

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ (МИИТ)

---

Кафедра теплоэнергетики железнодорожного транспорта

А.В.Костин, И.И.Фроликов, Н.Б.Горячкин

**ПРИБОРЫ ДЛЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Методические указания к лабораторным работам

по дисциплинам

«Теплотехника»,  
«Термодинамика и теплопередача»

Москва-2005

УДК 621.1.016.

К72

Костин А.В., Фроликов И.И., Горячкин Н.Б. Приборы для теплотехнических измерений:

Методические указания к лабораторным работам по дисциплинам «Теплотехника», «Термодинамика и теплопередача».- М.:МИИТ, 2005.-24с.

В методических указаниях рассмотрены конструкции и принцип действия приборов, используемых при выполнении лабораторных работ по дисциплинам «Теплотехника», «Термодинамика и теплопередача».

© Московский государственный университет  
путей сообщения (МИИТ), 2005

### **Цель работы.**

Ознакомление с конструкцией и принципом действия приборов, используемых при выполнении лабораторных работ по дисциплинам «Теплотехника» и «Термодинамика и теплопередача».

### **Измерение температуры**

Температура - термодинамический параметр, количественно характеризующий меру средней кинетической энергии поступательного движения молекул какого-либо тела или вещества. Из определения температуры следует, что она не может быть измерена непосредственно и судить о ней можно по изменению какого либо физического свойства тела или вещества (объема, давления, электрического сопротивления, термоЭДС, интенсивности излучения и т.д.). Соответственно существует большое количество приборов, используемых для измерения температуры: стеклянные жидкостные, манометрические, термоэлектрические термометры, термометры сопротивления, пирометры и др.

Наиболее часто для определения температуры пользуются двумя шкалами: стоградусной температурной шкалой, предложенной А. Цельсием (A. Celsius) в 1742 году и так называемой термодинамической шкалой температур, предложенной в начале 19 века английским ученым лордом Кельвином (Kelvin). Температура Цельсия обозначается  $t$  и выражается в градусах Цельсия,  $^{\circ}\text{C}$ . Температура Кельвина обозначается  $T$  и выражается в Кельвинах,  $\text{K}$ . Кельвин равен  $1/273,16$  части термодинамической температуры

тройной точки воды. По размеру один градус Цельсия равен одному Кельвину ( $1^{\circ}\text{C}=1\text{K}$ ). Связь между рассмотренными шкалами  $T=t+273,15$ .

Для обеспечения соответствия значений температуры, измеренной в различных местах земного шара различными средствами измерения, создана Международная практическая температурная шкала (МПТШ), построенная таким образом, чтобы измеренная по ней температура была близка к термодинамической температуре. За единицу температуры в этой шкале принят Кельвин.

**Термометры стеклянные жидкостные.** Принцип их действия основан на различии коэффициентов объёмного расширения термометрического вещества (ртуть, спирт и т.д.) и оболочки, в которой оно находится (обычно термометрическое стекло). В основном выпускают термометры двух типов: палочные, рис. 1а и с

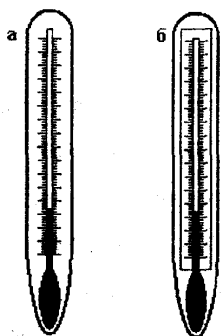


Рис.1.

вложенной шкалой, рис.1б. Палочные термометры имеют толстостенный капилляр, на наружной поверхности которого нанесена шкала. Вторая конструкция характеризуется тем, что шкала нанесена на прямоугольной пластине из молочного стекла, вложенной внутрь оболочки. Термометры с вложенной шкалой более инерционны, но удобнее для наблюдений. В теплотехнических исследованиях применяют, как правило, лабораторные

термометры с вложенной шкалой с ценой деления от 0,01 до 2°C. Их нижний предел измерения от -30 до +300°C, верхний от +20 до +600°C. В случаях, когда не требуется повышенная точность измерений иногда применяют технические термометры с вложенной шкалой с ценой деления от 0,5 до 5°C. Их нижний предел измерения от -90 до 0°C, верхний от +30 до +600 °C.

Стеклянные жидкостные термометры получили широкое распространение вследствие достаточно высокой точности и простоты измерений. К недостаткам можно отнести: невозможность автоматической записи показаний, невозможность ремонта, плохую видимость шкалы.

**Манометрические термометры.** Принцип их действия основан на изменении давления газа, жидкости или насыщенного пара в замкнутом объёме в зависимости от температуры. Измерительная система этих приборов (рис.2) состоит из металлического термобаллона 1, воспринимающего температуру среды, манометра 3, измеряющего давление в системе, шкала которого проградуирована в градусах Цельсия и гибкого металлического соединительного капилляра 2.

Выпускают следующие разновидности манометрических термометров: газовые термометры для измерения температуры в интервале от -50 до +600°C при давлении измеряемой среды до 25 МПа, жидкостные манометрические термометры для измерения температуры в интервале от -50 до +300°C, конденсационные манометрические термометры для измерения температуры в интервале от -25 до +300°C при давлении измеряемой среды до 2,5 МПа.

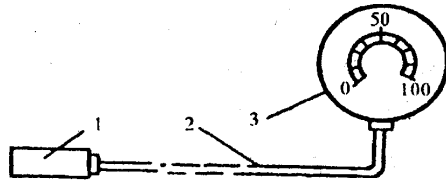


Рис. 2.

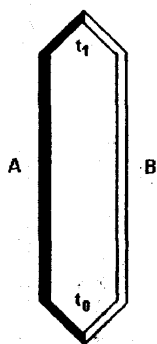
К преимуществам манометрических термометров можно отнести простоту конструкции, возможность дистанционного измерения и автоматической записи температуры. Они могут работать в условиях вибрации, а также во взрыво- и пожароопасных помещениях. Недостатками являются: невысокая точность измерений, небольшая длина передачи сигнала (до 60 м.), трудность ремонта.

**Термоэлектрические термометры (термопары).** Принцип их действия основан на термоэлектрических явлениях, в результате которых в цепи, состоящей из двух разнородных проводников (термоэлектродов) А и В, рис.3, возникает термоэлектродвижущая сила (термоЭДС) зависящая от температуры  $t_1$  и  $t_0$  в местах соединения проводников. Это явление было открыто немецким физиком Т. Зеебеком (Т. Seebeck) в 1821 г.

Результующую термоЭДС в цепи можно определить как

$$E_{AB}(t_1, t_0) = e_{AB}(t_1) - e_{AB}(t_0)$$

где  $e_{AB}(t_1)$  и  $e_{AB}(t_0)$  – контактные разности потенциалов в местах соединения проводников.



Таким образом, если измерить величину термоЭДС в цепи, то можно судить или о разности температур  $(t_1 - t_0)$ , вызвавшей эту термоЭДС, или если известна одна из температур, определить другую. Обычно  $t_0$  поддерживают постоянной и равной  $0^\circ\text{C}$  («холодный спай»). При этом результирующая термоЭДС

Рис.3.

$$E_{AB}(t_1, 0) = F(t)$$

Полученную зависимость определяют при градуировке термопары методом сравнения её показаний с показаниями образцового термометра. Если температура «холодного» спая отличается от  $0^\circ\text{C}$  то при измерениях следует вводить поправку в термоЭДС.

$$E_{AB}(t_1, 0) = E_{AB}(t_1, t_0) + E_{AB}(t_0, 0)$$

ТермоЭДС термометра не изменится, если в цепь включить измерительный прибор, и температура мест его подсоединения  $t_{\text{ин}}$  будет одинаковой.

Измерительный прибор может включаться или в термоэлектрод, рис.4а, или в разорванный «холодный спай», рис.4б. Величина термоЭДС в обоих случаях будет одинаковой. При измерении по схеме (б) «холодные» концы проводников спаивают с медными удлинительными (компенсационными) проводами 1.

Для повышения точности измерений используют так называемые гипертермопары, рис.4в.

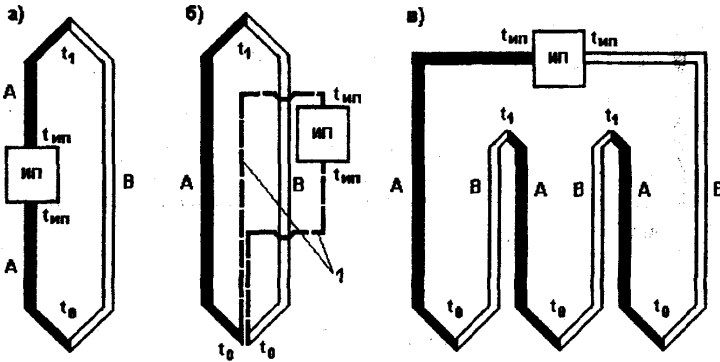


Рис.4.

Промышленностью выпускаются стандартные термоэлектрические термометры пяти типов из благородных и неблагородных металлов и сплавов.

Платинородий-платиновые термоэлектрические термометры (ТПП) применяются для измерения температур в диапазоне  $0 \div +1300^\circ\text{C}$  в окислительной и нейтральной среде. Положительным термоэлектродом у этих термометров является платинородий (сплав 90% Pt и 10% Rh), отрицательным – чистая платина. Они имеют наибольшую точность, поэтому используются в качестве эталонных измерителей температуры.

Платинородий-платинородиевые термоэлектрические термометры (ТПР) применяются для измерения температур в диапазоне  $+300 \div +1600^\circ\text{C}$  в различных средах, включая расплавленные металлы. Положительным электродом у этих термометров является



платинородий (сплав 70% Pt и 30% Rh), отрицательным - платинородий (сплав 94% Pt и 6% Rh).

Хромель-копелевые термоэлектрические термометры (ТХК) применяются для измерения температур в диапазоне  $-50 \div +600^{\circ}\text{C}$  в различных средах. Положительным термоэлектродом у этих термометров является хромель, представляющий собой жаропрочный немагнитный сплав на никелевой основе (80% Ni, 9,8% Cr, 10% Fe, 0,2% Mn). Отрицательный термоэлектрод – копель, сплав из меди и никеля (56% Cu, 44% Ni).

Хромель-алюмелевые термоэлектрические термометры (ТХА) применяются для измерения температур газовых сред, пара и жидкостей в диапазоне  $-50 \div +600^{\circ}\text{C}$ . Положительным термоэлектродом у этих термометров является хромель, отрицательным служит алюмель, представляющий собой магнитный сплав на никелевой основе (94% Ni, 2% Al, 2,5 Mn, 1% Si, 0,5% примесей).

Вольфрамрений-вольфрамрениевые термоэлектрические термометры (ТВР) применяются для измерения температур в диапазоне  $0 \div +1800^{\circ}\text{C}$  в газовых средах. Положительным термоэлектродом у этих термометров является сплав вольфрама и рения (95% W и 5% Re), отрицательным – сплав вольфрама и рения (80% W и 20% Re).

В качестве материалов для термоэлектродов могут также применяться медь, константан, серебро, нихром, марганган и другие.

Измерение термоЭДС термоэлектрического термометра производится или прямым методом, с помощью милливольтметров магнитоэлектрической системы или компенсационным методом с использованием потенциометров. Принцип действия милливольт-

метра основан на использовании силы взаимодействия магнитного поля постоянного магнита на проводники, по которым течёт постоянный ток. Данный метод достаточно прост, однако обладает рядом недостатков, главным из которых является нестабильность показаний прибора при изменении температуры окружающей среды, влияющей на величину тока в цепи прибора.

Более высокую точность измерений можно получить компенсационным методом. Принцип компенсационного метода основан на уравнивании (компенсации) измеряемой термоЭДС известным напряжением, создаваемым стабильным источником постоянного тока (нормальным элементом).

К числу достоинств термоэлектрических термометров следует отнести достаточно высокую точность измерений, возможность централизации контроля температуры путем присоединения нескольких термоэлектрических термометров через переключатель к одному измерительному прибору, возможность автоматической записи измеряемой температуры с помощью самопишущего прибора.

**Термометры сопротивления.** Принцип их действия основан на зависимости электрического сопротивления проводников и полупроводников от температуры. Известно, что температурный коэффициент электрического сопротивления металлов положительный (сопротивление возрастает при повышении температуры), а полупроводников – отрицательный (сопротивление уменьшается при повышении температуры). Это объясняется различием в их молекулярном строении.

В качестве материала для изготовления термометров сопротивления используются как чистые металлы, так и ряд полупроводников. В настоящее время наибольшее распространение получили термометры сопротивления из платины и меди. Наилучшим материалом для изготовления термометров сопротивления является платина. Из неё изготавливают лабораторные, технические термометры, образцовые термометры для проверки технических и эталонных термометров.

Для платинового термометра в интервале температур от 0°C до 630°C электрическое сопротивление связано с температурой зависимостью

$$R_t = R_0 \cdot (1 + A \cdot t + B \cdot t^2)$$

где постоянные  $A$ ,  $B$  и электрическое сопротивление термометра  $R_0$  при 0°C определяются при градуировке термометра.

Для медного термометра в интервале температур от -50°C до +200°C зависимость электрического сопротивления от температуры имеет вид

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t)$$

где  $\alpha$  - температурный коэффициент электрического сопротивления.

Чувствительные элементы платиновых и медных термометров сопротивления изготавливают намоткой проволоки диаметром 0,05-0,1 мм на каркас изоляционного материала. Для защиты чувстви-

тельного элемента от повреждения его помещают в защитную кварцевую гильзу, заполняемую изолирующим материалом с последующей герметизацией чувствительного элемента.

### Измерение давления

Абсолютное давление, отсчитываемое от абсолютного вакуума, с точки зрения молекулярно-кинетической теории, является средним результатом ударов молекул о поверхность, ограничивающую объём, занимаемый рабочим телом. Давление имеет размерность силы, отнесённой к единице площади поверхности. Поэтому основной единицей измерения давления в Международной системе единиц является Паскаль (Па).  $1\text{Па} = 1\text{ Н/м}^2$ . При измерениях давления в технике пользуются кратными единицами  $1\text{МПа}=10^6\text{Па}$ ,  $1\text{кПа}=10^3\text{Па}$ . Применяются также внесистемные единицы давления: техническая атмосфера  $1\text{ат}=1\text{кгс/см}^2$ , миллиметр водяного столба, миллиметр ртутного столба, бар.

Соотношения между единицами измерения давления приведены в табл.1.

При теплотехнических измерениях следует различать абсолютное, избыточное (манометрическое) и вакууметрическое давление. Если абсолютное давление измеряемой среды  $P_{\text{абс}}$  больше атмосферного давления  $P_{\text{бар}}$ , то избыточное давление  $P_{\text{изб}} = P_{\text{абс}} - P_{\text{бар}}$  измеряется манометром. Если абсолютное давление меньше атмосферного давления, то вакууметрическое давление (разрежение)  $P_{\text{вак}} = P_{\text{бар}} - P_{\text{абс}}$  измеряется вакууметром. Атмосферное давление измеряется барометром.

Таблица 1 Соотношения между единицами давления

Единица	Па	кгс/см <sup>2</sup>	бар.	мм.вод. ст.	мм.рт.ст.
1Па	1	$0,10197 \cdot 10^{-4}$	$10^{-5}$	0,10197	$7,5006 \cdot 10^{-3}$
1 кгс/см <sup>2</sup>	$9,80665 \cdot 10^4$	1	0,980665	$10^4$	735,56
1бар	$10^5$	1,0197	1	10197	750,06
1мм.вод. ст.	9,80665	1	$10^{-4}$	1	$73,56 \cdot 10^{-3}$
1мм.рт. ст.	133,322	$13,595 \cdot 10^{-4}$	$1,3332 \cdot 10^{-3}$	13,595	1

По принципу действия приборы для измерения давления подразделяются на: жидкостные, с упругими чувствительными элементами, грузопоршневые, электрические.

**Жидкостные приборы.** Принцип их действия основан на уравнивании измеряемого давления (разности давлений) давлением столба жидкости (разностью давлений столбов жидкости). Для жидкостных U-образных манометров, (рис.5)

$$P = P_1 - P_2 = h \cdot (\rho - \rho_c) \cdot g$$

где  $h$  – высота столба жидкости (разность высот столбов жидкости);  $\rho$  – плотность рабочей жидкости;  $\rho_c$  – плотность среды над рабочей жидкостью;  $g$  – ускорение силы тяжести.

Если  $\rho \gg \rho_c$ , что часто имеет место, то выражение упрощается

$$P = h \cdot \rho \cdot g$$

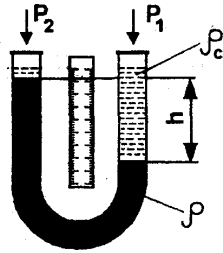


Рис.5.

Погрешность измерения U-образных манометров составляет  $\pm 2$  мм. Пределы измерений (до  $10^5$  Па) зависят от геометрических размеров манометров и плотности рабочей жидкости, в качестве которой обычно применяются: ртуть, вода, иногда другие жидкости.

U-образный манометр может быть использован как вакуумметр, а также как дифференциальный манометр для измерения разности давлений. В этом случае обе его трубки присоединяют к местам измерения давлений.

Для удобства и повышения точности измерений применяют жидкостные чашечные манометры, рис.6.

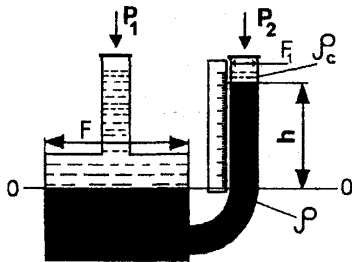


Рис.6.

Обычно  $F_1/F < 0,01$ , что позволяет измерять давление с достаточной точностью по одному уровню. Погрешность измерения чашечных манометров составляет  $\pm 1$  мм.

Для измерения малых давлений ( $10^2 \div 2 \cdot 10^3$  Па) применяют микроманометры с наклонной трубкой, рис.7.

В этих манометрах измеряемое давление определяется высотой  $h$  изменения уровня в узкой трубке и площадями сечений трубок  $F$  и  $F_1$ .  
При  $\rho \gg \rho_c$

$$P = h \cdot \rho \cdot g \cdot (1 + F_1/F)$$

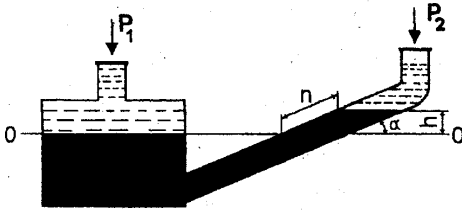


Рис.7.

Эти приборы являются чашечными манометрами, узкая трубка которых наклонена под определённым углом  $\alpha$ , имеющим несколько фиксированных значений. Изменяя угол наклона трубки, изменяются и пределы измеряемого давления.

$$P = n \cdot \rho \cdot g \cdot (F_1/F + \sin \alpha)$$

**Приборы с упругими чувствительными элементами.** Принцип их действия основан на использовании деформации упругих чувствительных элементов, воспринимающих давление среды.

Наибольшее распространение получили *приборы с трубчатой одновитковой пружиной*, рис.8. Они имеют очень широкий диапазон измерения давления ( $0 \div 10^9$  Па для манометров,  $10^{-5} \div 0$  Па – для вакууметров и  $10^{-5} \div 2,4 \cdot 10^6$  Па – для мановакууметров). Они просты по конструкции и имеют высокий класс точности.

Чувствительный элемент прибора 1 выполнен в виде согнутой по кругу на угол  $\varphi=270^\circ$  трубки круглого или эллиптического сечения. Конец трубки «А» закрыт и соединён через передаточный механизм 4 со стрелкой прибора 3. Открытый конец «В» трубки присоединён

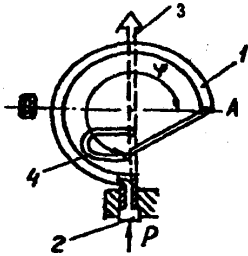


Рис.8. к штуцеру 2, через который внутренняя полость трубки соединяется с объектом измерения давления. Под влиянием измеряемого избыточного давления  $P$  трубка распрямляется (в случае измеряемого вакууметрического давления – сжимается) и через передаточный механизм поворачивает стрелку прибора. Угол поворота стрелки пропорционален измеряемому давлению, поэтому шкала таких приборов - равномерная.

К недостаткам приборов с трубчатой пружиной можно отнести нарушение стабильности показаний явлениями гистерезиса и остаточной деформации, что вызывает необходимость их ежегодной тарировки.

Для измерения небольших избыточных и вакууметрических давлений применяют так называемые *напормеры, тягомеры, тягонапормеры*, представляющие собой приборы с упругими или вялыми мембранными чувствительными элементами, рис.9.

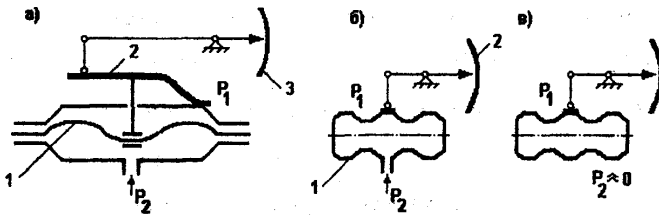


Рис.9.



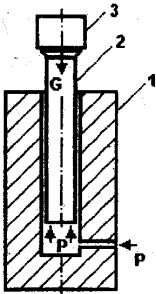
У приборов с вялыми мембранными чувствительными элементами (рис.9а) измеряемое давление  $P_2$ , воздействующее на чувствительный элемент 1, уравнивается усилием со стороны плоской противовоздействующей пружины 2, закреплённой одним концом на корпусе чувствительного элемента. Отклонение другого конца пружины служит мерой измеряемого давления, определяемого по шкале 3.

Приборы с упругими чувствительными элементами (рис.9б) выполняются в виде тонкостенных гофрированных металлических коробок. Внутренняя полость коробки соединена с измеряемой средой с давлением  $P_2$ . Снаружи на коробку действует атмосферное давление  $P_1$ . Деформация коробки служит мерой изменения давления, определяемого стрелкой по шкале 2.

Для измерения атмосферного давления применяют *барометры* (рис.9в). У этих приборов атмосферное давление  $P_1$  воздействует на герметически закрытую коробку, внутренняя полость которой находится под вакуумом  $P_2 \approx 0$ .

Напоромеры имеют пределы измерения давления  $0 \div 4 \cdot 10^4$  Па, тягомеры -  $-4 \cdot 10^4 \div 0$  Па, тягонапоромеры -  $-2 \cdot 10^4 \div 2 \cdot 10^4$  Па.

**Грузопоршневые приборы.** Являются наиболее точными (образцовыми) манометрами для измерения высоких давлений. Схема грузопоршневого манометра приведена на рис.10. Измеряемое давление  $P$  действует на свободно перемещающийся в цилиндре 1, заполненном жидкостью, поршень 2. Поршень тщательно притёрт к цилиндру. Давление на поршень уравнивается



вается силой  $G$ , создаваемой калиброванными грузами 3. Зная площадь поршня  $F$ , можно определить давление  $P$ .

$$P = G/F$$

Рис.10.

**Электрические приборы.** Применяют два типа электрических манометров: а) основанные на изменении электрических свойств материалов (например, электрического сопротивления) от давления; б) основанные на принципе упругоэлектрических свойств специальных элементов прибора, деформации которых измеряются тем или иным электрическим датчиком.

### Измерение расхода

При выполнении лабораторных работ часто ставится задача измерения количества вещества, проходящего через устройство или трубопровод, то есть задача измерения расхода. Расход, измеренный в единицах массы, отнесённой к единице времени, называется массовым расходом ( $\text{кг/с}$ ), а измеренный в единицах объёма, отнесённый к единице времени - объёмным расходом ( $\text{м}^3/\text{с}$ ). Для получения сопоставимых условий при измерениях объёмный расход должен быть приведён к нормальным техническим условиям ( $T=293,15\text{К}$ ,  $P=101325\text{Па}$ , относительная влажность  $\phi=0\%$ ).

Приборы, определяющие расход вещества, называют расходомерами. Расходомер может быть снабжен счетчиком (интегратором), показывающим массу или объем вещества, прошедшего через прибор за какой-либо промежуток времени. Такие приборы называют счётчиками количества.

В лабораторной практике наибольшее применение получили методы определения расхода с помощью напорных трубок, сужающих устройств, термоанемометров, расходомеров постоянного перепада давления (ротаметров), скоростных и объёмных счётчиков количества и электромагнитных расходомеров.

**Напорные трубки.** Принцип их действия основан на измерении местных скоростей потока среды. По уравнению Бернулли:

$$P_n - P_c = \rho w^2 / 2$$

или

$$w = \sqrt{2 \cdot (P_n - P_c) / \rho}$$

где  $P_n$  и  $P_c$  – соответственно, полное и статическое давления кинетической энергии потока среды, Па;  $\rho$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;  $w$  – скорость невозмущённого потока, м/с.

Зная скорость потока и площадь сечения канала  $F$ , можно найти массовый расход

$$G_m = \rho \cdot F \cdot w$$

На рис.11 представлена схема комбинированной пневмометрической трубки (трубки Пито). Трубку устанавливают в канале входным отверстием  $1$  навстречу потоку, что позволяет измерить

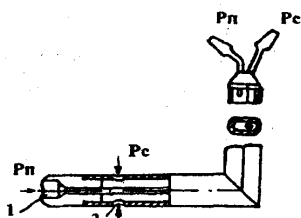


Рис. 11

полное давление (сумму статического и динамического давлений). Статическое давление измеряют через ряд отверстий 2 на внешней поверхности трубки. Разность полного и статического давлений измеряют дифференциальным манометром.

Трубка не будет заметно возмущать поток, если её площадь поперечного сечения будет меньше 0,25% от площади сечения канала. Поток перед трубкой должен быть установившимся, что достигается наличием перед трубкой прямого участка канала длиной  $L \geq 50 D_k$  (где  $D_k$  – диаметр канала). В противном случае необходимо определять поле скоростей по сечению канала, а затем среднюю скорость потока.

**Расходомеры с сужающими устройствами.** Принцип их действия основан на зависимости перепада давления в сужающем устройстве от скорости потока, а следовательно и расхода среды. Эта зависимость определяется соотношениями:

для массового расхода

$$G_m = \alpha \cdot \varepsilon \cdot F \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta P} = c_m \cdot F \cdot \sqrt{\Delta P}$$

для объёмного расхода

$$G_o = \alpha \cdot \varepsilon \cdot F \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P / \rho} = c_o \cdot F \cdot \sqrt{\Delta P}$$

где  $\alpha$  – коэффициент расхода сужающего устройства;  $\varepsilon$  – поправочный множитель на расширение среды;  $F$  – площадь отверстия сужающего устройства,  $m^2$ ;  $\Delta P = (P_1 - P_2)$  – перепад давле-

ния на сужающем устройстве, Па;  $\rho$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;  $c_m$ ,  $c_o$  – соответственно, градуировочные коэффициенты пропорциональности для определения массового и объёмного расходов.

В качестве сужающих устройств обычно применяют *диафрагмы, сопла, сопла Вентури*, соответственно рис.12а, 12б, 12в.

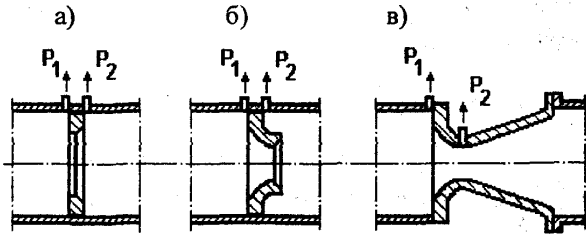


Рис.12.

В лабораторной практике для измерения небольших расходов,

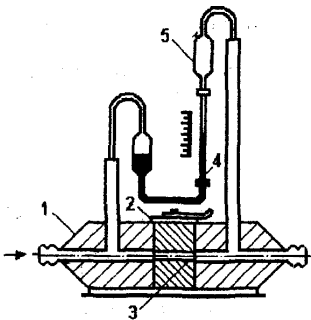


Рис.13.

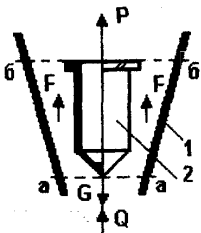
часто применяют *реометры*, рис.13, относящиеся к расходомерам с сужающими устройствами. В корпусе реометра 1 расположена поворотная коробка 2, имеющая ряд отверстий (сужающих устройств) 3 разного диаметра, расположенных в разных плоскостях и позволяющих изменять диа-

пазон измеряемого расхода. Перепад давлений до и после отверстия производится чашечным дифференциальным манометром 4.

Для предотвращения попадания рабочей жидкости дифференциального манометра в поток измеряемой среды при возрастании расхода сверх расчётного в верхней части правого колена имеется

расширительный сосуд 5, через отверстие в котором производится заполнение прибора рабочей жидкостью. При эксплуатации это отверстие закрыто пробкой.

В расходомерах с сужающими устройствами с постоянным перепадом давления, при изменении расхода среды величина  $\Delta P$  остаётся неизменной, но изменяется площадь проходного сечения расходомера  $F$ . Наиболее распространёнными приборами такого типа являются *ротаметры*, схема которого приведена на рис.14.



Поток среды протекает снизу вверх по конической стеклянной трубке 1, внутри которой помещён поплавок 2. На верхнем ободке поплавка имеются косые канавки, которые обеспечивают его устойчивость и самоцентрирование.

Рис.14. Под действием потока среды поплавок занимает определённое положение в трубке. При этом достигается равновесие сил, действующих на поплавок.

$$G = P + Q + F$$

где  $G$  – сила тяжести;  $P$  – подъёмная сила, возникающая за счёт разности статических давлений в сечениях а и б;  $P = (P_a - P_b) \cdot f$ ;  $f$  – наибольшая площадь сечения поплавка;  $Q$  – инерционная сила (динамический напор);  $F$  – сила трения.

Изменение расхода нарушает равновесие поплавка и вызывает его перемещение до тех пор, пока разность давлений до и после поплавка не изменится в результате изменения площади кольцевого зазора между конической трубкой и поплавком. По положению поплавка судят о расходе через ротаметр.

**Электромагнитные расходомеры.** Принцип их действия основан на зависимости электродвижущей силы, индуцируемой в электропроводящей среде, движущейся в магнитном поле от скорости среды

$$E = B \cdot D \cdot w_{cp}$$

где  $E$  – электродвижущая сила;  $B$  – магнитная индукция;  $D$  – диаметр канала;  $w_{cp}$  – средняя скорость потока

**Скоростные и объёмные счётчики количества.** Принцип действия скоростных счётчиков основан на измерении количества среды по числу оборотов турбины (вертушки), угловая скорость которой пропорциональна скорости среды проходящей через прибор.

Объёмные (камерные) счётчики имеют один или несколько подвижных элементов, которые при перемещении отмеряют определённые объёмы среды.

### Литература

1. Теплоэнергетика и теплотехника. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент (Серия "Теплоэнергетика и теплотехника") //Клименко А.В., Зорин В.М. М.: МЭИ, 2001.- 564 с.

2. Лабораторный практикум по термодинамике и теплопередаче: Учеб. Пособие для энергомашиностроительных специальностей вузов/В.Н.Афанасьев, С.И.Исаев и др.; Под ред. В.И.Крутова, Е.В.Шишова.- М.: Высшая школа, 1988.- 216 с.

## Содержание

Цель работы.....	3
Измерение температуры.....	3
Измерение давления.....	12
Измерение расхода.....	18
Литература.....	23

Учебно-методическое издание

Костин Александр Владимирович

Фроликов Илья Иванович

Горячкин Николай Борисович

Приборы для теплотехнических измерений

Методические указания к лабораторным работам

---

Подписано к печати - **05.12.2005** Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub> Тираж 100 экз.

Усл.печ.л. 1,5    Заказ - **670**,    Изд. № **201-05**.

---

127944, Москва, ул.Образцова, 15

Типография МИИТ