{C}$. Разность показаний термометров в этих точках, деленная на 100, дает 1 градус Цельсия ($^\circ\text{C}$). В шкале Фаренгейта этим же значениям температур присвоены значения 32°F и 212°F . Следовательно, разность температур кипения воды и таяния льда по шкале Фаренгейта равна $212-32=180^\circ\text{F}$. Таким образом, 1°F равен $100/180=5/9^\circ\text{C}$ и тогда

$$t^\circ\text{C} = 5/9 (t^\circ\text{F} - 32)$$

$$t^\circ\text{F} = 9/5 (t^\circ\text{C} + 32) .$$

Наиболее универсальной, не зависящей от свойств термометрического вещества, является шкала абсолютной температуры - известная из курса физики. Эта шкала может быть построена с помощью идеально-газового термометра. В качестве термометрического идеально-газового термометра используется газ, близкий по свойствам к идеальному, например, гелий при малых давлениях. Измерение температуры по этой шкале также выполняется косвенно, на основе зависимости абсолютной температура от давления газа при постоянном объеме по уравнению состояния идеального газа.

За начало отсчета шкалы абсолютной температуры принята температура, при которой прекращается тепловое движение молекул (практически недостижимое состояние теплового потока), - абсолютный нуль $T_0 = 0\text{K}$. В качестве второй точки отсчета принимается температура тройной точки воды (температура равновесия между льдом, водой и паром), равная $273,15\text{K}$. Тройная точка воды реализуется при давлении $p = 0,611\text{kPa}$.

За единицу измерения температуры в СИ принят Кельвин (K), равный $1/273,15$ части интервала от абсолютного нуля температуры до температуры тройной точки воды.

Между температурой T , выраженной в Кельвинах, и температурой t , выраженной в градусах Цельсия, установлено соотношение

$$TK = t^{\circ C} + 273,15.$$

Для практических расчетов используется международная практическая температурная шкала (МПТШ). Она воспроизводится с помощью шести постоянных точек, в том числе температуры тройной точки воды; минимальная температура $-182,97^{\circ C}$ (точка кипения кислорода), максимальная $-1083^{\circ C}$ (точка затвердевания золота). Измерения по этой шкале температуры обозначаются $1,^{\circ C}$ (так же как и по шкале Цельсия).

2. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПРИБОРОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Приборы измерения температуры классифицируются в зависимости от того, какие свойства тела используются для определения температуры. Кроме того все методы разделяются на две группы:

1 группа. Контактные методы — прибор для измерения температуры приводится в непосредственное соприкосновение с измеряемым телом.

2 группа. Неконтактные методы — прибор для измерения температуры расположен на расстоянии от измеряемого тела (обычно измеряется уровень теплового излучения нагретого тела).

3. КОНТАКТНЫЕ МЕТОДЫ

Жидкостно-стеклянные термометры. Принцип действия жидкостно-стеклянных термометров основан на тепловом расширении термометрической жидкости. Для заполнения термометров применяют ртуть, спирт и т.д.

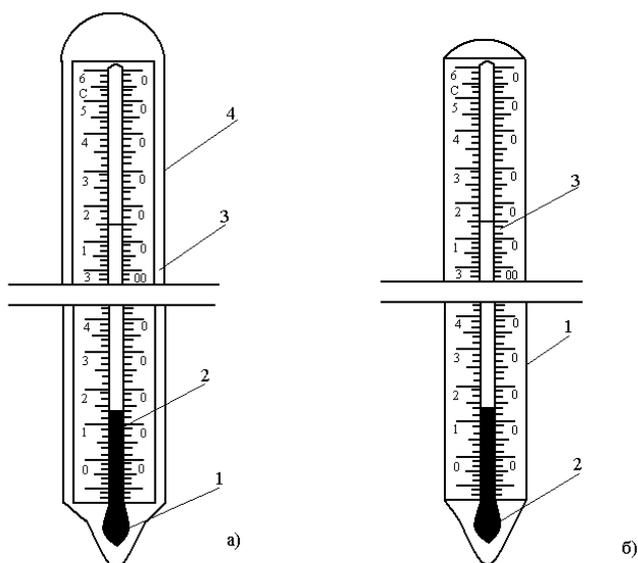


Рис. 1.5

Наибольшее применение получили ртутные термометры, так как ртуть не смачивает стекло и при нормальном атмосферном давлении остается жидкой в широком диапазоне температур (от $-33,37$ до $366,56$ °С).

Конструкции жидкостно-стеклянных термометров разнообразны (прямые, угловые, электроконтактные и т.д.), однако можно выделить два основных типа конструкции: палочные (рис.1.5,а) и с вложенной шкалой (рис. 1.5,б).

Палочный термометр изготавливается из толстостенной капиллярной трубки, шкала наносится на внешней поверхности капилляра.

Характерная особенность второй конструкции в том, что шкала наносится не на капилляре, а на пластине из стекла или металла, помещенной позади капиллярной трубки.

Жидкостно-стеклянные термометры применяются для измерения температур в области от -38 до 600 °С.

Манометрические термометры. Принцип действия манометрических термометров основан на изменении давления термометрического вещества - газа, жидкости, или насыщенного пара — в замкнутом объеме в зависимости от температуры. Термометрическое вещество заполняет замкнутую систему, состоящую из термобаллона 1, трубчатой пружины (трубки) манометра 2 и капилляра 3 (рис.1.6). Шкалу манометра градуируют в градусах температуры, соответствующей давлению в системе.

Чаще используется газовый термометр, система которого заполняется инертным газом, обычно азотом, имеющим давление 1 МПа при температуре 20 °С, максимальная длина соединительного капилляра не превышает 50 м.

Для измерения температуры термобаллон погружается в

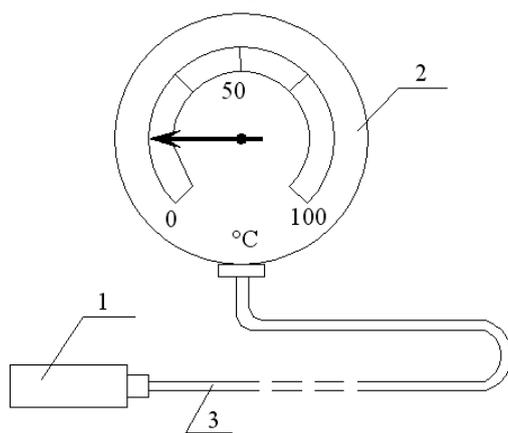


Рис 1.6.

измеряемую среду. При нагревании термобаллона давление термометрического вещества в замкнутой системе увеличивается. Это приводит к деформации пружины манометра, в результате чего ее свободный конец перемещается. Движение на передаточном механизме преобразуется в перемещение указательной стрелки на шкале манометра.

В зависимости от термометрического вещества манометрические

термометры применяют для измерения температуры от -150 до 600 °С.

Термопреобразователи сопротивления. Принцип измерения термопреобразователями сопротивления (термометрами сопротивления) основан на зависимости электрического сопротивления металлов от температуры (рис. 1.7).

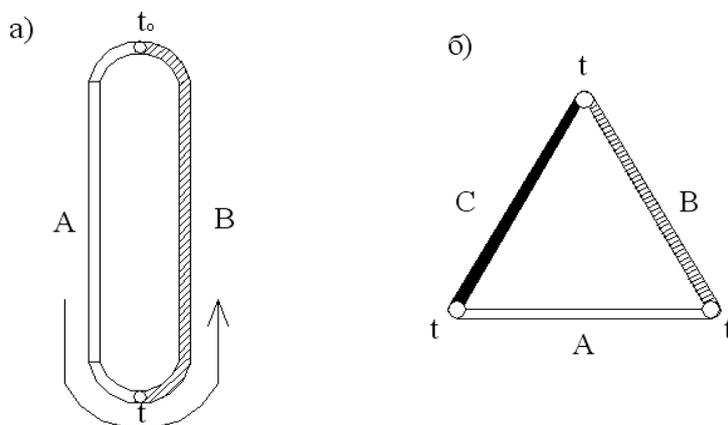


Рис. 1.7

Чувствительный элемент термопреобразователей сопротивлений обычно изготавливают путем намотки тонкой металлической проволоки на каркас (из слюды, пластмассы), который затем помещают в защитную трубку (чехол). При измерении температуры указанную трубку помещают в измеряемую среду. Зная зависимость сопротивления используемой металлической проволоки от температуры, можно по сопротивлению определить температуру среды, в которой он находится. Для измерения применяются уравновешенные мосты. В качестве металла чувствительного элемента используют медь или платину.

Платиновые термометры сопротивления измеряют температуру от -200 до 650 °С, медные от 50 до 180 °С.

Термоэлектрический преобразователь. Термоэлектрический преобразователь представляет собой цепь, состоящую из двух разнородных металлов термоэлектродов А и Б (рис.1.8,а), соединенных (спаянных) между собой в двух местах. Для измерения температуры одно из мест соединения (1-горячий спай) помещают в измеряемую среду, а другое место соединения (2-холодный спай) должно иметь известное значение температуры, обычно 0 °С. Такая цепь образует термопару. При нагревании горячего спая термопары в ней возникает термо-ЭДС.

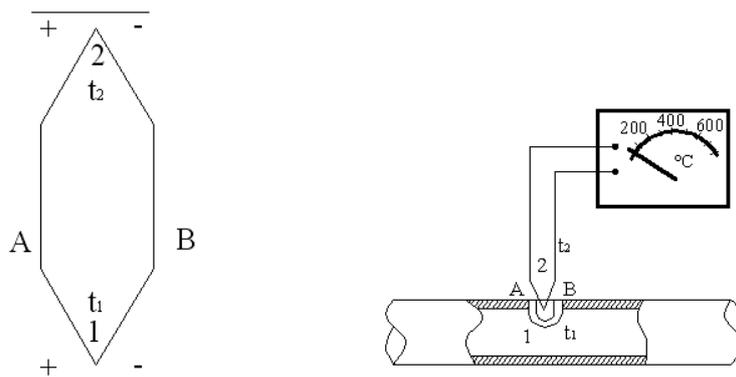


Рис. 1.8

Термоэлектрический метод измерения температуры основан на зависимости термо-ЭДС от температуры спая. Для измерения термо-ЭДС в цепь термопары включают милливольтметр или потенциометр (рис. 1.8 б).

Нахождение температуры по измеренной термо-ЭДС осуществляется с помощью графика или таблиц, составленных для данной термопары. Градуировочные графики или таблицы составляют, как правило, для температуры холодных спаев $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поэтому, если при измерениях температура холодных спаев не равна $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, а находится при температуре окружающей среды, то необходимо вводить поправку (приблизительно прибавлять к измеренной температуре значение температуры окружающей среды). Термопары изготавливаются из благородных и неблагородных металлов. Примером термопары из благородных металлов может служить платинородий — платиновая термопара, у которой один термоэлектрод выполнен из сплава платины и родия, а другой - из чистой платины.

Примером термопар из неблагородных металлов может служить: хромель (сплав никеля и хрома), копель (сплав никеля с медью), хромель-алюмель (сплав никеля с алюминием) и т.д. Термопарами можно измерять температуру в диапазоне от -200 до $2500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4. НЕКОНТАКТНЫЕ МЕТОДЫ

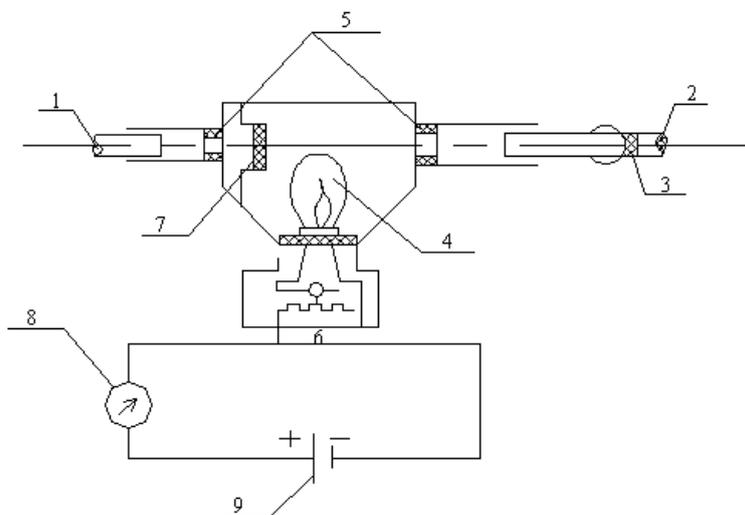
Оптический пирометр с "исчезающей нитью". Один из принципов измерения температуры основан на зависимости яркости излучения сильно нагретого тела от его температуры. Приборы, работающие на этом принципе, называются пирометрами.

В оптическом пирометре с "исчезающей нитью" используется визуальное (глазом наблюдателя) сравнение яркости нагретого тела и яркости нити, установленной внутри пирометра. Оптический пирометр состоит из объектива 1, окуляра 2, красного светофильтра 3, вольфрамовой нити, размещенной в пирометрической лампе 4, телескопа 5, реостата 6, поглощающего стекла 7, измерительного прибора 8 и источника питания 9 (рис. 1.9).

Для измерения температуры нагретого тела телескоп направляют на

излучающее тело. При помощи реостата меняют накал вольфрамовой нити, пока она не "исчезнет" на фоне излучающего тела, т.е. яркость тела, и нити будут одинаковыми, а, следовательно, будут одинаковыми их температуры.

Измерительная шкала оптического пирометра



отградуирована в °С. Оптические пирометры выпускаются двухшкальные.

Если необходимо измерить температуры больше 1400 °С (верхний предел накала вольфрамовой нити), то перед пирометрической лампой устанавливается поглощающее стекло и измерение температуры излучающего тела будет приводиться по второй шкале. Расстояние от телескопа до измеряемого тела - не меньше 0,7 м, не больше 5-6 м.

Интервал измеряемых температур оптических пирометров с "исчезающей нитью" от 700 °С до 8000 °С.

Радиационный пирометр. Радиационный пирометр основан на тепловом действии лучей нагретого тела, температуру которого необходимо измерить. Концентрация лучей обычно производится вогнутым зеркалом или линзой. В качестве теплочувствительного элемента в радиационном пирометре применяют термобатарейку из нескольких термопар, на горячих спаях которых концентрируются лучи источника.

Радиационный пирометр имеет неподвижную диафрагму, поэтому для наводки на фокус он оборудован подвижным окуляром и защитным стеклом (цветным или дымчатым) для защиты глаз при измерении высоких температур.

Радиационные пирометры позволяют измерить температуру в диапазоне от 400 до 3500 °С. Оптимальное расстояние до измеряемого тела $1 \pm 0,3$ м.

4. ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ

Отчет по работе состоит из:

- 1) краткого описания изученных приборов для измерения температура;
- 2) принципиальных схем этих манометров;
- 3) протокола измерения давления, перепада давления и разрежения.

Лабораторная работа № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ЦИЛИНДРА

Целью работы является углубление знаний по теории теплопроводности и экспериментальное определение одним из методов коэффициента теплопроводности изоляционных материалов.

В результате работы должны быть усвоены:

- 1) физическая сущность процесса теплопроводности;
- 2) содержание закона Фурье и его приложение к телам простой геометрической формы;
- 3) понятие о коэффициенте теплопроводности и одном из методов его определения.

К выполнению лабораторной работы разрешается приступить после предварительной проработки следующей литературы:

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С., Теплопередача. Гл. 1 § 2.2 М.: Энергия, 1975.
2. Осипова В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. Гл. 1 § 2-4 М.: Энергия 1979.

Продолжительность лабораторного занятия - 4 часа.

I. ЗАДАНИЕ

1. Найти значение коэффициента теплопроводности исследуемого материала при различных температурах.
2. Составить отчет по выполненной работе.

II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Явление теплопроводности представляет собой процесс распространения тепловой энергии при непосредственном соприкосновении частиц тела или отдельных тел, имеющих различные температуры. Теплопроводность обусловлена движением микрочастиц вещества.

По закону Фурье тепловой поток dQ , проходящий через элемент изотермической поверхности dF , за время dt , пропорционален градиенту температуры

$$dQ = -\lambda dt/dn dF d\tau \quad (1)$$

Проинтегрировав это уравнение для цилиндрического слоя, получим:

$$Q = \frac{2\pi\lambda\ell(t_1 - t_2)}{\ln d_2 / d_1} \quad (2)$$

где ℓ - длина цилиндрического слоя, м; d_1 и d_2 - внутренний и наружный диаметры цилиндрического слоя, м; t_1 и t_2 - среднеарифметические температуры

внутреннего и наружного слоя изоляции;

Q - количества тепла, которое проходит в единицу времени, Вт;

λ - коэффициент теплопроводности изоляционных материалов, Вт/мК. Для различных веществ коэффициент теплопроводности различен и для каждого из них зависит от структуры, объемного веса, влажности, давления и температуры.

III. ОПИСАНИЕ ОПЫТНОЙ УСТАНОВКИ

Установка (рис.4.1) состоит из трубы 1 длиной $l = 1,49$ м, цилиндрического слоя изоляции внутренним диаметром $d=34$ мм наружным $d_2=60$ мм. Внутри трубы заложен электрический нагреватель 6. Сила тока регулируется лабораторным трансформатором 2, а расходуемая мощность определяется по показаниям вольтметра и амперметра. Температуры исследуемого материала измеряются шестью медь-константовыми термопарами, горячие спаи которых заложены на внутренней и наружной поверхностях изоляционного слоя, по 3 в каждом слое.

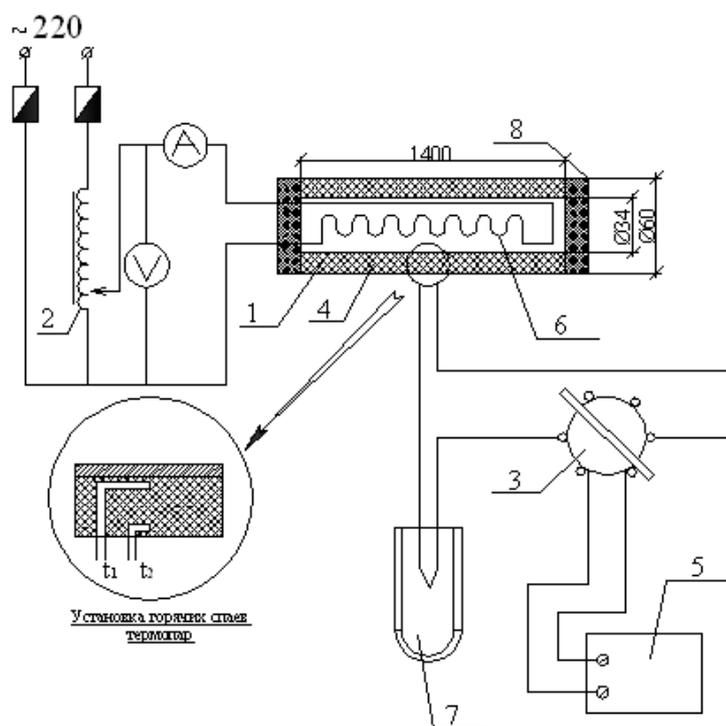


Рис.4.1

Холодные спаи термопар помещены в сосуд с тающим льдом 7. Термопары через переключатель 3 подсоединяют к потенциометру 5. Для пересчета термо-ЭДС, измеряемой потенциометром, в градусы приводится приложение 2.

Для достижения одномерного теплового потока длина трубы взята значительно больше, чем ее диаметр, торцы трубы защищены тепловой изоляцией 8 и электрический нагреватель равномерно распределен по длине трубы.

Таблица 4.1

Запись наблюдений и результатов опытов.

N режима	N замера	\mathfrak{F}_1 А	Δt В	Q Вт	t_1						t_1 $^{\circ}\text{C}$	t_2						t_2 $^{\circ}\text{C}$	Δt $^{\circ}\text{C}$	λ Вт м К
					t_1^I		t_1^{II}		t_1^{III}			t_2^I		t_2^{II}		t_2^{III}				
					МВ	$^{\circ}\text{C}$	МВ	$^{\circ}\text{C}$	МВ	$^{\circ}\text{C}$		МВ	$^{\circ}\text{C}$	МВ	$^{\circ}\text{C}$	МВ	$^{\circ}\text{C}$			
	1. 2. 3.																			
	Средний																			
	1. 2. 3.																			
	Средний																			
	1. 2. 3.																			
	Средний																			
	1. 2. 3.																			
	Средний																			

Таблица 4.2

Градуировочная таблица мед - константовых термопар.

t, °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	1,18	1,22	1,26	1,30	1,34	1,38	1,42	1,46	1,50	1,54
4	1,58	1,62	1,66	1,70	1,74	1,78	1,81	1,85	1,89	1,93
50	1,97	2,01	2,05	2,09	2,13	2,17	2,22	2,27	2,32	2,36
60	2,41	2,46	2,51	2,56	2,61	2,66	2,71	2,76	2,80	2,85
70	2,90	2,95	2,00	3,05	3,10	3,14	3,19	3,24	3,29	3,34
80	3,39	3,44	3,49	3,54	3,58	3,63	3,68	3,73	3,78	3,83
90	3,88	3,93	3,97	4,02	4,07	4,12	4,17	4,22	4,26	4,31
100	4,36	4,41	4,46	4,51	4,56	4,60	4,65	4,70	4,75	4,80
110	4,85	4,90	4,94	4,99	5,04	5,09	5,14	5,19	5,23	5,28
120	5,33	5,38	5,43	5,48	5,52	5,57	5,62	5,67	5,72	5,77

IV. ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТОВ И ОБРАБОТКА ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

После изучения описания и ознакомления с опытной установкой необходимо заготовить форму табл. 2 для записи наблюдений, проверить правильность включения измерительных приборов и наличие льда в сосуде с холодными спаями термодпар. После проверки схемы преподавателем можно включить установку и приступить к проведению опытов. Через каждые 10-15 мин. производить запись в таблицу всех показаний измерительных приборов до наступления установившегося теплового состояния системы. Следующий опыт производится при другом температурном режиме: для этого нужно изменить силу тока, питающего нагреватель.

Включение и выключение электрического питания, равно как и изменения режима работы установки, производится в присутствии преподавателя. Для обработки результатов нужно использовать лишь данные, полученные при установившемся тепловом состоянии системы. Обычно берут средние значения последних трех записей. Коэффициент теплопроводности исследуемого материала вычисляется из уравнения (2):

$$\lambda = \frac{Qlnd_2 / d_1}{2\pi l(t_1 - t_2)}, \quad \text{Вт/м К. (3)}$$

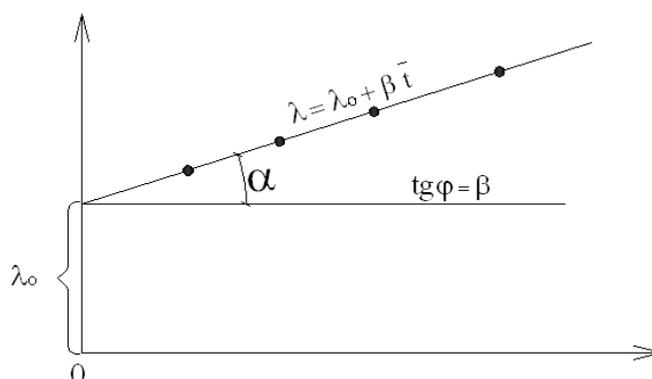
Количество тепла Q определяется по мощности, потребляемой электрическим нагревателем:

$$Q = I \Delta U, \quad \text{Вт, (4)}$$

где I - сила тока в нагревателе, А;

ΔU - падение напряжения в нагревателе; W . Значение коэффициента теплопроводности относят к средней температуре исследуемого материала

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2}, \quad ^\circ\text{C} \quad (5)$$



Получив значение λ при трех-четырех температурах, необходимо построить график зависимости коэффициента теплопроводности от средней температуры исследуемого материала (рис.2). Известно, что прямая зависимости коэффициента теплопроводности изоляционных материалов описывается уравнением

$$\lambda = \lambda_0 + \nu t, \quad \text{Вт/мК} . \quad (6)$$

Из построенного графика необходимо определить λ_0 - коэффициент теплопроводности исследуемого материала при 0°C и коэффициент ν .

V. ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ

Отчет по работе должен содержать:

- 1) краткое описание работы;
- 2) принципиальную схему установки;
- 3) таблицу записей показаний измерительных приборов и результатов их обработки;
- 4) график зависимости коэффициента теплопроводности от температуры и найденные значения λ_0 и ν .

Лабораторная работа № 3

ТЕПЛООТДАЧИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБЫ ПРИ СВОБОДНОМ ДВИЖЕНИИ ВОЗДУХА

I. НАЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Задачей работы является закрепление знаний по теории теплоотдачи при свободном движении жидкости и получение навыков в проведении экспериментов.

В результате работы должен быть изучен конвективный теплообмен при свободном движении жидкости в большом объеме, а также получена зависимость коэффициента теплоотдачи от температурного напора.

К лабораторной работе следует приступить после проработки литературы:

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. Гл.Х. М.: Энергия, 1981.

2. Осипова В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. М.: Энергия, 1979.

Длительность работы -4 ч.

II. ЗАДАНИЕ

1. Определить значение среднего коэффициента теплоотдачи от горизонтальной трубы при свободном движении воздуха и установить его зависимость от температурного напора.

2. Обработать результаты опытов и представить их в обобщенном критериальном виде.

III. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Свободным называется движение жидкости, обусловленное разностью плотностей нагретых и холодных частиц.

В случае нагретой трубы, помещенной в воздухе, последний нагревается и плотность его уменьшается. В результате нагретые частицы воздуха поднимаются вверх, а на их место поступают холодные частицы.

Количество переносимого тепла будет тем больше, чем больше скорость движения воздуха, а она будет тем больше чем больше температурный напор между стенкой и окружающей средой. Следовательно, теплоотдача, в первую очередь, определяется разностью температур стенки и окружающей среды. Кроме того, интенсивность теплоотдачи зависит также от физических свойств среды, от формы, положения поверхности и ряда других факторов.

Коэффициент теплоотдачи определяется из закона Ньютона -Рихмана:

$$\alpha = \frac{Q_k}{F(t_c - t_{жк})}, \text{ Вт/м}^2\text{К} \quad (1)$$

где Q_k - количество тепла, переданное нагретой трубой путем конвекции, Вт;
 F - поверхность трубы, м² ;
 t_c - средняя температура поверхности тела, °С;
 $t_{жк}$ - средняя температура жидкости (воздуха), °С.

IV. ОПИСАНИЕ ОПЫТНОЙ УСТАНОВКИ

Опытная установка (рис.5.1) размещена в комнате с относительно устойчивой температурой. Горизонтальная медная труба 1 диаметром $d=32$ мм и длиной $\ell=1490$ мм обогревается равномерно расположенным внутри электрическим нагревателем (2).

Потребляемая электронагревателем мощность регулируется лабораторным автотрансформатором ЛАТР-1 (5) и измеряется вольтметром (6) и амперметром (7). Для уменьшения потерь тепла через торцы труб они тщательно изолированы. Для измерения температуры теплоотдающей поверхности в стенки трубы заложены восемь медь-константановых термопар (3), холодные спаи которых находятся в сосуде Дьюара (8) с тающим льдом. Измерение электродвижущей силы термопар производится с помощью лабораторного потенциометра ГШ-63 (9). Для перевода ЭДС термопар в градусы приведена градуировочная таблица. Температура воздуха измеряется вдали от трубы ртутным термометром.

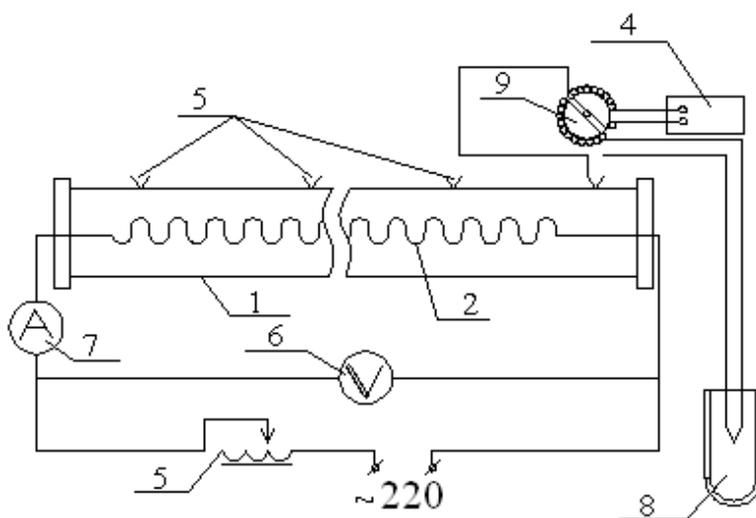


Рис 5.1

V. ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТОВ

После ознакомления с теоретическими основами работы и описания опытной установки необходимо заготовить форму протокола для записи наблюдений и проверить правильность включения измерительных приборов.

После проверки схемы преподавателем можно приступить к проведению опыта. Все измерения производятся при установившемся тепловом состоянии. Это состояние характеризуется неизменным показанием приборов во времени и устанавливается через 30-40 мин после включения установки или изменения режима ее работы. После того как тепловое состояние установится, необходимо для данного режима провести 3-4 записи показаний всех приборов через каждые 6-10 мин. Режим работы установки меняется не менее 4 раз. Включение установки и изменение режима ее работы производится преподавателем.

VI. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА

Количество теплоты передаваемое опытной трубой окруженной воздухом путем конвекции, определяется из равенства

$$Q_k = Q - Q_l, \text{ Вт}, \quad (2)$$

Где $Q=I\Delta U$ -полное количество тепла, выделяющееся внутри трубы и передаваемое во внешнюю среду путем конвекции и лучеиспускания, Вт;

I - сила тока, А;

ΔU - падение напряжения, В;

Q_l - количество тепла, передаваемое трубой тепловым излучением, кВт

$$Q_l = C_{np} \left[\left(\frac{T_{c1}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{c2}}{100} \right)^4 \right] F, \text{ Вт}, \quad (3)$$

Где C_{np} - приведенный коэффициент излучения.

Поверхность окружающих тел во много раз больше, чем поверхность опытной трубы. Поэтому можно принять, что приведенный коэффициент излучения равен коэффициенту излучения опытной трубы.

$$C_{np} = C = 4,25, \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$$

T_{c1}, T_{c2} - абсолютные температуры опытной трубы и окружающих ее тел; T_{c2} принимается равной температуре окружающего воздуха.

В качестве расчетной температуры поверхности опытной трубы принимаются среднеарифметическая из замеров в восьми точках.

Определив из уравнения (1) значение a не менее чем для 4 режимов работы установки, строим график $\alpha=f(\Delta t)$ (4)

Графическая зависимость строго справедлива только лишь для исследуемой опытной трубы. Для распространения результатов экспериментов на другие трубы необходимо расчетные данные обобщить с помощью критериальной зависимости

$$Nu_{ж,d} = f(Gr \cdot Pr)$$

Где $Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}$ - критерии Нуссельта;

$Gr = \frac{g\beta\Delta t d^3}{\nu^2}$ - критерии Грасгофа;

$Pr = \frac{\nu}{a}$ - критерий Прандтля;

λ - коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/м К;

a - коэффициент температуропроводности воздуха, м²/с;

ν - коэффициент кинематической вязкости воздуха, м²/с;

Δt - температурный напор, °С;

$\beta = \frac{1}{t_{жс} + 273 K}$ коэффициент объемного расширения воздуха;

$g = 9,811$ - ускорение силы тяжести, м²/с.

Физические параметры (λ , Δ , ν , β , Pr) выбираются из прилож. 3 по температуре воздуха вдали от стенки трубы.

Полученные значения критериев подобия для каждого режима работы установки наносят на график в логарифмической системе координат (рис.5.2).

Уравнение полученной прямой имеет вид:

$$LgNu_{жс,d} = LgC + nLg(Gr \cdot Pr)_{жс,d} \quad (6)$$

Показатель степени n определяется тангенсом угла наклона прямой к оси абсцисс, а постоянная C находится из соотношения для любой точки прямой:

$$n = \operatorname{tg}\varphi$$

$$C = \frac{Nu_{жс,d}}{(Gr \cdot Pr)_{жс,d}^n}.$$

VII. ОТЧЕТ ПО ВЫПОЛНЕННОЙ РАБОТЕ.

Отчет по работе должен содержать:

- 1) краткое описание работы;
- 2) принципиальную схему установки;
- 3) протокол записи измерений;
- 4) расчет погрешности экспериментов;
- 5) графики зависимости коэффициента теплоотдачи от температурного напора и зависимости между критериями подобия.

Таблица 5.1

Физический свойства Сухово воздуха при $P=1,01 \cdot 10^5$ Па

$t, ^\circ\text{C}$	$\lambda \cdot 10^{-2}$ Вт/мК	$\alpha \cdot 10^{-6}$ м ² /с	$\nu \cdot 10^{-6}$ м ² /с	Pr
0	2,44	18,8	13,28	0,707
10	2,51	20,0	14,16	0,705
20	2,59	21,4	15,06	0,703
30	2,67	22,9	16,00	0,701
40	2,76	24,3	16,96	0,699
50	2,83	25,7	17,95	0,698
60	2,90	27,2	18,97	0,696
70	2,96	28,6	20,02	0,694
80	3,05	30,02	21,09	0,692
90	3,13	31,9	22,10	0,690
100	3,21	33,6	23,13	0,688
110	3,28	35,2	24,29	0,687
120	3,34	36,8	25,45	0,686
140	3,49	40,3	27,80	0,684
160	3,64	43,9	30,09	0,682

Таблица 5.3

Градуировочная таблица мед-константовых термонар

$t, ^\circ\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	1,18	1,22	1,26	1,30	1,34	1,38	1,42	1,46	1,50	1,54
40	1,58	1,62	1,66	1,70	1,74	1,78	1,81	1,85	1,89	1,93
50	1,97	2,01	2,05	2,09	2,13	2,17	2,22	2,27	2,32	2,36
60	2,41	2,46	2,51	2,56	2,61	2,66	2,71	2,76	2,80	2,85
70	2,90	2,95	2,00	3,05	3,10	3,14	3,19	3,24	3,29	3,34
80	3,39	3,44	3,49	3,54	3,58	3,63	3,68	3,73	3,78	3,83
90	3,88	3,93	3,97	4,02	4,07	4,12	4,17	4,22	4,26	4,31
100	4,36	4,41	4,46	4,51	4,56	4,60	4,65	4,70	4,75	4,80
110	4,85	4,90	4,94	4,99	5,04	5,09	5,14	5,19	5,23	5,28
120	5,33	5,38	5,43	5,48	5,52	5,57	5,62	5,67	5,72	5,77

Таблица 5.2

Запись наблюдений и результатов опытов

№	Сила тока I, А	Напряжение, ΔU , В	t ₁		t ₂		t ₃		t ₄		t ₅		t ₆		t ₇		t ₈		Ср. темп. Стенки t _c , °С	Темп. Воздуха t _ж , °С	Темп напор	Q _k	Q _k	α		

