

Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

ГАЗОСНАБЖЕНИЕ

Методические указания к лабораторным работам

Составители Е. Е. Мариненко, П. П. Кондауров

Волгоград
ВолгГАСУ
2015



© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», 2015

УДК 696.2(076.5)
ББК 38.763я73
Г12

Газоснабжение [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторным работам / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т ; сост. Е. Е. Мариненко, П. П. Кондауров. — Электронные текстовые данные (535 Кбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2015. — Учебное электронное издание сетевого распространения. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

Рассмотрены методы определения плотности газа, современные методы учета расхода газа, важнейшие параметры газогорелочных устройств, алгоритм определения коэффициента полезного действия теплогенерирующего оборудования.

Для студентов, обучающихся по направлению «Строительство», профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция» всех форм обучения.

УДК 696.2(076.5)

ББК 38.763я73

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа № 1. Определение плотности природного газа пикнометрическим методом и методом истечения.....	4
Лабораторная работа № 2. Исследование эффективности работы газовых сопел.....	10
Лабораторная работа № 3. Определение теплопроизводительности, тепловой мощности и коэффициента полезного действия горелки бытовой газовой плиты.....	13
Лабораторная работа № 4. Измерение расхода газа с использованием газовых счетчиков и реометра.....	19
Лабораторная работа № 5. Испытание проточного газового водонагревателя.....	28
Лабораторная работа № 6. Изучение работы пункта редуцирования газа.....	32

Лабораторная работа №1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ПИКНОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ И МЕТОДОМ ИСТЕЧЕНИЯ

Цель работы — Освоение методов определения плотности природного газа.

Теоретическая часть

Плотность является одним из основных параметров газа. Плотность — это масса газа, приходящаяся на 1 м^3 занимаемого газом объема, $\text{кг}/\text{м}^3$:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

где m — масса, кг; V — объем газа, м^3 .

Относительная плотность газа по воздуху — это отношение плотности газа к плотности воздуха:

$$d = \frac{\rho}{\rho_B}, \quad (2)$$

где ρ — плотность газа при нормальных условиях, $\text{кг}/\text{м}^3$; ρ_B — плотность воздуха при нормальных физических условиях (температура $0 \text{ }^\circ\text{C}$ и давление $101,325 \text{ кПа}$).

Плотность воздуха при нормальных условиях составляет $1,293 \text{ кг}/\text{м}^3$.

При известном компонентном составе плотность газовой смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$, определяется на основе правила аддитивности, согласно которому свойства газов суммируются соответственно их объемному содержанию в смеси:

$$\rho_{см} = (\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \dots + \rho_n V_n) / 100, \quad (3)$$

где $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ — плотность компонентов, входящих в газовую смесь, $\text{кг}/\text{м}^3$; V_1, V_2, \dots, V_n — содержание компонентов, % об.

Для экспериментального определения плотности газа применяется ряд приборов, имеющих различные принципы действия.

Пикнометры служат для определения относительной и абсолютной плотности газов весовым методом в лабораторных условиях. Пикнометрический метод определения плотности основан на взвешивании сосуда (пикнометра) известной вместимости сначала с воздухом, а затем с исследуемым газом.

Относительная плотность газа по воздуху определяется по формуле:

$$d = \frac{m_3 - (m_1 - V\rho_B)}{V\rho_B}, \quad (4)$$

где m_3 — масса пикнометра с сухим газом, г ; m_1 — масса пикнометра с сухим воздухом, г ; V — рабочий объем пикнометра, см³; ρ_B — плотность сухого воздуха при фактических значениях температуры и атмосферного давления, г/см³.

Произведение рабочего объема пикнометра на плотность воздуха в условиях опыта $V\rho_B$ представляет собой массу воздуха в рабочем объеме пикнометра m_B . Плотность воздуха ρ_B в условиях опыта определяется по прил. 1 в зависимости от температуры внутреннего воздуха помещения t_B , °С и атмосферного давления P_B , кПа.

Абсолютное значение плотности природного газа, кг/м³, при нормальных условиях определяется из выражения (2):

$$\rho_{\Gamma}^0 = d \cdot 1,293. \quad (5)$$

Масса пикнометра без воздуха, т.е. масса стекла пикнометра, г, составит:

$$m_2 = m_1 - m_B. \quad (6)$$

Разность массы пикнометра с газом и массы стекла пикнометра есть не что иное, как масса газа в объеме пикнометра, г:

$$m_{\Gamma} = m_3 - m_2. \quad (7)$$

Плотность газа определяется по выражению (1).

Принцип определения плотности газа методом истечения основывается на законе Грэма, сущность которого заключается в том, что отношение плотности двух газов, истекающих при одинаковых условиях (одинаковые объемы, температуры и давления) через малое калиброванное отверстие в атмосферу, равно отношению квадратов времени их истечения. Прибор для определения плотности газа методом истечения называется эффузиометром.

Если газ известной плотности ρ_2 вытекает через калиброванное отверстие в атмосферу из сосуда известного объема при заданном давлении и температуре за время τ_2 , а исследуемый газ с плотностью ρ_1 вытекает из того же сосуда и через то же отверстие за время τ_1 , то в соответствии с законом Грэма

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{\tau_1^2}{\tau_2^2}. \quad (8)$$

Если в качестве известного газа выбрать воздух, то относительная плотность исследуемого газа по воздуху

$$d = \frac{\tau_1^2}{\tau_2^2}, \quad (9)$$

где τ_1 и τ_2 — время истечения газа и воздуха соответственно.

Описание экспериментальной установки

Общая схема экспериментальной установки представлена на рис.1. Побудителем расхода воздуха является переносная ротационная установка 2, состоящая из электромотора, ротационной воздуходувки, четырех ротаметров 3. Ротаметры предназначены для измерения расхода газа и воздуха, пропускаемых через пикнометр и эффузиометр.

Ротаметр представляет собой стеклянную трубку, диаметр которой постепенно увеличивается кверху. Внутри трубки помещен поплавок, который поднимается потоком газа и удерживается на такой высоте, что зазор между стенками трубки и поплавком достаточен для прохода газа с силой давления, равной весу поплавка.

Пикнометр 7 — это стеклянный сосуд шаровой формы объемом 630 см³ с плотно притертой пробкой, через которую проведены две стеклянные трубки для ввода пробы и продувки пикнометра, снабженные клапанами.

Эффузиометр 9 представляет собой прозрачный цилиндр, заполненный дистиллированной водой, соединенной с атмосферой стеклянной трубкой. Внутри цилиндра находится прозрачная трубка меньшего сечения с двумя рисками А и Б. С помощью трехходового крана 15 цилиндр может быть соединен с линией подачи газа и воздуха, либо с атмосферой через узкое отверстие в трубке 10.

Методика проведения эксперимента и обработка результатов

Определение плотности газа *пикнометрическим методом* выполняют с использованием части установки (контур 1, обозначенный штриховой линией). При этом кран 14 должен быть открыт, а кран 13 закрыт. Первоначально заполняют пикнометр сухим чистым воздухом, подаваемым из помещения с помощью переносной ротационной установки 2. Линия подачи газа в этот момент перекрыта краном 11, а кран 12 открыт. Воздух продувается через фильтры 4, 6 и пикнометр 7, затем отводится в помещение через отверстия горелки 8. Объем воздуха должен быть не менее 15-кратного объема пикнометра. По расходу воздуха, показываемому ротаметром 3 воздуходувки, и известному объему пикнометра устанавливают необходимое время продувки воздуха. Выключив воздуходувку, взвешивают пикнометр с воздухом на электронных лабораторных весах с точностью до 0,01 г.

Затем пикнометр продувают исследуемым газом (не менее 15-кратного объема). Для этого закрывают кран 12, а кран 11 и на газопроводе 1 открывают. Продуваемый через пикнометр 7 газ сжигают с помощью лабораторной инъекционной горелки 8. Необходимый объем газа контролируется ротаметром 3. По окончании продувки закрывают краны для подачи газа и определяют массу m_3 пикнометра с газом.

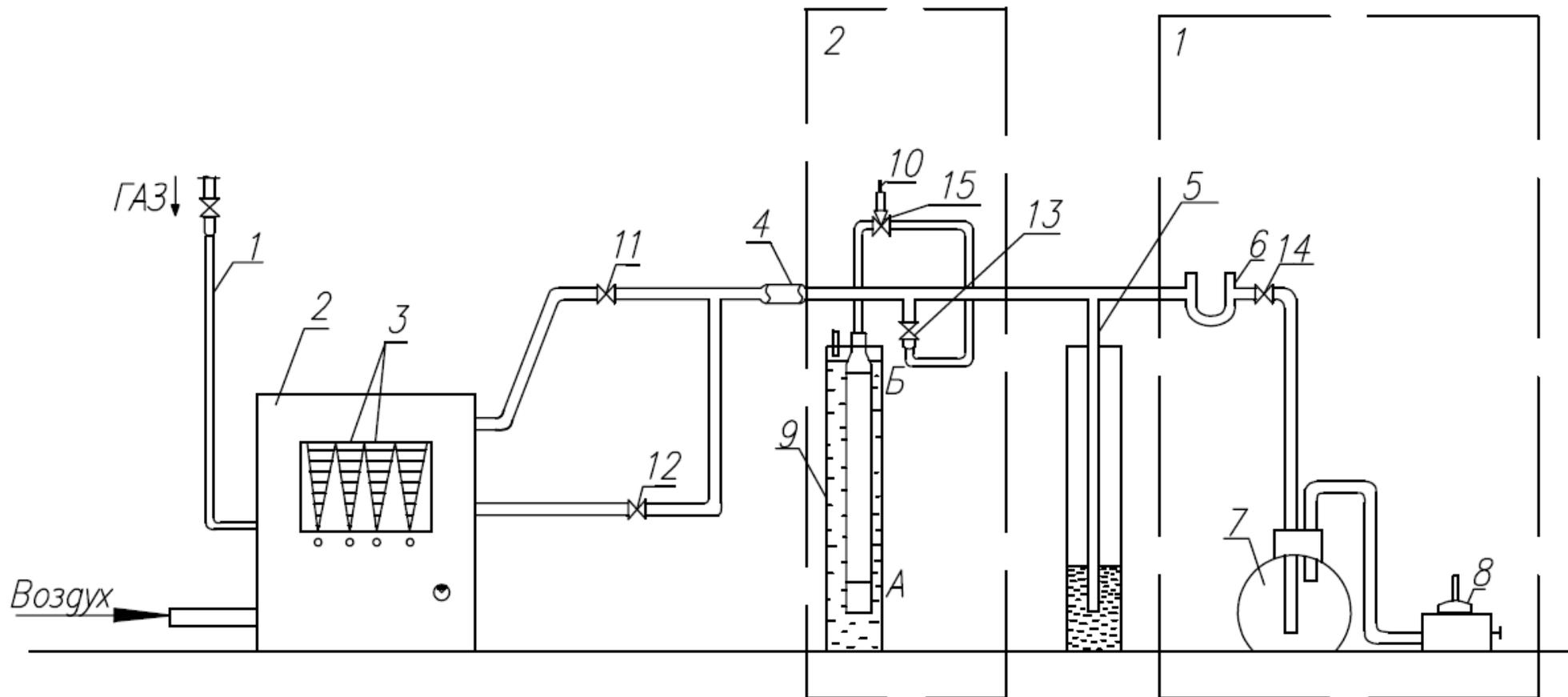


Рис.1. Схема экспериментальной установки для определения плотности природного газа: 1— газопровод; 2 — переносная ротационная установка ПРУ-4; 3 — ротаметр; 4 — фильтрационная трубка, заполненная гигроскопической ватой; 5 — маностат, залитый вазелиновым маслом; 6 — U-образная трубка, заполненная поглотителем влаги (CaCl_2 , силикагель); 7 — пикнометр; 8 — лабораторная инъекционная газовая горелка; 9 — эффузиометр; 10 — трубка; 11–14 — запорные краны

Плотность газа, г/см^3 , определяется по выражению:

$$\rho_{\Gamma} = \frac{m_{\Gamma}}{V}, \quad (10)$$

Необходимо представить результаты в системе СИ:

$$\rho_{\Gamma} (\text{кг/м}^3) = 10^3 \cdot \rho_{\Gamma} (\text{г/см}^3). \quad (11)$$

Полученное значение плотности газа приводят к нормальным условиям по выражению:

$$\rho_{\Gamma}^0 = \rho_{\Gamma} \frac{273 + t_{\Gamma}}{273} \cdot \frac{101,325}{P_{\text{б}}}, \quad (12)$$

где t_{Γ} – температура газа, $^{\circ}\text{C}$, равная температуре окружающего воздуха.

Масса воздуха в объеме пикнометра находится по формуле (9).

Относительная плотность газа d определяется по формуле (2).

Данные измерений и результатов обработки сводят в таблицу 1. Выполняют не менее 3-х опытов.

Для определения плотности газа **методом истечения** используют часть установки, включенную в контур 2 на рис.1. При этом кран 13 должен быть открыт, а кран 14 закрыт. При помощи трехходового крана 15 внутренний сосуд эффузиометра 9 заполняется воздухом до уровня А при открытом кране 12. Быстрым поворотом устанавливают трехходовой кран 15 в положение, соединяющее внутренний цилиндр эффузиометра б атмосферой через узкое отверстие 10. Время выталкивания слоев воды воздуха от уровня А до уровня Б отсчитывается секундомером. Аналогично при открытом кране 11 измеряется время истечения газа.

Плотность газа, г/см^3 , определяют из выражения (6):

$$\rho_{\Gamma} = \rho_{\text{в}} \frac{\tau_{\Gamma}^2}{\tau_{\text{в}}^2}, \quad (13)$$

где τ_{Γ} и $\tau_{\text{в}}$ — время истечения газа и воздуха соответственно, с; $\rho_{\text{в}}$ — плотность воздуха в условиях опыта. г/см^3 , определяется по прил. 1.

По формулам (11), (12) определяется значение плотности при нормальных условиях. Данные измерений и результаты расчетов сводят в табл. 2. Выполняют не менее пяти опытов.

Содержание отчета

Отчет о выполненной работе должен включать:

схему экспериментальной установки;

расчетные формулы;

данные измерений и результаты обработки;

вывод: в результате работы необходимо сравнить значение плотности газа, полученные двумя методами.

Т а б л и ц а 1

Определение плотности газа пикнометрическим методом

Данные измерений						Результаты обработки данных					
Температура воздуха $t_B = t_\Gamma, ^\circ\text{C}$	Атмосферное давление $P_B, \text{кПа}$	Плотность воздуха $\rho_B, \text{г/см}^3$	Масса пикнометра с воздухом $m_1, \text{г}$	Масса пикнометра с газом $m_3, \text{г}$	Объем пикнометра, $V, \text{см}^3$	Масса воздуха в объеме пикнометра $m_B, \text{г}$	Масса газа в объеме пикнометра $m_{\text{газ}}, \text{г}$	Плотность газа в условиях опыта ρ_Γ		Плотность газа при н.у. $\rho_\Gamma^0, \text{кг/м}^3$	Относительная плотность газа по воздуху d
								г/см ³	кг/м ³		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Т а б л и ц а 2

Определение плотности газа методом истечения

Данные измерений					Результаты обработки		
Температура воздуха $t_B = t_\Gamma$	Атмосферное давление $P_B, \text{кПа}$	Плотность воздуха $\rho, \text{г/см}^3$ ρ_B	Время истечения воздуха $\tau_B, \text{с}$	Время истечения газа $\tau_\Gamma, \text{с}$	Плотность газа в условиях опыта ρ_Γ		Плотность газа при нормальных условиях $\rho_\Gamma^0, \text{кг/м}^3$
					г/см ³	кг/м ³	
1	2	3	4	5	6	7	8

Контрольные вопросы

- 1) Что называется плотностью газа?
- 2) В чем заключается пикнометрический метод определения плотности газа?
- 3) В чем заключается метод истечения для определения плотности газа?
- 4) Что называется нормальными и стандартными условиями состояния газа?
- 5) Для чего определяется относительная плотность газа по воздуху?

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГАЗОВЫХ СОПЕЛ

Цель работы — Определение коэффициента расхода газа сопел различных конструкций, встречающихся в газовых приборах.

Теоретическая часть

При истечении через сопловое отверстие потенциальная энергия давления газа, подводимого к горелке, почти целиком переходит в кинетическую энергию газовой струи.

На местные сопротивления (в пределах горелки) затрачивается доля предполагаемого давления, поэтому потери обычно не учитываются.

Для определения действительной скорости истечения газа, м/с, из сопла при низком давлении газа (менее 5 кПа) пользуются формулой из курса гидравлики, не учитывающей работы расширения вытекающего газа:

$$\omega_1 = \varphi \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p}{\rho}}, \quad (1)$$

где Δp — давление газа перед соплом, Па; ρ — плотность газа, кг/м³; φ — коэффициент истечения, учитывающий снижение действительной скорости по сравнению с теоретической из-за наличия сопротивлений при истечении.

Теоретическая скорость истечения газа, м/с, из соплового отверстия определяется по формуле:

$$\omega_o = \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p}{\rho}}, \quad (1a)$$

при этом формула (1) примет вид:

$$\omega_1 = \varphi \cdot \omega_o.$$

Часовой расход газа, м³/с, определяется по рассчитанной скорости истечения газа и площади сечения сопла:

$$V_1 = \varepsilon \cdot \omega_1 \cdot f, \quad (2)$$

где f – площадь выходного сечения сопла, м^2 ; ε – коэффициент сжатия струи.

Подставляя в формулу (2) значение скорости истечения газа из формулы (1а), получим значение часового расхода газа, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$V_1 = \varepsilon \cdot \omega_o \cdot \varphi \cdot f, \quad (3)$$

Произведение коэффициентов ($\varepsilon \cdot \varphi$) называется коэффициентом расхода μ газового сопла.

Вводя коэффициент расхода μ , получим расчетную формулу для определения расхода газа, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$V = \mu \cdot f \cdot \omega_o, \quad (3a)$$

Обозначив теоретический расход воздуха газа $V = f \cdot \omega_o$, $\text{м}^3/\text{с}$, окончательно получим:

$$V_1 = \mu \cdot V_o \text{ или } \mu = \frac{V_1}{V_o}. \quad (4)$$

Значения коэффициентов определяются экспериментально.

Описание экспериментальной установки

По соображениям техники безопасности опыт проводится с воздухом.

Испытанию подвергаются сопла, изображенные на рис.2, на установке, собираемой по схеме, представленной на рис. 3.

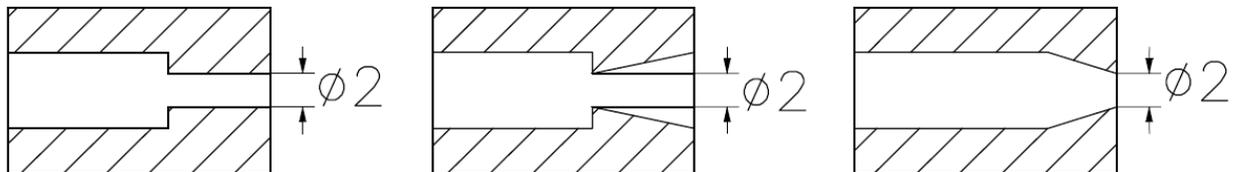


Рис.2. Конструкции исследуемых сопел

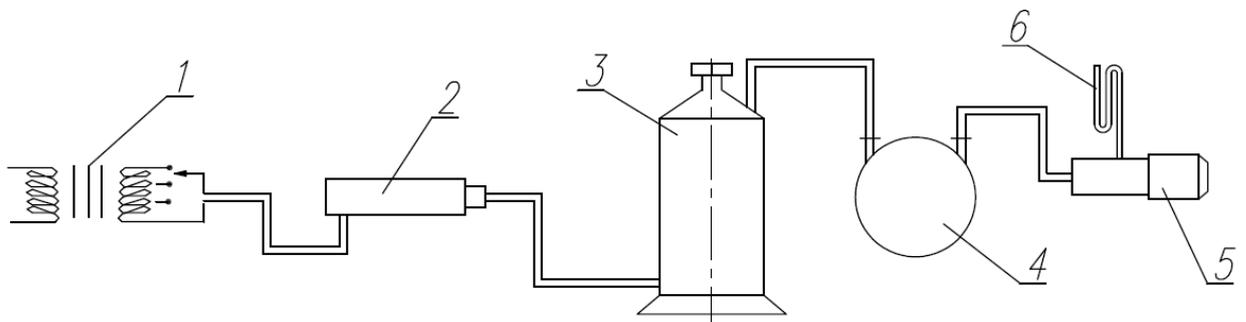


Рис.3. Схема установки: 1 – источник питания; 2 – пылесос; 3 – ресивер; 4 – счетчик; 5 – сопло; 6 – манометр

Методика проведения эксперимента и обработка результатов

На подающий трубопровод необходимо вернуть сопло № 1. Включить установку в сеть и установить требуемое напряжение. Каждое сопло исследуется при трех режимах: $U = 50 \text{ В}, 75 \text{ В}, 100 \text{ В}$.

Поскольку все теоретические положения справедливы для установившегося режима, то измерения начинают через 30-40 с после изменения режима.

Фактический расход воздуха $V_1, \text{ м}^3$, определяют по разности показаний газового счетчика за определенный промежуток времени (4-5 мин):

$$V_1 = m_2 - m_1,$$

где m_1 и m_2 — отсчет по счетчику в начале и в конце опыта соответственно.

Одновременно определяется избыточное давление воздуха $\Delta p, \text{ Па}$, по U-образному водяному манометру (1мм.вод.ст.=9,81 Па).

По формуле (1а) определяется теоретическая скорость истечения воздуха из соплового отверстия. При этом учитывается фактическая плотность воздуха, кг/м^3 , в условиях опыта:

$$\rho = \rho_o \cdot \frac{273 \cdot (p_B + p_r)}{101,325 \cdot (273 + t)}, \quad (5)$$

где $\rho_o = 1,293 \text{ кг/м}^3$ — плотность воздуха при нормальных физических условиях; p_B — атмосферное давление в момент проведения опыта, кПа; Δp — измеренное избыточное давление воздуха, кПа; t — температура воздуха в помещении, °С.

Атмосферное давление и температура воздуха определяются с помощью барометра и ртутного термометра, расположенных в лаборатории.

Теоретический расход воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$V_o = \omega_o \cdot \frac{\pi d^2}{4}, \quad (6)$$

где ω_o — теоретическая скорость истечения, м/с; d — диаметр соплового отверстия, м.

Коэффициент расхода μ определяется по формуле (4).

Последовательно устанавливая напряжения на вольтметре 50 В, 75 В, 100 В, производят замеры V_1 и Δp с последующей обработкой результатов измерений.

Аналогичные опыты проводятся для сопел №2 и №3.

Данные измерений и результаты расчетов заносятся в табл. 3.

Содержание отчета

Отчет о выполненной работе должен включать:

описание работы;

схему экспериментальной установки и сопел;

расчетные формулы;
 данные измерений и результаты обработки;
 выводы: в результате работы необходимо сравнить значения коэффициента расхода и сделать заключение о наиболее эффективной конструкции газовых сопел.

Т а б л и ц а 3

Определение коэффициента расхода газовых сопел

Данные измерений				Результаты обработки					
№ соп-ла	На-пря-же-ние U , В	Рас-ход воз-духа V , м ³	Давле-ние воз-духа за время Δp , Па	Рас-ход воз-духа V , м ³ /с	Плот-ность воз-духа ρ , кг/м ³	Теорет. ско-рость ω_0 , м/с	Теорет. рас-ход V_0	Коэф-фици-ент расхода μ	Приме-чание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Контрольные вопросы:

- 1) Что называется коэффициентом расхода газового сопла?
- 2) От каких параметров зависит значение коэффициента расхода сопла?
- 3) Какая конструкция газового сопла является наиболее выгодной и почему?

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ, ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ГОРЕЛКИ БЫТОВОЙ ГАЗОВОЙ ПЛИТЫ

Цель работы — Исследование важнейших характеристик горелки бытовой газовой плиты.

Теоретическая часть

Важнейшей характеристикой газовой горелки является ее тепловая мощность. Тепловая мощность горелки $Q_{гор}$, кВт, — количество теплоты, выделяющейся в единицу времени при полном сгорании газа, приходящего через горелку:

$$Q_{гор} = Q_n^p \cdot V_{норм}, \quad (1)$$

где Q_n^p — низшая теплота сгорания газа, кДж/м³; $V_{норм}$ — расход газа, м³/с, приведенный к нормальным условиям ($t=0$ °С, $p=101,325$ кПа).

Различают нормальную, максимальную минимальную тепловую мощность горелок. Номинальной считается максимально достигнутая мощность при длительной работе горелки с минимальным коэффициентом избытка воздуха при допустимой по установленным нормам химической неполноте сгорания. Минимальная тепловая мощность определяет нижний предел работы горелки с коэффициентом избытка воздуха, равным 1,1, при котором горелка работает устойчиво. Максимальная тепловая мощность достигается при длительной работе горелки с предельно большим расходом газа без нарушения устойчивости ее работы.

Согласно ГОСТ 10798-85, номинальная тепловая мощность горелок стола бытовых плит находится в пределах 0,7–2,8 кВт.

Замеренный по счетчику объем газа $V_{зам}$, м³, за время опыта τ , с, приводится к нормальным условиям по выражению

$$V_{норм} = V_{зам} \cdot \frac{P_B + P_G}{101,3} \cdot \frac{273}{273 + t_G}, \quad (2)$$

где P_B — среднее атмосферное давление за время опыта, кПа; P_G — давление газа перед горелкой, кПа; t_G — средняя температура сжигаемого газа, °С.

Секундный расход газа, м³/с, приведенный к нормальным условиям:

$$V_{норм} = \frac{V_{норм}^\tau}{\tau}, \quad (3)$$

где τ — время опыта, с.

Низшая теплота сгорания газообразного топлива при известном составе в объемных процентах определяется по выражению:

$$Q_n^p = 107,9H_2 + 126,4CO + 358,8CH_4 + 643C_2H_6 + 931,8C_3H_8 + 1235C_4H_{10} + 1566C_5H_{12} + 595C_2H_4 + 884C_3H_6 + 1138C_4H_8, \text{ кДж/м}^3, \quad (4)$$

где H_2 , CO , CH_4 , C_2H_6 , и т.д. — процентное содержание отдельных компонентов газа, % об.

Коэффициенты в формуле (4) представляют собой значения высшей теплоты сгорания отдельных компонентов, уменьшенные в 100 раз.

Теплопроизводительностью горелки называется количество теплоты, кВт, переданное нагреваемому телу при сжигании газа.

Сосуд с водой, установленный над горелкой газовой плиты, воспринимает теплоту, выделяющуюся при сжигании газообразного топлива. Количество теплоты, кВт, передаваемое нагреваемому телу при сжигании газа, расходуется на нагрев воды и сосуда, а также потери теплоты в окружающую среду:

$$Q_{пол} = Q_{вод} + Q_{сос} + Q_{о.с.}, \quad (5)$$

$Q_{пол}$ — полезная теплопроизводительность горелки, кВт; $Q_{вод}$ и $Q_{сос}$ — соответственно тепловой поток, воспринимаемый водой и сосудом, кВт; $Q_{о.с.}$ — потери теплоты в окружающую среду, кВт.

Тепловой поток, кВт, расходуемый на нагрев воды:

$$Q_{\text{вод}} = m_{\text{вод}} c_{\text{вод}} (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) / \tau, \quad (6)$$

где $m_{\text{вод}}$ — масса нагреваемой воды, кг; $c_{\text{вод}}$ — удельная теплоемкость воды, $c_{\text{вод}} = 4,2$ кДж/(кг·К); $t_{\text{к}}$, $t_{\text{н}}$ — температура воды соответственно в начале и конце опыта, °С; τ — время опыта, с.

Величина теплового потока, кВт, воспринимаемого сосудом:

$$Q_{\text{сос}} = m_{\text{сос}} c_{\text{сос}} (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) \cdot \tau, \quad (7)$$

где $m_{\text{сос}}$ — масса сосуда, кг; $c_{\text{сос}}$ — теплоемкость материала сосуда (для сосуда из стали $c = 0,48$ кДж/(кг·К), для сосуда из алюминиевого сплава — $0,84$ кДж/(кг·К)); $t_{\text{н}}$, $t_{\text{к}}$ — начальная и конечная температура материала сосуда, равная соответствующей температуре воды.

Потери теплоты в окружающую среду складываются из потерь на конвективный теплообмен сосуда и среды и потерь излучением. Потери теплоты на конвективный теплообмен весьма незначительны, вследствие омывания поверхности сосуда горячими продуктами сгорания и могут не учитываться.

Потери теплоты излучением (радиацией), кВт, определяются по закону Стефана-Больцмана:

$$Q_{\text{o.c.}}^{\text{rad}} = 0,001 \cdot \xi \cdot C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F, \quad (8)$$

где ξ — степень черноты поверхности сосуда (для стали $\xi = 0,8$, алюминия $\xi = 0,05$); C_0 — коэффициент лучеиспускания абсолютно черного тела ($C_0 = 5,76$ Вт/м²·К⁴); T_1 — температура поверхности сосуда, К; T_2 — температура окружающего воздуха, К; F — поверхность теплообмена, м².

Температура поверхности сосуда, К:

$$T_1 = \frac{(t_{\text{н}} + t_{\text{к}})}{2} + 273. \quad (9)$$

Коэффициентом полезного действия горелки называется отношение полезной теплопроизводительности горелки $Q_{\text{пол}}$ к ее полной тепловой мощности $Q_{\text{гор}}$:

$$\eta = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{гор}}} \cdot 100\%. \quad (10)$$

Описание экспериментальной установки

Общая схема экспериментальной установки представлена на рис.4. Газ подается к установке из газопровода поворотом крана 2. Расход газа измеряется газовым счетчиком 4. Избыточное давление — U-образным маномет-

ром 3. От счетчика газ поступает к бытовой газовой плите 5, на одну из горелок рабочего стола которой устанавливают цилиндрической сосуд с водой, закрытый крышкой. Масса воды в сосуде должна составлять 0,8–1,0 кг.

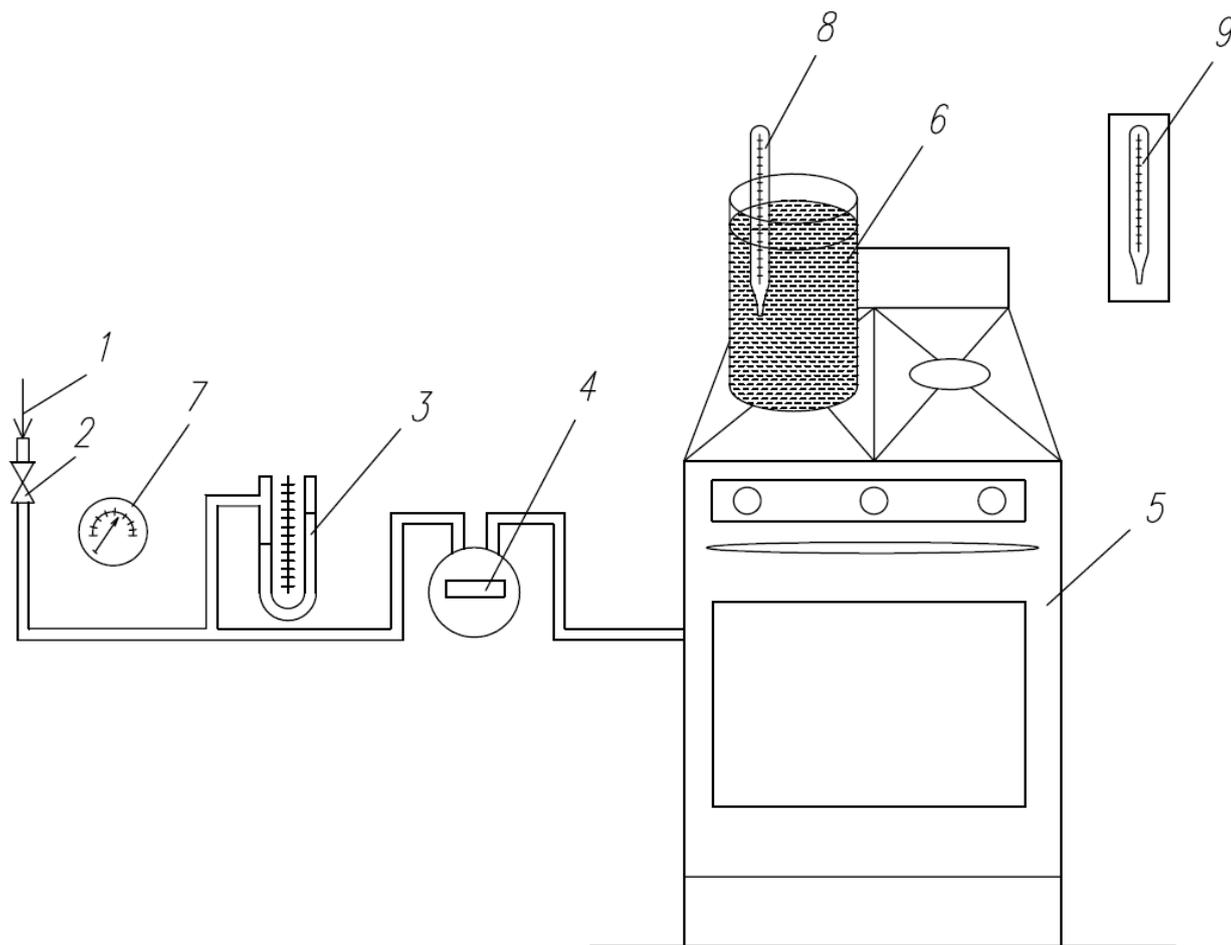


Рис.4. Схема установки для определения КПД горелки газовой плиты: 1 — газопровод низкого давления, 2 — запорный кран, 3 — U-образный манометр, 4 — газовый счетчик, 5 — газовая плита, 6 — сосуд с водой, 7 — ртутный термометр, 8 — барометр, 9 — термометр спиртовой, 10 — весы бытовые

Методика проведения эксперимента и обработка результатов

Используя бытовые весы 10, определяют массу сосуда $m_{\text{сос}}$ и массу сосуда, заполненного водой ($m_{\text{сос}} + m_{\text{вод}}$).

Измерив начальную температуру воды $t_{\text{н}}$ термометром 8, закрывают сосуд крышкой и устанавливают его над зажженной горелкой газовой плиты 5. В момент установки сосуда включают секундомер и отмечают показание v_1 счетчика 4. Избыточное давление газа $P_{\text{г}}$ измеряют манометром 3, атмосферное $P_{\text{б}}$ — по барометру 7.

В момент закипания воды измеряют температуру воды $t_{\text{к}}$, записывают показания счетчика v_2 и время опыта τ .

Опыт повторяют при трех различных давлениях газа. Давление газа регулируется с помощью крана 2, установленного на газопроводе 1.

Определение тепловой мощности горелки.

Фактический расход газа $V_{\text{зам}}$ и за время опыта τ определяют по разности показаний газового счетчика:

$$V_{\text{зам}} = v_2 - v_1. \quad (11)$$

Секундный расход газа, приведенный к нормальным условиям, рассчитывается по формулам (2,3). Средняя температура газа принимается равной температуре воздуха в лаборатории и определяется с помощью термометра 9.

В лабораторию поступает газ следующего состава, % об.; CH_4 — 94,0; C_2H_6 — 2,95; C_3H_8 — 0,5; C_4H_{10} — 0,3; C_5H_{12+} высшие — 0,05; CO_2 — 0,5; N_2 — 1,7.

Зная состав газа, по выражению (4) определяют низшую теплоту сгорания, а затем по формуле (1) — искомую тепловую мощность горелки.

Данные измерений и результаты обработки записывают в табл. 4.

Определение теплопроизводительности горелки выполняется по выражениям (5)-(9).

Данные измерений и результаты расчетов записываются в табл. 5.

Коэффициент полезного действия горелки вычисляют по формуле (10), заполняют табл.6 и строят график зависимости КПД от избыточного давления газа перед горелкой.

Содержание отчета

Отчет о выполненной работе должен включать:

описание работы;

схему экспериментальной установки;

расчетные формулы;

данные измерений и результаты обработки;

график зависимости КПД от избыточного давления газа перед горелкой;

выводы.

Контрольные вопросы:

- 1) 1) Что такое теплота сгорания топлива, и в каких единицах она выражается?
- 2) Что называется тепловой мощностью и теплопроизводительностью газовой горелки?
- 3) Как привести рабочий объем газа к нормальным условиям?
- 4) Что называется коэффициентом полезного действия газовой плиты и чему он примерно равен?
- 5) От чего зависит КПД газовой горелки и величина полезной использованной теплоты?

Таблица 4

Определение тепловой мощности горелки

№ опыта	Данные измерений					Результаты обработки данных						
	Температура газа, $t_g, ^\circ\text{C}$	Атмосферное давление P_6 , кПа	Давление газа P_g , мм вод ст.	Показания счетчика		Время опыта, τ , с	Давление газа P_g , кПа	Объем газам		Расход газа при норм усл-х,	Низша таплотс-горания, $Q_{н.}^p$, кДж/м ³	Тепловая мощность, $Q_{гор.}$, кВт
				m_1	m_2			Замеренный, $V_{зам}$, м ³	При норм усл-х, $V_{норм}$, м ³			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Таблица 5

Определение теплопроизводительности горелки

№ опыта	Данные измерений						Результаты обработки данных						
	Масса сосуда, $m_{со}$, кг	Масса воды, $m_{вод}$, кг	Температура воды		Температура воздуха, $t_{возд.}$, $^\circ\text{C}$	Время опыта, J , с	Поверхность теплообмена, F , м ²	Температура пов-ти сосуда T_1 , К	Температура воздуха T_2 , К	Тепловой поток, кВт			Теплопроизводительность $Q_{пол.}$, кВт
			Начальная, t_n , $^\circ\text{C}$	Конечная, t_k , $^\circ\text{C}$						На нагрев воды, $Q_{вод.}$, кВт	На нагрев сосуда, $Q_{сос}$, кВт	В окр. Среду, $Q_{о.с.}$, кВт	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Определение КПД газовой горелки

Определение КПД газовой горелки № опыта	Давление газа P_r , кПа	Теплопроиз- водительность, $Q_{пол}$, кВт	Тепловая мощность, $Q_{гор}$, кВт	КПД, η	Примечание
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					

Лабораторная работа № 4

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЗОВЫХ СЧЁТЧИКОВ И РЕОМЕТРА

Цель работы — Освоение методов измерения расхода газа.

Теоретическая часть

При измерениях, связанных с учётом газа, приходится определять его объём и расход. Под расходом понимается количество вещества, протекающего через данное сечение в единицу времени. Количество газа определяется обычно его объёмом.

Приборы, предназначенные для измерения расхода вещества, называются расходомерами. В этих устройствах чувствительный элемент, непрерывно взаимодействуя с поток газа, преобразует один из его параметров в величину, пропорциональную текущему расходу. Количество вещества, протекающее через трубопровод, определяется разностью двух последовательных показаний счётных указателей прибора в начале и в конце произвольно взятого промежутка времени. Приборы, измеряющие количество вещества, называются счётчиками, приборы, измеряющие одновременно расход и количество, — расходомерами со счётчиком.

В настоящее время расходомеры и счётчики, применяемые для измерения расхода и количества газа, могут быть разделены на следующие системы:

переменного перепада давления;

обтекания: постоянного перепада давления (ротаметры, поплавковые, поршневые), поплавково-пружинные и с поворотной лопастью;

тахометрические: турбинные, камерные (барабанные, ротационные, диафрагменные);

силовые;

вихревые;

тепловые: калориметрические, с внешним нагревом, термометрические;

ультразвуковые;
парциальные;
концентрационные.

В данной работе расход газа определяется двумя методами: с помощью камерного барабанного счётчика и камерного диафрагменного счетчика, а также методом переменного перепада давлений (с помощью реометра).

Количество газа в единицах объёма необходимо всегда определить с учётом его давления и температуры, так как эти параметры сильно влияют на плотность газа. Замеренный объём газа, м³, приводится к нормальным условиям по выражению:

$$V_{\text{НОРМ}} = V_{\text{ЗАМ}} \cdot \frac{P_{\text{Б}} + P_{\text{Г}} - P}{101,325} \cdot \frac{273}{273 + t_{\text{Г}}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{НОРМ}}$ — объём газа, израсходованный за время τ и приведённый к нормальным условиям, м³; $V_{\text{ЗАМ}}$ — замеренный за время τ объём газа, м³; $P_{\text{Б}}$ — среднее атмосферное давление за период испытания, кПа; $P_{\text{Г}}$ — избыточное давление газа, кПа; P — давление насыщенных паров воды при средней температуре за время испытания, кПа (см. прил. 2); $t_{\text{Г}}$ — средняя температура газа, °С.

Фактическая плотность газа, кг/м³:

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{273 \cdot (P_{\text{Б}} + P_{\text{Г}})}{(273 + t_{\text{Г}}) \cdot 101,325}, \quad (2)$$

где ρ_0 - плотность газа при нормальных условиях, кг/м³.

При известном компонентом составе плотность газовой смеси, кг/м³, определяется по правилу аддитивности:

$$\rho_0^{\text{СМ}} = (\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \dots + \rho_n V_n) / 100, \quad (3)$$

где $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ — плотность отдельных компонентов смеси при нормальных условиях, кг/м³; V_1, V_2, \dots, V_n — объёмное процентное содержание компонентов, % об.

В лабораторию поступает газ следующего состава, % об.: CH_4 — 94,0; C_2H_6 2,95; C_3H_8 — 0,5; C_4H_{10} — 0,3; C_5H_{12} + высшие — 0,05; CO_2 — 0,5; N_2 — 1,7.

Значения плотностей указанных компонентов приведены в прил. 3.

Описание экспериментальной установки

Общая схема экспериментальной установки представлена на рис. 5.

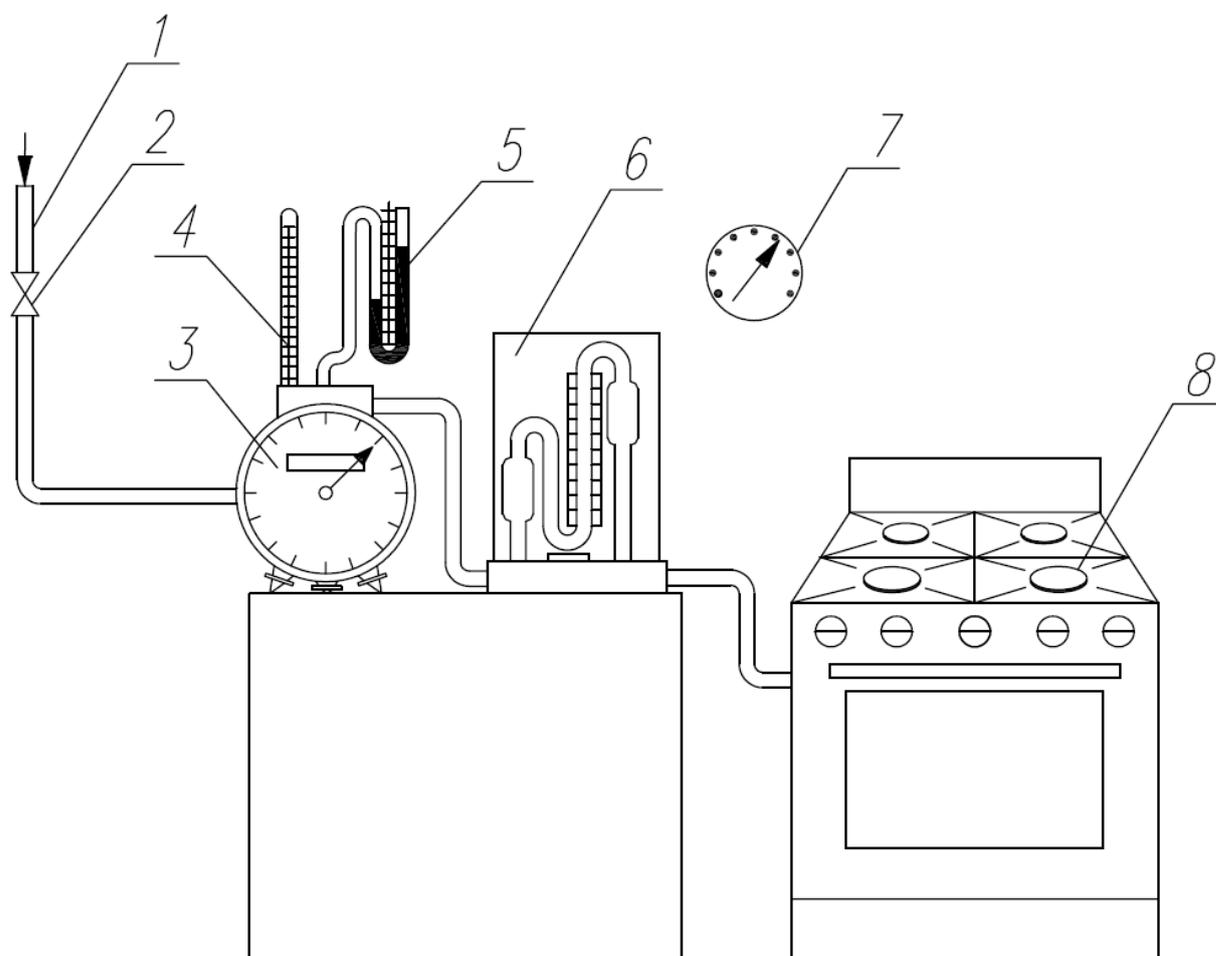


Рис.5. Схема экспериментальной установки по определению расхода газа: 1 — газопровод низкого давления; 2 — запорный кран; 3 — газовый барабанный счетчик ГСБ-400; 4 — термометр; 5 — U-образный манометр; 6 — реометр; 7 — барометр; 8 — горелка газовой плиты; 9 — счетчик газовый бытовой диафрагменный

Природный газ из газопровода 1 низкого давления через запорный кран 2 поступает для сжигания к горелке 8 рабочего стола бытовой газовой плиты. Расход газа измеряется объёмным камерным барабанным счётчиком 3 типа ГСБ-400, объёмным камерным диафрагменным счётчиком 9 типа G-4 и реометром 6. Температура газа измеряется ртутным термометром 4, избыточное давление газа — U-образным водяным манометром 5, атмосферное давление — барометром 7.

Принципиальная схема барабанного счётчика с жидкостным затвором приведена на рис. 6. Счётчик содержит корпус 1, в котором расположен барабан 14, вращающийся на оси 11. Ось барабана через понижающий редуктор 3 связана со счётчиком оборотов 4. Измеряемый газ подводится в полость барабана через входной штуцер 13, а выводится через выходной штуцер 2. Барабан 14 имеет внутренний цилиндр 12 с четырьмя входными отверстиями 5 и наружную обечайку 6 с четырьмя выходными отверстиями 10. Внутренняя полость барабана разделена перегородками 8 на четыре измерительные камеры А, Б, В, Г равного объёма. Полость корпуса заполнена водой, выполняющей функцию жидкостного затвора и служащей для гермети-

зации измерительных камер. Уровень жидкости располагается выше верхней кромки оси барабана 11 и ниже выходной кромки подводящего штуцера 13.

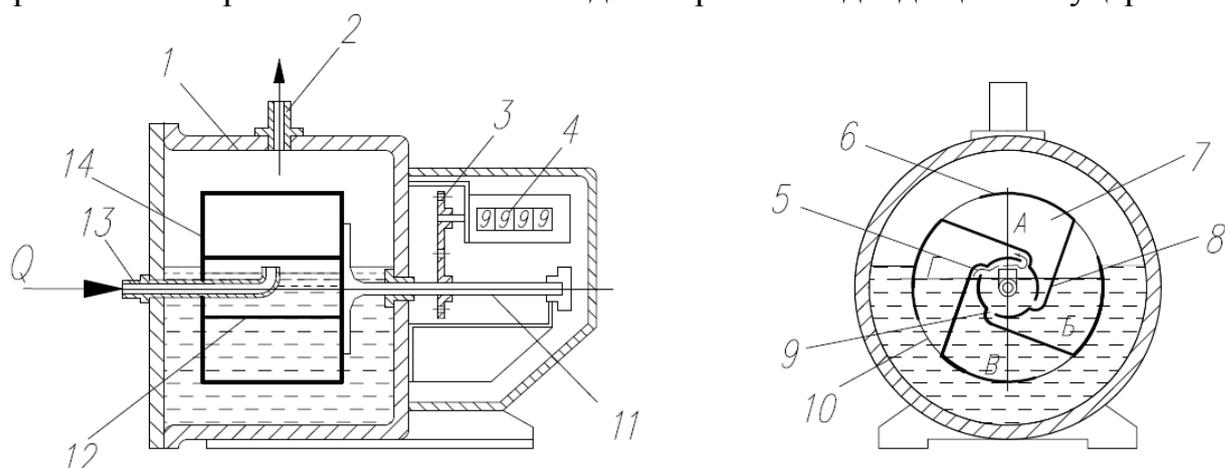


Рис.6. Принципиальная схема барабанного счетчика ГСБ-400: 1 — корпус; 2 — выходной штуцер; 3 — редуктор; 4 — счетчик оборотов; 5 — отверстия для выхода газа; 6 — наружная обечайка; 7 — измерительная камера; 8 — перегородка; 9 — входное отверстие камеры; 10 — выходное отверстие камеры; 11 — ось барабана; 12 — внутренний цилиндр барабана; 13 — входной штуцер; 14 — барабан;

Счётчик работает следующим образом. В исходном состоянии измерительная камера А с заполненной газом полостью 7 через отверстие в обечайке 6 сообщается с выходным штуцером 2, камера Б полностью заполнена водой и её входное отверстие 9 закрыто, камера Г почти полностью заполнена измерительным газом через открытое входное отверстие внутреннего цилиндра 12, а камера В начинает заполняться газом через открытое отверстие 5. При дальнейшей подаче газа происходит вытеснение жидкости из камер В и Г и вытеснение газа из камер А и Б, что приводит к непрерывному вращению барабана 14 под действием вращающего момента, создаваемого разностью давлений газа между камерами, заполненными газом, и камерой, сообщаемой с выходным штуцером. При этом измерительные камеры поочерёдно сообщаются с выходным штуцером 13, а из камер, сообщаемых с выходным штуцером, газ вытесняется на выход. Вращение измерительного барабана 14 через понижающий редуктор 3 передаётся многоразрядному барабанному счётчику 4, показывающему суммарный объём прошедшего газа в кубических дециметрах (литрах).

Барабанный счётчик типа ГСБ- 400 рассчитан на измерение объёма газа при практически нормальных условиях с расходом от 20 до 400 $\text{дм}^3/\text{ч}$ при давлении до 6 кПа. Основная погрешность счётчика превышает 1 %.

Диафрагменный (мембранный) счетчик — счетчик газа, принцип действия которого основан на том, что при помощи различных подвижных преобразовательных элементов газ разделяют на доли объема, а затем производят их циклическое суммирование. Эти счетчики используются только на газопроводах низкого давления.

Диафрагменный счетчик (рис. 7) состоит из корпуса 1, крышки 2, измерительного механизма 3, кривошипно-рычажного механизма 4, связывающего подвижные части диафрагм (мембран) с верхними клапанами 5 газораспределительного устройства, седел клапана (нижняя часть распределительного устройства) и счетного механизма. В зависимости от конструкции и объемов измеряемого газа измерительный механизм может состоять из двух или четырех камер. Принципиальная схема работы счетчика показана на рис. 8.

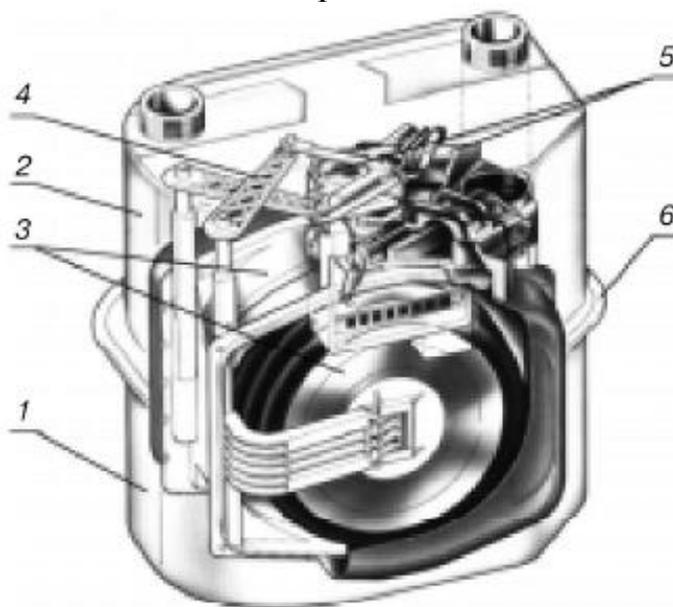
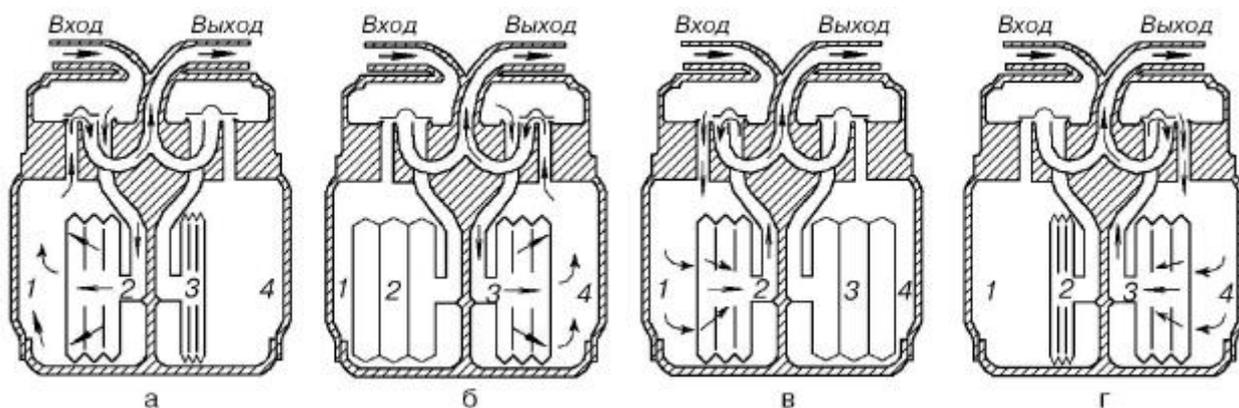


Рис.7. Диафрагменный счетчик: 1 — корпус; 2 — крышка; 3 — измерительный механизм; 4 — кривошипно-рычажной механизм; 5 — верхние клапаны газораспределительного устройства; 6 — стяжная полоса



Положение камер счетчика	Камера 1	Камера 2	Камера 3	Камера 4
а	Опустошается	Наполняется	Пуста	Наполнена
б	Пуста	Наполнена	Наполняется	Опустошается
в	Наполняется	Опустошается	Наполнена	Пуста
г	Наполнена	Пуста	Опустошается	Наполняется

Рис.8. Принципиальная схема работы диафрагменного счетчика

Счетчик работает следующим образом:

а) измеряемый поток газа через входной патрубок поступает в верхнюю полость корпуса и далее через открытый клапан в камеру 2. Увеличение объема газа в камере 2 вызывает перемещение диафрагмы и вытеснение газа из камеры 1 на выход из щели седла клапана и далее в выходной патрубок счетчика. После приближения рычага диафрагмы к стенке камеры 1 диафрагма останавливается в результате переключения клапанных групп. Подвижная часть клапана камер 1 и 2 полностью перекрывает седла клапанов этих камер, отключая этот камерный блок.

б) Клапан камер 3 и 4 открывает вход газа из верхней полости корпуса счетчика в камеру 3, наполняет ее, что вызывает перемещение диафрагмы и вытеснение газа из камеры 4 в выходной патрубок через щели в седле клапана. После приближения рычага диафрагмы к стенке камеры 4 диафрагма останавливается в результате отключения клапанного блока камер 3, 4.

в) Клапан камер 1, 2 открывает вход газа из верхней полости корпуса счетчика в камеру 1. При подаче газа в камеру 1 диафрагма 1, 2 перемещается, вытесняя газ из камеры 2 в выходной парубок через щели в седле клапана. После приближения рычага диафрагмы к стенке камеры 2 диафрагма останавливается в результате отключения клапанного блока камер 1, 2.

г) Клапан камер 3, 4 открывает вход газа из верхней полости корпуса счетчика в камеру 4. При подаче газа в камеру 4 диафрагма 3, 4 перемещается и вытесняет газ из камеры 3 в выходной патрубок через щели в седле клапана. После приближения рычага диафрагмы к стенке камеры 3 диафрагма останавливается в результате отключения клапанного блока 3, 4.

Процесс повторяется периодически. Счетный механизм подсчитывает число ходов диафрагм (или число циклов работы измерительного механизма n). За каждый цикл вытесняется объем газа $V_{ц}$ равный сумме объемов камер 1, 2, 3, 4. Один полный оборот выходной оси измерительного механизма соответствует 16-ти циклам.

Реометры (рис. 9) предназначены для точного дозирования пропускаемого газа. Метод переменного перепада давления основан на создании и измерении перепада давления на сужающем устройстве 4 реометра при протекании потока газа через это устройство. Сечение сужающего устройства может в процессе работы изменяться поворотом диска 5. Перепад давления, по которому судят о расходе газа, измеряется с помощью жидкостного дифференциального манометра 2, снабжённого шкалой 3. Сужающее устройство с дифманометром закреплено на подставке 1.

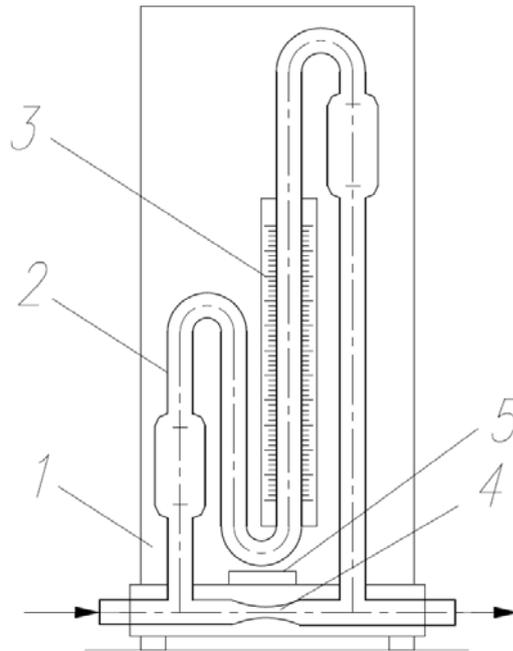


Рис.9. Реометр: 1 – подставка; 2 – дифференциальный манометр; 3 – шкала; 4 – сужающее устройство; 5 – диск

Методика проведения эксперимента и обработка результатов

Перед началом работы проверяют плотность соединений, по уровню устанавливают газовый счётчик в горизонтальное положение, фиксируют уровень воды в приборах. Открывают кран 2 на газопроводе 1 и зажигают горелку 8 бытовой газовой плиты. Объём газа, м³, прошедшего через диафрагменный и барабанный счётчики, определяют за 5 минут по разности показаний отсчётного устройства счётчика в начале m_1 и в конце опыта m_2 :

$$V_{\text{ЗАМ}} = \frac{m_2 - m_1}{1000}, \quad (4)$$

По выражению (1) замеренный объём газа приводится к нормальным условиям. Часовой расход газа, м³/ч, приведённый к нормальным условиям, составит:

$$V_{\text{НОРМ}}^{\text{ЧАС}} = V_{\text{НОРМ}} \frac{60}{\tau}, \quad (5)$$

где τ - время опыта, мин.

Одновременно с измерением расхода газа по счётчику определяют избыточное давление P_{Γ} в газопроводе, атмосферное давление $P_{\text{Б}}$, температуру газа t_{Γ} , перепад давления ΔP (по дифманометру реометра).

Секундный расход газа м³/с, при работе с реометром определяется по формуле:

$$V'_{\text{ЗАМ}} = k \cdot F_0 \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_{\Gamma}}}, \quad (6)$$

где ΔP — перепад давления, Па; ρ_{Γ} — плотность газа в условиях опыта, кг/м³, определяемая по выражениям (2), (3); F_0 — площадь сечения сужающего устройства реометра, м; k — коэффициент расхода сужающего устройства. Для $d_0=1,5$ мм $k=1,4$; для $d_0=2,5$ мм $k=1,1$.

Часовой расход газа, м³/ч:

$$V_{\text{ЗАМ}}^{\text{ЧАС}} = V'_{\text{ЗАМ}} \cdot 3600. \quad (9)$$

Замеренный расход газа приводится к нормальным условиям по выражению, аналогичному (1).

Поворотом крана (2) на газопроводе изменяют давление газа и повторяют измерения. Опыт выполняют не менее трёх раз.

Данные измерений и результаты обработки записывают в табл. 7,8.

Содержание отчета

Отчет о выполненной работе должен включать:

описание работы;

схему экспериментальной установки;

расчетные формулы;

данные измерений и результаты обработки;

выводы.

Контрольные вопросы:

- 1) Методы измерения расхода газа.
- 2) Какие приборы служат для измерения расхода газа?
- 3) Какими приборами измеряют давление газа?
- 4) Почему необходимо приводить расход газа к нормальным условиям?
- 5) Назовите параметры нормальных условий и формулы приведения к нормальным условиям.

Т а б л и ц а 7

Определение расхода газа с помощью газовых счётчиков

№ опыта	Данные измерений						Результаты обработки данных				
	Атмосферное давление p_B , кПа	Давление газа p_G , мм.вод.ст.	Температура газа t_G , °C	Время опыта τ , мин	Показания счётчика		Давление газа, p_G , кПа	Упругость водяных паров, ρ , кПа	Объём газа		Часовой расход газа, $V_{НОРМ}^ч$, м ³ /ч
					в начале опыта m_1	в конце опыта m_2			замеренный V_{AM}	при норм. условиях $V_{НОРМ}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Барабанный счетчик											
Диафрагменный счетчик											

Т а б л и ц а 8

Определение расхода газа с помощью реометра

№ опыта	Данные измерений					Результаты обработки данных измерений						
	Атмосферное давление p_B , кПа	Давление газа p_G , мм.вод.ст.	Температура газа t_G , °C	Перепад давления Δp , мм.вод.ст.	Диаметр сужающ. устр-ва, d_o , мм	Давление газа, кПа	Перепад давления, Па	Плотность газа, ρ_G	Площадь сечения сужающ. устр-ва, F_o , м ²	Замеренный расход газа		Часовой расход газа при норм. усл., $V_{НОРМ}^ч$, м ³ /ч
										секундный, $V_{ЗАМ}^с$, м ³ /ч	часовой, $V_{ЗАМ}^ч$, м ³ /ч	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Лабораторная работа №5

ИСПЫТАНИЕ ПРОТОЧНОГО ГАЗОВОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ

Цель работы — изучение конструкции и сравнение эффективности работы проточных водонагревателей.

Теоретическая часть

Нагревание воды для бытовых нужд обеспечивается применением газового топлива. При этом используют два различных способа:

нагревание проточной воды, поступающей из водопровода;

нагревание воды в емкостях с периодическим их опорожнением и заполнением.

Существующие газовые нагреватели различаются, соответственно, на два принципиально отличных типа: проточные и емкостные.

Все проточные водонагреватели построены преимущественно на одной конструктивной схеме (рис. 10).

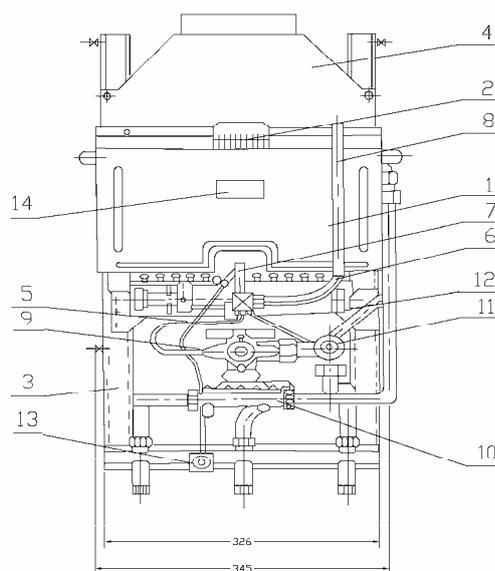


Рис.10. Принципиальная схема проточного газового водонагревателя. 1 — камера сгорания; 2—теплообменник; 3 — каркас; 4 — газоотводящее устройство; 5 — блок водогазогорелочный; 6 — горелка основная; 7 — горелка запальная; 8 — трубка датчика тяги; 9 — кран газовый; 10 — регулятор воды; 11 — клапан электромагнитный; 12 — термopара; 13 — пьезорозжиг; 14 — табличка

Газ сжигается в инжекционной горелке 6 низкого давления. Теплота продуктов сгорания, проходящих через достаточно развитый теплообменник 2, передается протекающей через него водопроводной воде.

Зона горения ограничена огневой камерой 1, охлаждаемая извне змеевиками, через которые поступает и отводится вода, проходящая через калорифер. Продукты сгорания, прошедшие через теплообменник, отводятся в ды-

моход системой газоотвода 4. Работа горелочного устройства регулируется блок-краном 5 с системой автоматических устройств.

Необходимо провести испытания двух проточных водонагревателей, а затем сравнить их основные характеристики. В лаборатории установлены бытовой газовый проточный водонагреватель модели «Протон-2» и газовый нагреватель проточной воды типа PG6-Z12/R3.

Коэффициент полезного действия (КПД) водонагревателя определяется по формуле:

$$\eta = \frac{G_b(t_k - t_n) \cdot c_b}{V_g \cdot Q_H^p}, \quad (1)$$

где, G_b — расход воды за время опыта, кг, t_n и t_k - температура воды, входящей в водонагреватель и выходящей из водонагревателя, °С; Q_H^p — низшая теплота сгорания газа, кДж/м³; c_b - теплоёмкость воды, кДж/(кг·К); V_g — объём газа, м³.

Значение в числителе характеризует полезную теплопроизводительность водонагревателя, а значение в знаменателе — тепловую мощность прибора.

Объём газа, измеренный счетчиком $V_{зам}$, м³, определяют по разности показаний газового счетчика за определенный промежуток времени (5-6 минут):

$$V_g = m_2 - m_1, \quad (2)$$

где m_1 и m_2 — отсчет по счетчику в начале и в конце опыта соответственно.

Замеренный объём газа, м³, приводится к нормальным условиям по выражению:

$$V_{норм} = V_{зам} \cdot \frac{P_b + P_g}{101,325} \cdot \frac{273}{273 + t_g}, \quad (3)$$

где $V_{норм}$ — объём газа, израсходованный за время τ и приведённый к нормальным условиям, м³; $V_{зам}$ — замеренный за время τ объём газа, м³; P_b — среднее атмосферное давление за период испытания, кПа; P_g — избыточное давление газа, кПа; t_g — средняя температура газа, °С.

Описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 11.

Проточные газовые водонагреватели модели «Протон-2» и газовый нагреватель проточной воды типа PG6-Z12/R3 присоединены параллельно по газовой и водяной части. Газ низкого давления поступает к водонагревателям через газовый счетчик. На опусках к водонагревателям установлены шаровые краны, водяные U-образные манометры и термометры. После сжигания газа продукты сгорания отводятся в дымоход через вертикальную присоединительную трубу, в которой установлены термопары и предусмотрены штуцеры для присоединения тягонапомеров. Холодная вода подается из водопровода, проходит через фильтр и счетчик воды, нагревается в водонагревателях, затем

отводится в систему канализации. На холодном и горячем водопроводе установлены термометры.

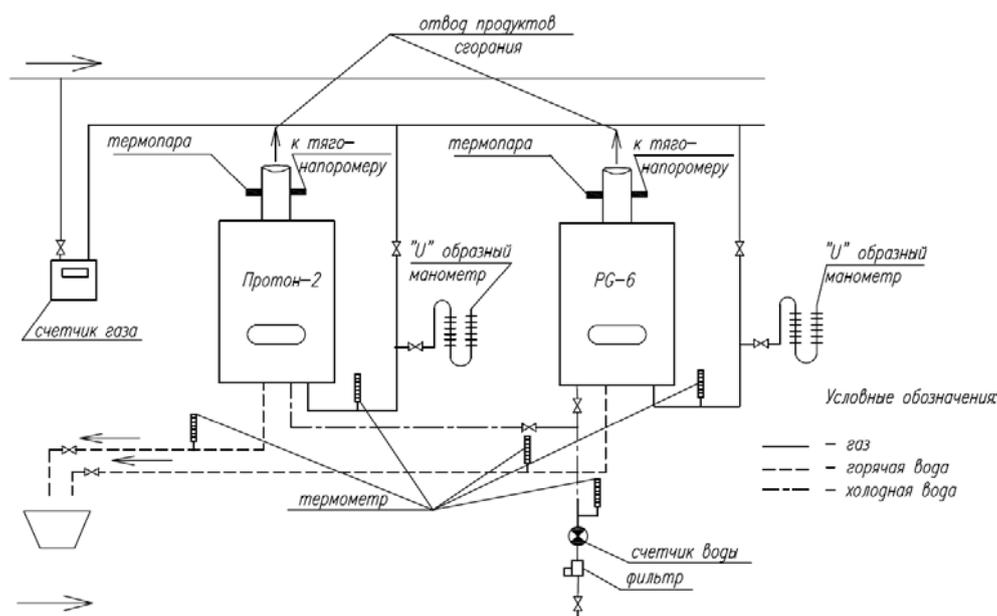


Рис. 11. Схема лабораторной установки для определения эффективности работы проточных водонагревателей

Методика проведения эксперимента и обработка результатов

Испытания проводятся последовательно сначала одного проточного водонагревателя, затем второго, после чего результаты эксперимента сравниваются.

Для каждого водонагревателя испытания проводятся в следующем порядке.

Открываются краны для подачи и слива воды, открывается кран на газопроводе, под наблюдением преподавателя производится розжиг запальной горелки водонагревателя. Первый опыт выполняется при номинальном давлении газа перед водонагревателем, для природного газа равным 1,30 кПа.

При установившемся режиме фиксируются начальные значения величин:

- а) время;
- б) показания газового счётчика;
- в) показания водомера;
- г) температура на входе и выходе из водонагревателя;
- д) температура уходящих газов;
- е) температура газа;
- ж) давление газа перед горелкой (кПа);
- з) барометрическое давление (кПа).

Через 6 минут испытания прекращаются, и снимаются повторные показания всех приборов, указанных выше. Затем давление газа изменяются, и опыт повторяется при новом значении давления.

Работа выполняется при следующих давлениях газа: I режим — избыточное давление 0,65 кПа; II режим — избыточное давление 1,05 кПа; III режим — избыточное давление 1,55 кПа.

Данные измерений и результаты обработки записываются в таблицу 9.

Т а б л и ц а 1

Определение коэффициента полезного действия проточного водонагревателя

№ п/п	Время отсчёта, час, мин.	Расход газа		Расход воды		Давление газа, кПа	Баром, давл., кПа	Температура газа, °С	Температура воды, °С	Кэф. полез. действ., V	Примечания
		Показания счётчи-	Объём газа, $V_{г}$, м ³	Показания водомера	Объём воды, G , кг						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Вычисляется тепловая мощность газовой горелки q , кВт:

$$q = Q_n^p \cdot V_1, \quad (4)$$

где V_1 — секундный расход газа, м³/с, равный отношению замеренного объема газа к времени проведения опыта (360 с).

После определения КПД и тепловой мощности горелки проточного водонагревателя необходимо построить график зависимости КПД от тепловой мощности $\eta = f(q)$, а также температуры уходящих газов от тепловой мощности $t_{yx} = f(q)$.

Сравнение эффективности работы двух водонагревателей «Протон-2» и PG6-Z12/R3 выполняется по значению коэффициента полезного действия.

Содержание отчета

Отчет о выполненной работе должен включать:

описание работы;

схему экспериментальной установки;

расчетные формулы;

данные измерений и результаты обработки;

графики зависимости КПД и температуры продуктов сгорания от тепловой мощности;

выводы.

Контрольные вопросы:

1) Что понимается под коэффициентом полезного действия водонагревателя?

2) Какие условия принято считать нормальными и стандартными? Как привести объём газа к нормальным условиям??

3) Как измеряется избыточное давление газа?

4) Что такое тепловая мощность и теплопроизводительность водонагревателя?

Лабораторная работа № 6

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ПУНКТА РЕДУЦИРОВАНИЯ ГАЗА

Цель работы — изучение состава пунктов редуцирования газа и исследование работы технологического оборудования.

Теоретическая часть

Газорегуляторные пункты (ГРП) и установки (ГРУ) предназначены для снижения давления газа до необходимого потребителю и автоматического поддержания его постоянным на заданном уровне независимо от расхода газа и колебания его давления до ГРП. Могут применяться блочные газорегуляторные пункты заводского изготовления в зданиях контейнерного типа (ГРПБ) и шкафные (ШРП, ГРПШ). Кроме того, на ГРП (ГРУ) осуществляют очистку от механических примесей, контроль за входным и выходным давлением газа, предохранение от возможного повышения или понижения выходного давления газа в контролируемой точке газопровода сверх допустимых пределов, при необходимости учет расхода газа.

В зависимости от входного давления газа различают ГРП и ГРУ среднего (до 0,3 МПа) и высокого (от 0,3 до 1,2 МПа) давления. По значению ГРП могут быть общегородскими, районными, сетевыми, квартальными и объектовыми.

В соответствии с назначением в состав ГРП и ГРУ входят следующие элементы:

- 1) регулятор давления (РД), понижающий давление газа и поддерживающий его на заданном уровне независимо от расхода газа и входного давления;
- 2) предохранительное запорное устройство (ПЗУ), прекращающее подачу газа при повышении или понижении его давления после регулятора сверх допустимых значений;
- 3) предохранительно сбросное устройство (ПСУ), сбрасывающее излишки газа из газопровода после регулятора, чтобы выходное давление газа не превысило заданного;
- 4) фильтр для очистки газа от механических примесей;
- 5) контрольно-измерительные приборы (КИП) для измерения давления (манометры), перепада давления на фильтре (дифманометры), учета расхода газа (расходомеры), температуры газа (термометры);
- 6) продувочные и сбросные трубопроводы;
- 7) запорные устройства (задвижки, краны);

обводной газопровод (байпас) для снабжения газом потребителей в период ревизии и ремонта. На байпасе следует предусматривать последовательную установку двух отключающих устройств, обеспечивающих снижение давления газа в период ревизии и ремонта основной линии редуцирования.

Описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 12.

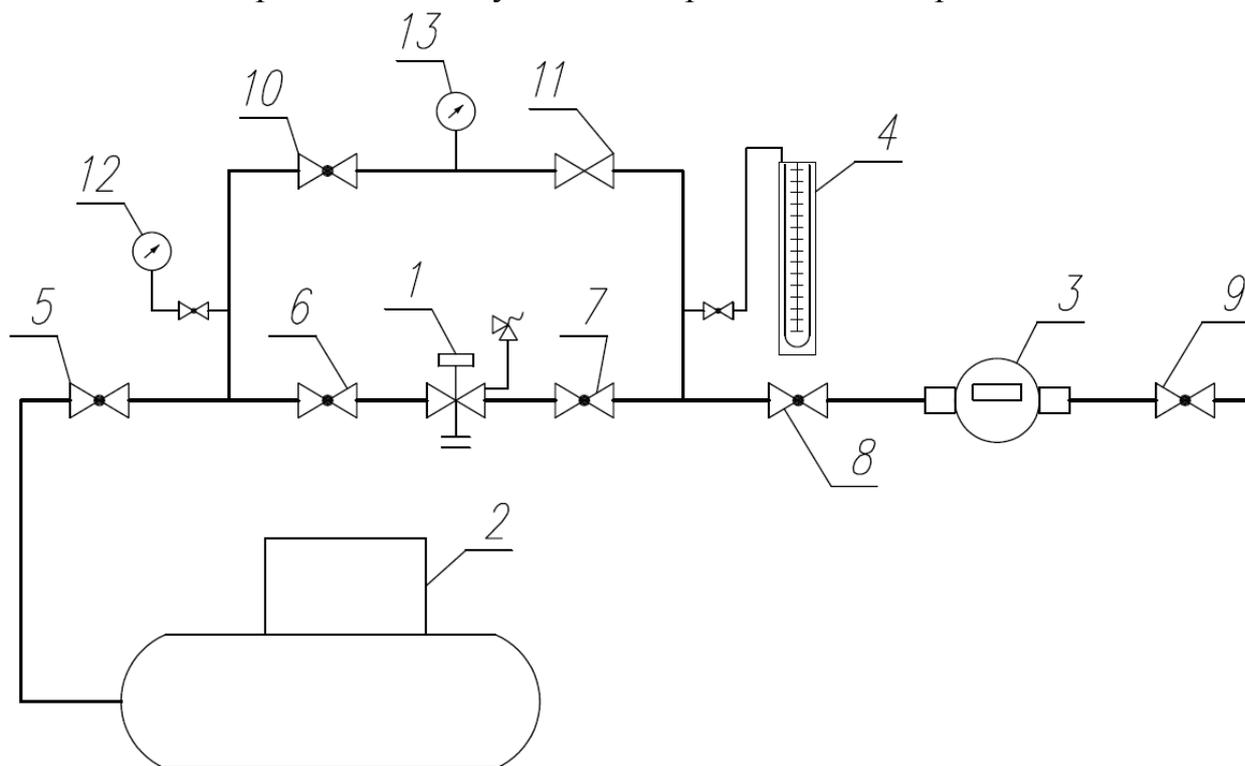


Рис. 12. Схема лабораторной установки: 1 — комбинированный регулятор давления РДГК-10М; 2 — компрессор с ресивером; 3 — газовый счетчик; 4 — U-образный манометр; 5,6,7,8,9,10, — шаровые краны; 11 — игольчатый вентиль; 12,13 — манометры

Методика проведения эксперимента и обработка результатов

Перед началом работы необходимо проверить, что все запорные устройства, кроме выходного, закрыты.

Создание высокого или среднего давления газа перед регулятором давления осуществляется с помощью компрессора. Включение компрессора выполняется путем выдвижения красной кнопки на корпусе компрессора «на себя». Компрессор автоматически отключится после заполнения ресивера, при достижении давления 0,9 МПа.

Список литературы

1. Мариненко Е.Е. Газоснабжение: учеб. пособие / Е.Е. Мариненко, Т.В. Ефремова. Волгоград, ВолгГАСУ. 2008.
2. Комина Г.П.. Газоснабжение: горение газов5
3. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Газоснабжение» / Сост. Л.А. Журилова, Б.М. Ларионова, Е.Е. Мариненко. Волгоград, ВолГИСИ, 1992.
4. Иссерлин А.С. Основы сжигания газового топлива: Справочное пособие. –Л.: Недра, 1987.
5. Промышленное газовое оборудование: справочник. Саратов: Газовик. 2007.
6. Лабораторный практикум по теплогазоснабжению и вентиляции / Под ред. Э.Х. Одельского. Минск.: Беларусь, 1973.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Плотность сухого воздуха при различных температурах и давлениях (г/см³)

Температура, °С	Давление, кПа			
	98,7	100,0	101,3	102,7
10	0,001214	0,001213	0,001247	0,001263
12	0,001206	0,001222	0,001238	0,001255
14	0,001197	0,001213	0,001230	0,001246
16	0,001189	0,001205	0,001224	0,001237
18	0,001181	0,001197	0,001213	0,001229
20	0,001173	0,001189	0,001204	0,001220
22	0,001165	0,001180	0,001196	0,001212
24	0,001157	0,001173	0,001188	0,001204
26	0,001149	0,001165	0,001180	0,001196
28	0,001141	0,001157	0,001172	0,001188
30	0,001134	0,001149	0,001165	0,001180

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Упругость водяных паров

Температура, °С	Упругость водяных паров, кПа	Температура, °С	Упругость водяных паров, кПа	Температура, °С	Упругость водяных паров, кПа
0	0,611	13	1,497	26	3,360
1	0,657	14	1,598	27	3,564
2	0,705	15	1,705	28	3,779
3	0,758	15	1,817	29	4,004
4	0,813	17	1,937	30	4,242
5	0,872	18	2,063	31	4,492
6	0,934	19	2,197	32	4,754
7	1,001	20	2,338	33	5,029
8	1,073	21	2,486	34	5,319
9	1,148	22	2,645	35	5,623
10	1,228	23	2,809	36	5,940
11	1,313	24	2,983		
12	1,402	25	3,167		

Плотность газов

Газ	Формула	Плотность, кг/м ³	Относительная плотность
Водород	H_2	0,89	0,069
Метан	CH_4	0,717	0,555
Этан	C_2H_6	1,355	1,048
Пропан	C_3H_8	2,011	1,555
Бутан	C_4H_{10}	2,708	2,094
Диоксид углерода	CO_2	1,977	1,529
Атмосферный воздух	-	1,293	1,000
Пентан	C_5H_{12}	3,457	2,67
Азот	N_2	1,25	0,97

План выпуска учеб.-метод. документ. 2015 г., поз. 23

Публикуется в авторской редакции

Подписано в свет 15.05.2015.

Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 1,2. Объем данных 535 Кбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru