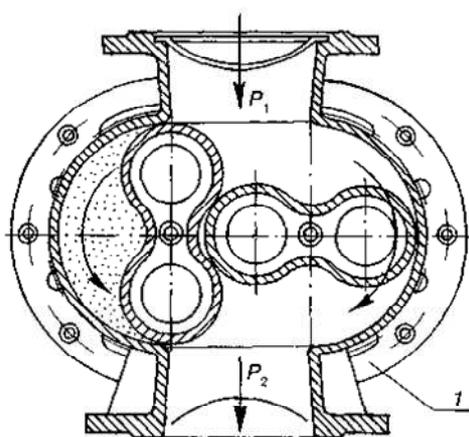


# ГАЗОСНАБЖЕНИЕ



Министерство образования и науки Российской Федерации  
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

# ГАЗОСНАБЖЕНИЕ

Лабораторные работы  
для студентов специальности  
140106 «Энергообеспечение предприятий»  
дневной и заочной форм обучения



---

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2009

УДК 629.063.2(076)  
ББК Н763я73-5  
Ж86

Рекомендовано Редакционно-издательским советом ТГТУ

Рецензент

Главный инженер ОАО «Тамбовоблгаз»  
*Д.В. Попов*

Составители:

*Н.П. Жуков, А.В. Чурилин*

Ж86 Газоснабжение : лабораторные работы / сост. : Н.П. Жуков, А.В. Чурилин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 48 с. – 100 экз.

Составлены в соответствии с программой и учебным планом дисциплины «Системы газоснабжения» и содержат методические указания, порядок выполнения лабораторных работ, описание экспериментальных установок, контрольные вопросы. Предназначены для студентов специальности 140106 дневной и заочной форм обучения.

УДК 629.063.2(076)  
ББК Н763я73-5

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный  
технический университет» (ТГТУ), 2009

Учебное издание

# ГАЗОСНАБЖЕНИЕ

Лабораторные работы

Составители:

ЖУКОВ Николай Павлович,  
ЧУРИЛИН Алексей Владимирович

Редактор Т.М. Г л и н к и н а  
Инженер по компьютерному макетированию Т.Ю. З о т о в а

Подписано в печать 17.03.2009  
Формат 60 × 84 / 16. 2,79 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 96

Издательско-полиграфический центр ТГТУ  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ

*Цель работы:* определить нормальную скорость распространения пламени при горении природного газа на горелке Бунзена, при полностью открытом отверстии для входа первичного воздуха в горелку с коэффициентом избытка воздуха, равным единице.

### Методические указания

Пламенем называется зона, в которой протекает реакция горения. Характерным свойством пламени является его свечение, что даёт возможность зрительно наблюдать и изучать форму, размеры и другие характеристики пламени. Различают два случая распространения пламени: нормальное (медленное горение) и детонационное.

Нормальной скоростью распространения  $u_n$  пламени называют скорость движения фронта пламени в направлении, нормальном к его поверхности, отнесённую к свежей ещё не сгоревшей смеси, и обязанную своим происхождением процессу передачи теплоты молекулярной теплопроводностью.

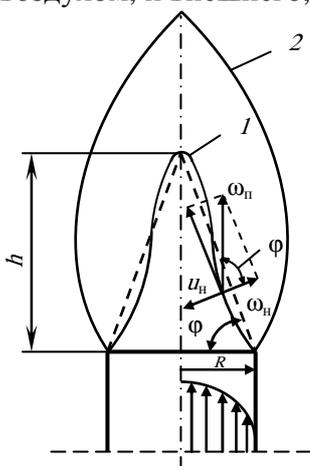
Как правило, нормальная скорость распространения  $u_n$  пламени определяется физико-химическими свойствами смеси и является физико-химической константой.

На практике нормальную скорость распространения пламени необходимо знать для определения пределов устойчивости пламени горелок, работающих на гомогенных горючих смесях, для решения вопросов взаимозаменяемости различных газов и др.

Под скоростью равномерного движения  $u$  пламени понимают линейную скорость поступательного движения фронта в целом. Значение  $u$  не является физико-химической константой горючей смеси. Значение  $u_n$  будет равно  $u$  только в случае, если направление движения пламени будет всё время совпадать с направлением нормали к каждому элементу поверхности пламени. В остальных случаях оно будет всегда меньше  $u$ .

Нормальное распространение пламени имеет место в неподвижной газовой смеси, или в ламинарном потоке.

Наиболее эффективным методом экспериментального определения нормальной скорости распространения пламени является метод Гюи-Михельсона. При этом опыты проводятся на горелке Бунзена, из устья которой выходит газозвдушная смесь с коэффициентом расхода первичного воздуха 0,5 – 1,0. Пламя состоит из двух конусов – внутреннего, в котором выгорает часть газа, обеспеченная первичным воздухом, и внешнего, в котором выгорает оставшаяся часть газа за счёт атмосферного воздуха (рис. 1.)



**Рис. 1. Схема пламени горелки Бунзена:**  
1 – внутренний конус; 2 – наружный конус;  
 $u_n$  – нормальная скорость распространения пламени;  
 $\omega_n$  – нормальная составляющая скорости потока;  
 $\omega_п$  – скорость потока газозвдушной смеси;  
 $R$  – радиус горелки

Стабильность формы внутреннего конуса обеспечивается тем, что в каждой точке его поверхности нормальная скорость распространения пламени  $u_n$ , направленная по нормали внутрь конуса, будет равна противоположно направленной составляющей  $\omega_n$  скорости потока  $\omega_п$  газозвдушной смеси.

Для внутреннего конуса справедливо равенство

$$Wf = u_n F, \quad (1)$$

где  $W$  – средняя скорость газовой смеси в горелке, м/с;  $f$  – сечение выходного отверстия горелки, м<sup>2</sup>;  $u_n$  – нормальная скорость распространения пламени, м/с;  $F$  – поверхность конуса горения, м<sup>2</sup>.

Преобразуя уравнение (1), получим

$$u_n = \frac{Wf}{F} = \frac{V_r(1 + \alpha_1 V_0)}{\pi R \sqrt{h^2 + R^2}}. \quad (2)$$

Следовательно, для экспериментального определения нормальной скорости распространения пламени достаточно измерить объём газа  $V_r$ , внутренний радиус горелки  $R$ , высоту внутреннего конуса  $h$ , выбрать коэффициент избытка первичного воздуха  $\alpha_1$  и найти количество воздуха, необходимого для полного выгорания 1 м<sup>3</sup> природного газа  $V_0$ . Произведение  $\alpha_1 V_0$  можно заменить коэффициентом эжекции эжектора горелки, который определяется по данным анализа газозооушной смеси, отобранной на срезе горелки.

Для упрощения задачи экспериментального определения скорости нормального распространения пламени откроем полностью отверстие для входа первичного воздуха в эжектор горелки Бунзена, тогда коэффициент избытка воздуха приблизится к единице. Количество воздуха для полного выгорания газа примем равным 9,7. В этом случае уравнение нормальной скорости распространения пламени упротится и примет вид:

$$u_n = \frac{10,7 V_{\text{прив}}}{\pi R \sqrt{h^2 + R^2}}, \quad (3)$$

где  $V_{\text{прив}}$  – объём газа, приведённый к нормальным условиям.

### Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой, схема которой представлена на рис. 2. Лабораторная установка состоит из следующих агрегатов и приборов: 1 – горелка Бунзена; 2 – термометр; 3 – U-образный дифференциальный манометр; 4 – счётчик газа СГБМ 1.6; 5 – регулирующий вентиль; 6 – барометр; 7 – отключающий кран.

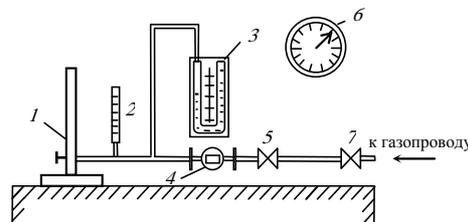


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

2. Ознакомиться со шкалами приборов, проконтролировать наличие жидкости в дифференциальном манометре. Открыть полностью отверстие для входа первичного воздуха в эжектор горелки Бунзена и отключающий кран 7 на газопроводе. Поджечь газозооушную смесь на горелке Бунзена, поворачивая регулирующий вентиль 5 и дождаться установившегося режима работы горелки.

3. Записать в табл. 1 показания дифференциального манометра ( $n$ ), температуру газа ( $t_r$ ), радиус горелки ( $R$ ), высоту внутреннего конуса ( $h$ ), количество сожжённого газа ( $V$ ), время за которое сожжён газ ( $\tau$ ). Записать по барометру барометрическое давление воздуха в лаборатории ( $P_0$ ). Для исключения случайных погрешностей измерения произвести 3 раза с интервалом 2...3 мин при одном давлении газа.

Таблица 1

№ п/п	Давление газа $n$ , дел.	Температура газа $t_f$ , °C	Радиус горелки $R$ , м	Высота внутреннего конуса $h$ , м	Количество сожжённого газа $V$ , м <sup>3</sup>	Время, за которое сожжён газ $\tau$ , с
1						
2						
3						
Средн. зн.						

### Обработка экспериментальных данных

1. Определить давление газа перед горелкой. Учитывая, что 1 мм вод. ст. равен давлению 9,81 Па,

$$P_r = n \cdot 9,81. \quad (4)$$

2. Рассчитать расход газа  $V_r = V/\tau$ , м<sup>3</sup>/с.
3. Привести расход газа к нормальным условиям:

$$V_{\text{прив}} = V_r \frac{P_n T}{P T_n}, \quad (5)$$

где  $P_n = 101\,325$  Па – барометрическое давление при нормальных условиях;  $P = P_r + P_6$  – фактическое давление, Па; здесь  $P_6$  – барометрическое давление, Па (1 мм рт. ст. = 133,3 Па);  $T_n = 273,15$  К – температура при нормальных условиях;  $T = T_n + t_f$  – фактическая температура газа, К.

4. По уравнению (3) определить нормальную скорость распространения пламени.

5. Оценить точность эксперимента, сравнив полученное значение нормальной скорости распространения пламени с табличной ( $u_n^{\text{табл.}} = 0,28$  м/с). Вычислить абсолютную погрешность  $\Delta = u_n^{\text{изм.}} - u_n^{\text{табл.}}$  и относительную  $\delta = (\Delta/u_n^{\text{табл.}}) \cdot 100\%$ .

6. Представить отчёт по работе, который должен содержать: основы теории, схему установки, таблицу наблюдений и результаты расчётов, обработку опытных данных, краткие выводы по работе.

### Контрольные вопросы

1. Что называют нормальной скоростью распространения пламени и скоростью равномерного распространения пламени?
2. Назовите типичные случаи распространения пламени, их отличия, достоинства и недостатки.
3. Что такое концентрационные пределы взрываемости?
4. Изложите процесс распространения пламени в трубе, заполненной горючей смесью.
5. Что такое проскок и отрыв пламени?
6. Расскажите основные характеристики пламени на горелке Бунзена.
7. Какие измерительные приборы используют в данной лабораторной установке и как проводятся измерения?
8. Что такое стабилизаторы пламени? Какое их назначение?
9. Какие температуры горения газов Вы знаете? В чём их отличия?
10. Расскажите о методах сжигания газа.

Литература: [7, с. 268 – 309]; [8, с. 176 – 195]; [9, с. 285 – 320].

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ (КПД) БЫТОВОЙ ГАЗОВОЙ ПЛИТЫ ПОД НАГРУЗКОЙ

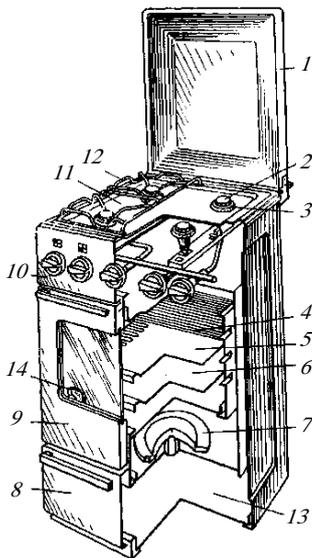
*Цель работы:* ознакомиться с устройством бытовой газовой плиты, требованиями по обеспечению устойчивой работы газовых горелок и определить коэффициент полезного действия горелки плиты.

### Методические указания

Бытовые газовые плиты должны отвечать требованиям ГОСТ Р 50696-2006 «Приборы газовые бытовые для приготовления пищи. Общие технические требования и методы испытаний». В соответствии с ГОСТом плиты имеют следующую классификацию:

- класс 1 – отдельно стоящий прибор для приготовления пищи;
- класс 2 – прибор для приготовления пищи, встраиваемый между двумя предметами мебели;
- класс 3 – прибор, встраиваемый в кухонный блок и/или рабочую поверхность.

Наиболее ярким представителем отечественных плит является унифицированная газовая плита ПГ-4, представляющая собой тумбу без ножек. Высота рабочего стола бытовых плит около 850 мм, ширина около 600 мм, расстояние между центрами соседних конфорок принимается не менее 230 мм.



**Рис. 3. Общий вид унифицированной газовой плиты ПГ-4:**

- 1 – крышка плиты или щиток; 2 – крышка горелки; 3 – насадка горелки стола;
- 4 – решётка духового шкафа; 5 – противень для выпечки; 6 – жаровня; 7 – горелка духового шкафа; 8 – дверка сушильного шкафа; 9 – дверка духового шкафа;
- 10 – распределительный щиток; 11 – стол плиты; 12 – решётка стола; 13 – сушильный шкаф; 14 – термоуказатель

На лицевой стороне плиты размещен распределительный щиток с пятью ручками и их указателями. Поворот ручки возможен лишь после нажатия (вдавливания) в осевом направлении. Стол плиты – закрытый и одновременно служит поддоном для сбора пролитой пищи. На задней кромке стола установлен щиток-экран (в некоторых модификациях заменён откидывающейся крышкой). Конфорочные решётки – прутковые, эмалированные или оксидированные.

Духовой шкаф – цельносварной, снабжён съёмным дном и подвесками для трёх полок. В комплект шкафа входят противень, жаровня и решётка. Дверца духового шкафа имеет смотровое стекло, за которым размещён биметаллический термоуказатель. Дисковая горелка не имеет запальника и зажигается через откидной лючок в дне духового шкафа. Ручки дверок духового и сушильного шкафов – плоские, изготовлены из стального листа с покрытием хромом или из полированного листового алюминия. Сушильный шкаф, размещённый под духовым шкафом, представляет собой ящик либо выдвигной, либо с откидной дверцей.

Газовые плиты изготавливают двух-, трёх- и четырёхконфорочными, с духовыми шкафами и без них.

В соответствии с ГОСТ Р 50696-2006 КПД конфорочных горелок должен быть не менее 52 %. Содержание окиси углерода в продуктах сгорания при работе горелок с номинальной мощностью не

должно превышать 0,1 % в пересчёте на сухие газы и коэффициент избытка воздуха равен единице ( $\alpha = 1$ ).

На отечественных бытовых газовых плитах используются многофакельные инжекционные горелки низкого давления (рис. 4).

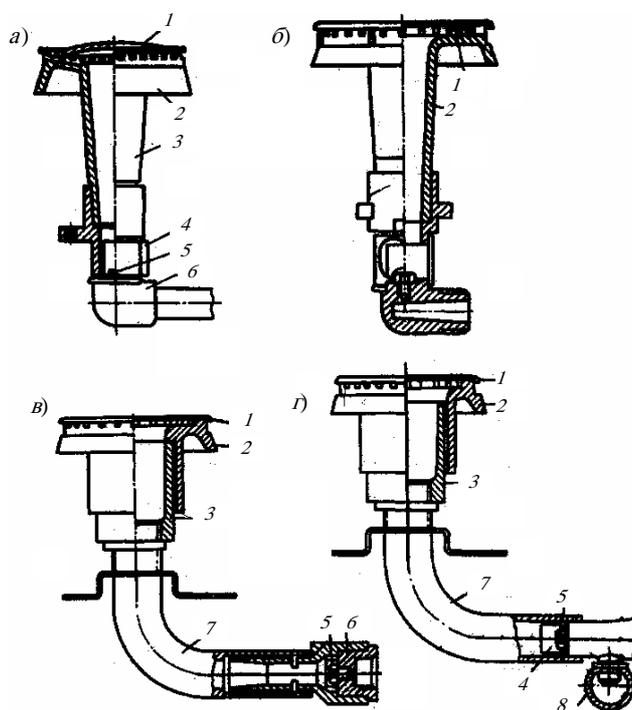
Для обеспечения устойчивой работы газогорелочное устройство плиты сконструировано так, чтобы:

а) горелка работала с максимальным коэффициентом первичного воздуха;

б) горелка располагалась по отношению к дну посуды таким образом, чтобы обеспечивалось хорошее её омывание продуктами сгорания и исключалась возможность соприкосновения внутреннего конуса пламени с её дном;

в) расстояние между дном посуды и горелкой было оптимальным, так как с увеличением этого расстояния возрастает избыток воздуха и падает КПД горелки, а с уменьшением – растёт химическая неполнота сгорания. Величина оптимального расстояния определяется тепловой нагрузкой и коэффициентом первичного воздуха, размерами конфорочного отверстия и дна посуды. Для горелок с нормальной мощностью оптимальное расстояние составляет примерно 20 мм;

г) продукты сгорания отводились через зазор (не менее 8 мм) между дном посуды и рабочим столом.



**Рис. 4. Конфорочные горелки:**

*а* – вертикальная; *б* – вертикальная с пилотным пламенем; *в* – с горизонтальным смесителем; *г* – без регулятора первичного воздуха;

*1* – колпачок; *2* – огневой насадок; *3* – диффузор; *4* – окно для подсоса воздуха;

*5* – ниппель сопла; *6* – корпус сопла; *7* – трубка-смеситель; *8* – коллектор

К показателям, характеризующим работу газовых аппаратов, относятся тепловая мощность аппарата, эффективность, характеризующаяся коэффициентом полезного действия (КПД), и теплопроизводительность.

Различают номинальные и предельные значения указанных показателей. Номинальной тепловой мощностью называют такую, при которой аппарат имеет наилучшие показатели работы: наибольшую полноту сгорания газа при наиболее высоком КПД, при этом в конструктивных элементах аппарата не должны возникать опасные тепловые напряжения, которые могут сократить установленный срок службы. Номинальная тепловая мощность, являющаяся паспортной величиной аппарата, определяется при номинальной тепловой нагрузке. Предельной тепловой мощностью является максимальная тепловая нагрузка, превышающая номинальную на 20 %. При этом не должны ощутимо ухудшаться полнота сгорания газа,

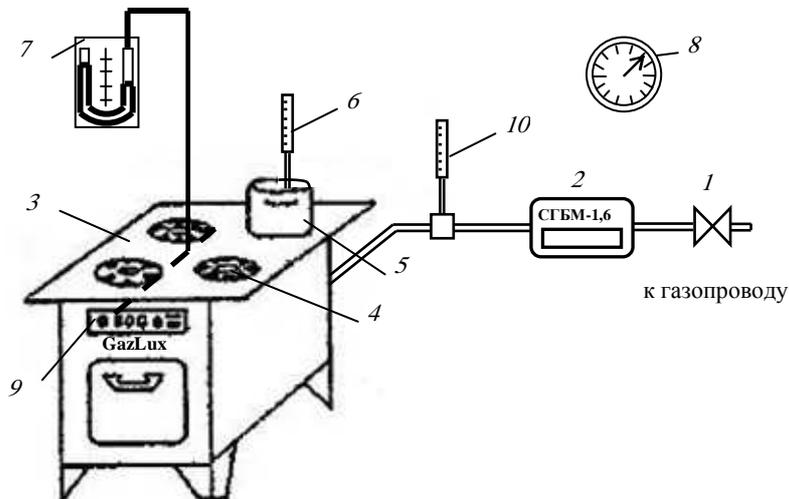
уменьшаться КПД и срок службы аппарата. Безопасность работы газового аппарата характеризуется полнотой сгорания газа и устойчивой работой газогорелочных устройств.

Давление газа перед горелкой может быть номинальным, максимальным и минимальным. Номинальное соответствует номинальной тепловой мощности, максимальное и минимальное соответствуют максимальной и минимальной тепловым мощностям горелки.

Теплопроизводительностью газового прибора называют количество теплоты, переданное прибором при сжигании газа нагреваемому телу.

### Порядок проведения работы

1. Ознакомиться со схемой лабораторной установки, представленной на рис. 5.



**Рис. 5. Схема лабораторной установки:**

- 1 – кран; 2 – счётчик газа; 3 – газовая плита; 4 – конфорочная горелка;  
 5 – кастрюля с водой; 6 – ртутный термометр; 7 – U-образный манометр;  
 8 – барометр; 9 – кран регулировочный; 10 – термометр

Лабораторная установка оснащена газопроводом, по которому газ через газовый счётчик поступает к плите. Давление и температура газа измеряются манометром 7 и термометром 10, соответственно. С помощью регулировочного крана 9 устанавливаются различные давления перед соплом горелки. На плите размещен сосуд, на крышке которого предусмотрена установка термометра для измерения температуры воды. Диаметр сосуда и масса воды в нём выбираются в соответствии с паспортной номинальной тепловой мощностью горелки (табл. 2).

**Таблица 2**

Номинальная тепловая мощность горелки, кВт	Внутренний диаметр испытательного сосуда, мм	Масса воды в испытательном сосуде, кг
1,16 – 1,64	220	3,7
1,65 – 1,98	240	4,8
1,99 – 2,36	260	6,1
2,37 – 4,2	260	6,1

2. Открыть отключающий кран 1 на газопроводе, открыть кран горелки плиты и зажечь горелку. Установить номинальное давление газа перед горелкой.

3. Определить массу сосуда с крышкой. Налить в сосуд холодную воду и поставить его на плиту с горячей горелкой. Опыт начинается при достижении температуры воды 20 °С.

4. При достижении температуры воды 20 °С включить секундомер и зафиксировать показания газового счётчика. Когда температура воды поднимется до 90 °С, остановить секундомер и зафиксировать показания счётчика.

5. Записать в табл. 3 температуру газа  $t_f$ , давление газа перед горелкой  $P_f$ , атмосферное давление  $P_0$ , массу воды  $m_1$  и сосуда  $m_2$ .

6. Открыть регулирующий кран 9 полностью. Повторить пункты 3 – 5. После записи результатов измерения установку отключить.

Таблица 3

Измеряемая величина		Номер опыта	
		1	2
Масса, кг:	сосуда $m_2$		
	воды $m_1$		
Расход газа (по показаниям счётчика) $V_{\text{изм}}$ , м <sup>3</sup>			
Давление газа перед горелкой $P_f$ , Па			
Температура газа $t_f$ , °С			
Атмосферное давление $P_0$ , Па			
Продолжительность опыта, с			
КПД горелки плиты, %			

### Обработка экспериментальных данных

1. Привести расход газа к стандартным условиям  $V_{\text{прив}}$ , м<sup>3</sup>:

$$V_{\text{прив}} = V_{\text{изм}} \frac{P_0 + P_f}{101325} \cdot \frac{288,15}{273,15 + t_f}, \quad (6)$$

где  $V_{\text{изм}}$  – измеренный объёмный расход газа за время испытаний, м<sup>3</sup>;  $P_0$  – атмосферное давление воздуха, Па;  $P_f$  – давление газа перед горелкой, Па;  $t_f$  – температура газа перед горелкой, °С.

2. Рассчитать номинальную тепловую мощность горелки,  $N_{\text{ном}}$ , кВт:

$$N_{\text{ном}} = V_{\text{ном}} Q_B, \quad (7)$$

где  $V_{\text{ном}}$  – объёмный номинальный расход сухого газа, пересчитанный к стандартным условиям испытаний, м<sup>3</sup>/ч;  $Q_B$  – высшая теплота сгорания газа при стандартных условиях,  $Q_B = 42\,083$  кДж/м<sup>3</sup>.

$$\frac{V_{\text{ном}}}{V_{\text{изм}}} = \sqrt{\frac{101,325 + P_f}{101,325} \cdot \frac{P_0 + P_f}{101,325} \cdot \frac{288,15}{273,15 + t_f}}. \quad (8)$$

3. Рассчитать коэффициент полезного действия горелки по формуле:

$$\eta = \frac{c_p m (t_2 - t_1)}{V_{\text{прив}} Q_B} \cdot 100 \%, \quad (9)$$

где  $c_p$  – удельная теплоёмкость воды,  $c_p = 4,187$  кДж/кг·К;  $m$  – масса испытательного сосуда с водой, кг,

$$m = m_1 + 0,213 \cdot m_2, \quad (10)$$

где  $m_1$  – масса воды в испытательном сосуде, кг;  $m_2$  – масса испытательного сосуда с крышкой, кг;  $t_1, t_2$  – начальная и конечная температуры воды в испытательном сосуде, °С.

4. Рассчитать по формуле (7) предельную тепловую мощность, используя данные второго опыта и КПД по формуле (9).

5. Оценить точность эксперимента, сравнив рассчитанный КПД горелки со значением из ГОСТ Р 50696–2006. Вычислить абсолютную и относительную погрешности. Сравнить полученное значение номинальной тепловой мощности горелки с паспортной величиной. Вычислить абсолютную погрешность  $\Delta = N_{\text{НОМ}}^{\text{изм}} - N_{\text{НОМ}}^{\text{пасп}}$  и относительную  $\delta = (\Delta / N_{\text{НОМ}}^{\text{пасп}}) \cdot 100 \%$ .

6. Представить отчёт по работе, который должен содержать: основы теории, схему установки, таблицу наблюдений, обработку опытных данных, выводы по результатам опытов.

### Контрольные вопросы

1. По каким показателям классифицируются газовые плиты?
2. Перечислите основные части газовой плиты.
3. Назовите тип конфорочных горелок, в чем их разница, достоинства и недостатки?
4. Объясните принцип действия конфорочной горелки.
5. Какие типы конструкций конфорочных горелок используются в отечественных плитах?
6. Какие неисправности могут возникать в газовых плитах?
7. Перечислите основные требования, предъявляемые к помещениям при установке в них газовых плит.
8. Как следует размещать газовые плиты в помещении?
9. В каких помещениях установка газовых плит не допускается?

Литература: [1]; [7, с. 406 – 410]; [8, с. 215 – 217]; [9, с. 342 – 348].

## Лабораторная работа 3

### ИЗУЧЕНИЕ ИНЖЕКЦИОННОЙ ГОРЕЛКИ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*Цель работы:* ознакомиться с конструкцией и принципом действия инжекционной горелки инфракрасного излучения (ГИИ); провести испытания ГИИ, определив влияние давления газа на температурный режим керамики, включая визуальное наблюдение за его состоянием.

### Методические указания

Газовые горелки инфракрасного излучения применяются для сушки, нагрева материалов и изделий, а также отопления некоторых зданий и сооружений.

Особенности ГИИ:

- 1) газ сгорает без видимого факела на излучающей насадке;
- 2) первичный воздух должен подаваться в количестве, необходимом для полного сгорания газа;
- 3) большая полнота сгорания по сравнению с факельными горелками;
- 4) передача теплоты происходит в основном (до 60 %) за счёт излучения;
- 5) содержание оксидов азота в продуктах сгорания значительно ниже по сравнению с факельными горелками.

Одной из важнейших характеристик горелочных устройств является коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ . Коэффициента избытка воздуха – это отношение действительного количества воздуха, участвующего в горении, к теоретически необходимому.

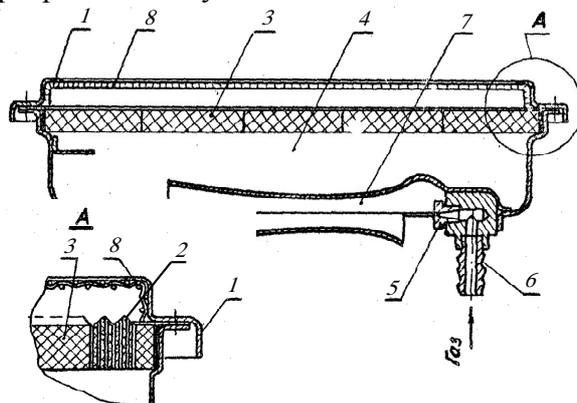
Горелки инфракрасного излучения работают удовлетворительно только при  $\alpha = 1,05 \dots 1,10$ . Незначительные отклонения его от указанных значений резко ухудшают работу горелок. При увеличении  $\alpha$  (до  $1,25 \dots 1,4$ ) падает температура насадка и понижается количество теплоты, передаваемое излучением. При дальнейшем увеличении  $\alpha$  насадка становится тёмной и газ горит вытянутым неустойчивым факелом. При уменьшении  $\alpha$  фронт пламени становится сплошным, появляются длинные жёлтые языки, насадок темнеет и количество теплоты, передаваемое излучением, резко уменьшается.

По типу излучающего насадка ГИИ можно разделить на три группы: керамические; металлокерамические; металлические.

Принципиальное устройство горелки показано на рис. 6.

Горелка состоит из инжекционного смесителя 7, насадка 3, сопла 5, пружинной рамки 1. Корпус горелки изготовлен из двух штампованных частей, соединённых контактной сваркой. В сборе он образует инжекционный смеситель 7 и распределительную камеру 4. В корпусе установлена крестовина, в которой на резьбе укрепляются сопло 5 и штуцер для подвода газа 6. Насадок 3 склеен из десяти перфорированных керамических плиток размером  $65 \times 45 \times 12$  мм. Каждая плитка имеет 1350 цилиндрических каналов 2 диаметром 1 мм. Живое сечение плитки 36 %. Гидравлическое сопротивление перфорированных плиток зависит от диаметра каналов и колеблется в пределах  $\Delta p = 1 \pm 8$  Па. Это позволяет создавать инжекционные горелки низкого давления, работающие с коэффициентом избытка первичного воздуха  $\alpha = 1,05 \pm 1,10$ . Насадок устанавливается на рамке, соединённой с корпусом. Над насадком монтируется сетка 8 из жаростойкой стали.

Подводимый к штуцеру газ вытекает из сопла 5 и инжектирует в смеситель с  $\alpha = 1,05$ . Газ горит в тонком слое поверхности керамики. Пламя на фоне раскалённой керамической поверхности не просматривается, поэтому горелки инфракрасного излучения называют иногда беспламенными.



**Рис. 6. Газовая горелка инфракрасного излучения**

Поверхность керамики раскаляется, достигая  $t = 800 \dots 900$  °С, что соответствует температурам спектра инфракрасных лучей с длиной волны 27 мкм. До 65 % выделяющегося тепла от раскалённой керамики передаётся излучением, остальные 35 % – конвективным путём с продуктами горения. Устойчивость горения в этих горелках в определённом интервале нагрузок обеспечивается двумя факторами:

- раскалённая керамика, поджигая смесь на выходе, устраняет срыв пламени;
- критический диаметр выходных каналов и тонкие стенки между ними обеспечивают охлаждение керамики выходящей газовой смесью.

Низкая температура керамики с внутренней стороны, значительно меньше температуры воспламенения смеси, что исключает возможность проскока пламени к соплу. Изменение давления газа перед горелкой не нарушает деятельности процесса эжектирования – соотношение газа и воздуха сохраняется. Тепловая же нагрузка горелки, а следовательно, тепловое напряжение керамики и её температура изменяется.

Интервал изменения температуры, особенно в сторону снижения, должен быть большим. В противном случае поверхность керамики темнеет и доля тепла, передаваемого излучением, уменьшается, возрастает химический недожог газа.

На работу горелки большое влияние оказывает качество смешения газа с воздухом. Инжекционный смеситель, как правило, обеспечивает хорошее смешение и обладает важной особенностью: в определённых пределах расхода он сохраняет постоянным значение коэффициента инжекции. Такое свойство инжекционного смесителя называется автоточностью.



## Обработка экспериментальных данных

1. Записать показания барометра  $P_6$  и температуру воздуха в лаборатории  $t_в$ .
2. Привести расход использованного газа к стандартным условиям,  $м^3/с$ :

$$V_{\text{прив}} = \frac{(b - a)}{\tau} \cdot \frac{P_6 + P_T}{101325} \cdot \frac{293,15}{273,15 + t_T}, \quad (12)$$

где  $a, b$  – начальное и конечное показания счётчика;  $\tau$  – время, за которое снимали показания по счётчику, с;  $P_6$  – барометрическое давление воздуха, Па;  $P_T$  – давление газа перед горелкой, Па;  $t_T$  – температура газа перед горелкой, °С.

3. Рассчитать тепловую мощность горелки, Вт

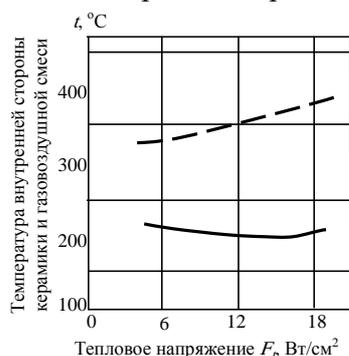
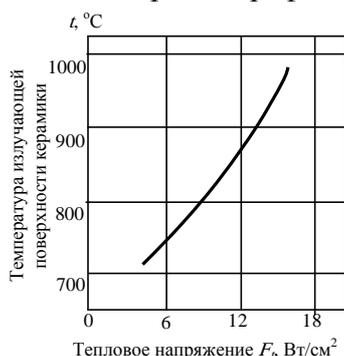
$$P_T = V_{\text{прив}} Q_H, \quad (13)$$

где  $Q_H$  – низшая теплота сгорания природного газа,  $Q_H = 35\,364$  кДж/м<sup>3</sup>.

4. Рассчитать тепловое напряжение керамики, Вт/см<sup>2</sup>, при известной площади излучающей поверхности  $f$  по формуле:

$$F_t = \frac{P_T}{f}. \quad (14)$$

5. Построить графики зависимости по образцам, представленным на рис. 8, 9.



— — — — — зависимость температур внутренней стороны керамики;  
 - - - - - зависимость температур газовой смеси

**Рис. 8.** График температурного режима излучающей поверхности при изменении теплового напряжения горелки

**Рис. 9.** График зависимости температур керамики с внутренней стороны и газовой смеси от изменения теплового напряжения горелки

6. Представить отчёт по работе, который должен содержать: основы теории, схему установки, таблицу наблюдений и расчётов, обработку опытных данных, краткие выводы по результатам опытов.

### Контрольные вопросы

1. Что называется коэффициентом инжекции?
2. Что такое коэффициент избытка воздуха?
3. Назовите основные элементы ГИИ и их назначение.
4. Назовите преимущества ГИИ по сравнению с другими горелками.
5. Чем характерна горелка инфракрасного излучения?
6. Какой метод горения обеспечивает эта горелка?
7. Какая температура развивается на поверхности керамики?
8. Почему горелки инфракрасного излучения иногда называют беспламенными?
9. В результате чего обеспечивается устойчивое горение, почему нет проскока и отрыва пламени?
10. Какая доля выделяющегося при сжигании газа тепла передаётся от раскаленной керамики излучением?

11. Как измеряются температуры внутренней стороны керамики и газозвдушной смеси перед ней?  
12. Где наиболее удобно использовать ГИИ?

Литература: [5]; [9, с. 513 – 529].

## Лабораторная работа 4

### БАЛАНСОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРОТОЧНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ

*Цель работы.* ознакомиться с устройством и принципом работы проточного газового водонагревателя; определить тепловую мощность и коэффициент полезного действия аппарата; установить зависимости между теплопроизводительностью прибора и температурой уходящих газов.

#### Методические указания

Нагревание воды для бытовых нужд обеспечивают бытовые газовые водонагреватели, которые разделяются на проточные и емкостные.

Наиболее широкое применение получили проточные газовые водонагреватели (ВПГ), работающие на газовом топливе, представляющие собой теплообменные аппараты, предназначенные для подогрева водопроводной воды до 50...60 °С с целью удовлетворения хозяйственно-бытовых и санитарно-гигиенических нужд.

Все проточные водонагреватели по величине номинальной тепловой мощности (согласно ГОСТ Р 19910–94) делятся на две группы: малые – от 8 до 9 кВт, и большие от 17 до 18 кВт, от 21 до 23 кВт и от 26 до 28 кВт; по степени автоматизации – на высший и первый классы. КПД водонагревателей при номинальной нагрузке должен быть не ниже 80 %, содержание оксида углерода в продуктах сгорания водонагревателя не должно превышать 0,05 %; водонагреватели должны обеспечивать паспортную производительность в пределах расчётных давлений газа при наименьшем значении его низшей теплоты сгорания; температура продуктов сгорания за тягопрерывателем должна быть не менее 110 °С.

Все основные элементы ВПГ (рис. 10) смонтированы в эмалированном кожухе прямоугольной формы.

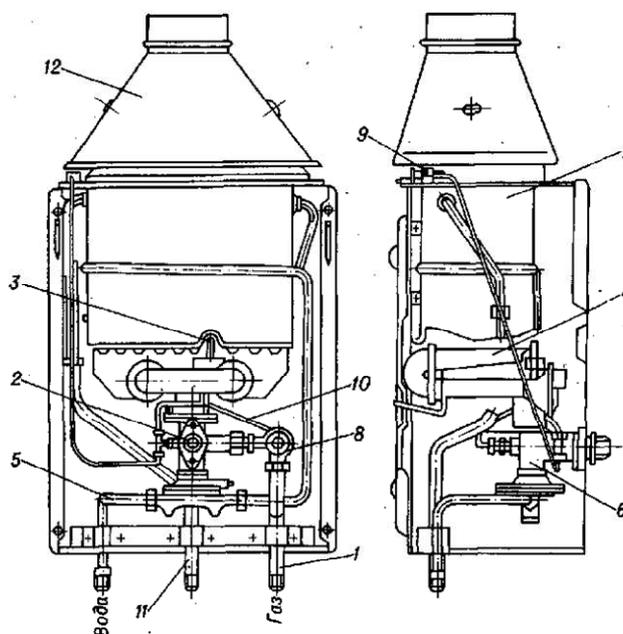
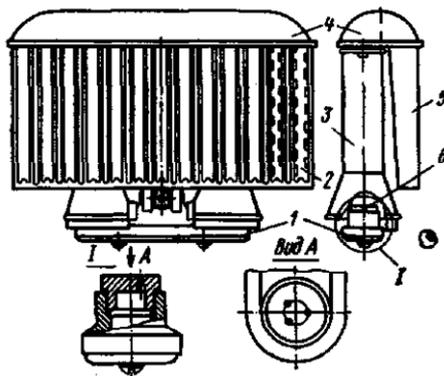


Рис. 10. Аппарат водонагревательный проточный газовый

Аппарат имеет следующие узлы: газопровод 1, кран блокировочный газовый 2, горелку запальную 3, горелку основную 4, патрубок холодной воды 5, блок водогазогорелочный с тройником горелки 6, теплообменник 7, автоматическое устройство безопасности по тяге с электромагнитным клапаном 8, датчик тяги 9 и термпарой 10, патрубок горячей воды 11 и газоотводящее устройство 12.

Водонагреватель оборудован инжекционной горелкой с двумя инжекторами (рис. 11), обеспечивающими поступление первичного воздуха до 60 % необходимого для сгорания. Это обеспечивает полное сгорание газа в коротких факелах.



**Рис. 11. Инжекционная горелка водонагревателя:**

1 – тройник с соплами; 2 – пластина; 3 – смеситель; 4 – крышка смесителей;  
5 – распределительная трубка; 6 – сопло

Теплообменник состоит из огневой камеры и калорифера. Размещённые на наружной стороне огневой камеры змеевики предохраняют стенки камер от перегрева. В первых моделях водонагревателей применялись два змеевика, один для подачи холодной воды к калориферу, другой – горячей воды к разборному крану. В современных конструкциях ВПГ змеевик делает лишь один оборот вокруг огневой камеры.

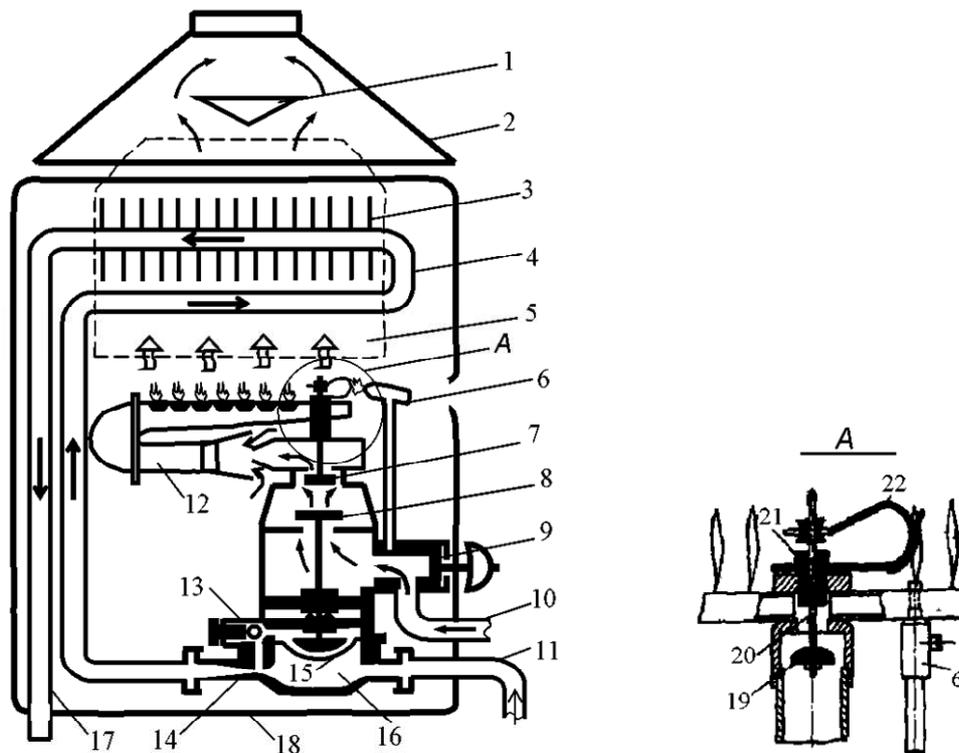
Принцип работы аппарата следующий. Газ поступает в электромагнитный клапан 8. Газовый блокировочный кран водогазогорелочного блока осуществляет принудительное последовательное включение запальной горелки и подачу газа к основной горелке.

Кроме ручной блокировки крана на пути газа к основной горелке имеются два автоматических блокировочных устройства. Блокировку поступления газа в основную горелку при обязательной работе запальной горелки обеспечивает электромагнитный клапан, работающий от термопары. Блокировка подачи газа в горелку в зависимости от наличия протока воды через аппарат осуществляется с помощью клапана, имеющего привод через шток от мембраны, расположенной в водогазогорелочном блоке. При нажатой кнопке электромагнитного клапана и открытом положении блокировочного газового крана на запальную горелку через электромагнитный клапан газ поступает в блокировочный кран, а далее через тройник – по газопроводу к запальной горелке.

При нормальной тяге в дымоходе (разрежение не менее 2,0 Па) термопара, нагреваемая пламенем запальной горелки, передаёт импульс электромагнитному клапану, который автоматически открывает доступ газа к блокировочному крану. Если тяга нарушена или отсутствует, биметаллическая пластина датчика тяги нагревается уходящими продуктами сгорания газа, открывает сопло датчика тяги и газ, поступающий во время нормальной работы аппарата на запальную горелку, уходит через сопло датчика тяги. Пламя запальной горелки гаснет, термопара охлаждается, и электромагнитный клапан отключается в течение 60 с, т.е. прекращает подачу газа.

Для плавного зажигания основной горелки предусмотрен замедлитель зажигания, работающий при вытекании воды из надмембранной полости как обратный клапан, частично перекрывающий сечение клапана и тем самым замедляющий движение мембраны вверх, а следовательно, и зажигание основной горелки.

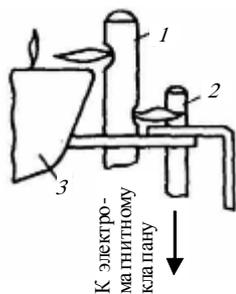
Основное количество теплоты передаётся воде через калорифер (рис. 12). Охлаждение огневой камеры обеспечивается одним витком змеевика. Калорифер 3 собран из одного ряда медных пластин и пересекается тремя горизонтальными участками змеевика 4. Теплота передаётся радиацией, конвекцией и теплопроводностью через металлические стенки, которые находятся в контакте с одной стороны с водой, с другой – потоком отходящих газов.



**Рис. 12. Принципиальная схема водонагревателя:**

1 – предохранитель от обратной тяги; 2 – газоотводящее устройство; 3 – калорифер; 4 – змеевик; 5 – огневая камера; 6 – запальник; 7 – клапан безопасности; 8 – клапан блокировки газа; 9 – блок-кран; 10 – вход газа, 11 – вход воды; 12 – горелка; 13 – шариковый замедлитель зажигания; 14 – трубка Вентури; 15 – мембрана; 16 – мембранная камера; 17 – выход воды; 18 – кожух; 19 – клапан; 20 – шток; 21 – уплотнение; 22 – биметаллическая пластина

Водяная часть блок-крана имеет верхнюю и нижнюю водяные камеры, разделённые мембраной из прочной резины. Если открыть водяной вентиль перед колонкой, то верхнюю и нижнюю камеры заполнит вода. По принципу сообщающихся сосудов давление на мембрану сверху и снизу станет одинаковым, т.е. мембрана будет находиться в равновесии. Если открыть водоразборный вентиль, то вода потечёт через водонагреватель. Минувя подмембранное пространство, вода, прежде чем попасть по соединительной трубе в змеевик, проходит через сопло Вентури ( $d_{\text{В}} = 3,4$  мм). При прохождении воды через узкую часть сечения скорость её значительно возрастает, за счёт чего создаётся разность давлений над и под мембраной. Давление воды в верхней водяной камере блок-крана понизится, а в нижней водяной камере увеличится настолько, что мембрана передвинется в верхнее положение. Шток тарелочки при движении вверх упрётся в толкатель газового клапана, пересилит давление действующей на него пружины и медленно откроет газовый клапан. Если будет открыт газовый кран основной горелки, то газ начнёт поступать в горелку и загорится от запальника.



**Рис. 13. Электромагнитный датчик пламени:**

1 – запальная горелка; 2 – термопара; 3 – основная горелка

Если прекратится подача воды, то давление на мембрану сверху и снизу уменьшится, а газовый клапан под действием пружины перекроет газ на горелку. Это предохранит радиатор от распадаивания. То же произойдет, если перекрыть водоразборный вентиль.

Для автоматизации подачи газа на основную горелку в проточном водонагревателе предусмотрен биметаллический термоклапан. В зону действия термоклапана вводится согнутая биметаллическая пластина 22. В холодном состоянии верхняя полоса пластинки находится в горизонтальном положении, вследствие чего клапан 19 через шток 20 удерживается в закрытом положении, перекрывая проход газа на основную горелку. При нагревании биметаллической пластины 22 верхняя полоса её опускается, что приводит к перемещению клапана и открытию прохода на горелку.

В новых конструкциях водонагревателей предусмотрены дополнительные

функции автоматики по блокировке работы основной горелки, например, вместо биметаллического термклапана установлен электромагнитный датчик пламени (рис. 13). В зону пламени запальной горелки введена термопара 2, которая является датчиком электродвижущей силы для электромагнитного клапана, управляющего доступом газа к горелке водонагревателя.

Основными показателями, характеризующими работу водонагревателя, являются: тепловая мощность, тепловая производительность и коэффициент полезного действия.

Тепловой мощностью газового прибора называют количество тепла, образующееся в результате сжигания газа, подводимого к горелке в единицу времени.

Различают номинальные и предельные значения величин. Номинальной тепловой мощностью называют максимальную тепловую мощность, достигаемую за время длительной работы прибора, при которой показатели работы его соответствуют установленным нормам (прибор имеет наиболее высокий КПД, даёт наибольшую полноту сгорания газа и имеет наибольший срок службы). Номинальной тепловой мощности аппарата соответствует номинальное давление газа перед ним.

Номинальную теплопроизводительность  $Q_{\text{ном}}$  следует определять при расходе воды, установленным таким образом, чтобы при температуре воды на входе в аппарат не более  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  разность температур на входе и выходе составляла  $(40 \pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Номинальная теплопроизводительность  $Q_{\text{ном}}$ , кВт, вычисляется по формуле:

$$Q_{\text{ном}} = \frac{mc_p(t_2 - t_1)}{3600}, \quad (15)$$

где  $m$  – расход воды во время испытания, кг/ч;  $c_p$  – удельная теплоёмкость воды,  $c_p = 4,187\text{ кДж/кг }^{\circ}\text{C}$ ;  $t_2$  – температура воды на выходе,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_1$  – температура воды на входе,  $^{\circ}\text{C}$ .

Номинальную тепловую мощность  $N_{\text{ном}}$ , кВт, вычисляют по формуле:

$$N_{\text{ном}} = \frac{BQ_{\text{н}}}{3600}, \quad (16)$$

где  $B$  – расход газа,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{\text{н}}$  – низшая теплота сгорания газа,  $\text{кДж/м}^3$ ;  $Q_{\text{н}} = 35\,364\text{ кДж/м}^3$ .

Перед измерением расхода газа аппарат должен проработать не менее 5 мин.

Расход газа  $B$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , приведённый к нормальным условиям, вычисляют по формуле:

$$B = \frac{V_{\text{прив}}}{\tau}, \quad (17)$$

где  $V_{\text{прив}}$  – объём газа, приведённый к нормальным условиям,  $\text{м}^3$ ;  $\tau$  – время, в течение которого измерялся объём израсходованного газа, с.

Объём газа  $V_{\text{прив}}$  вычисляют по формуле:

$$V_{\text{прив}} = V \frac{273}{273 + t_r} \cdot \frac{P_0 + P_r}{101325}, \quad (18)$$

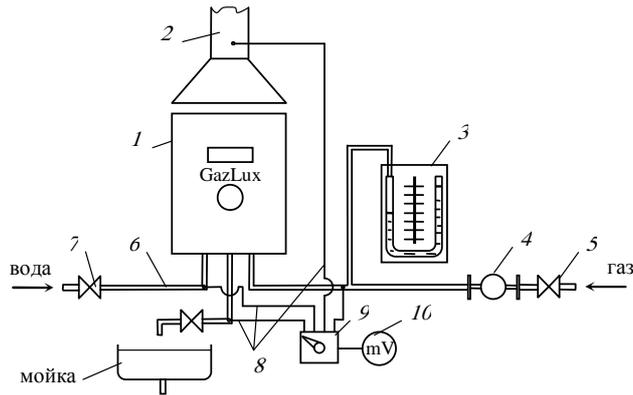
где  $V$  – объём газа, измеренный счётчиком,  $\text{м}^3$ ;  $t_r$  – температура газа на входе в горелку,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $P_0$  – барометрическое давление воздуха, Па;  $P_r$  – давление газа перед горелкой, Па.

Коэффициент полезного действия  $\eta$  рассчитывается по формуле:

$$\eta = \frac{Q_{\text{ном}}}{N_{\text{ном}}} \cdot 100\%. \quad (19)$$

## Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой, схема которой представлена на рис. 14.



**Рис. 14.** Схема лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из следующих агрегатов и приборов: 1 – проточного газового водонагревателя, 2 – дымохода, 3 – U-образного манометра, 4 – газового счётчика, 5 – крана регулирующего, 6 – водопровода, 7 – регулирующего крана, 8 – термопар, измеряющих температуру холодной и горячей воды, а также температуру газа перед горелкой и отходящих газов, 9 – пакетного переключателя, 10 – милливольтметра.

2. Произвести розжиг ВПГ согласно следующим последовательным действиям: проверить наличие тяги в дымоходе, поднеся зажжённую спичку под верхний колпак газоотводящего устройства; если тяга есть, то открыть общий кран на газопроводе перед аппаратом; открыть вентиль на водопроводной трубе перед аппаратом; повернуть по часовой стрелке ручку блок-крана до упора; нажать на кнопку электромагнитного клапана и, удерживая её в течение нескольких секунд, поднести зажжённую спичку через окошко в кожухе аппарата к запальной горелке; отпустить кнопку электромагнитного клапана после включения, при этом пламя не должно погаснуть; открыть блок-кран на основную горелку, для чего нажать в осевом направлении на ручку газового крана и повернуть её вправо до упора; открыть кран для отбора горячей воды, после чего включается основная горелка.

3. Установить регулирующим краном 5 давление газа перед горелкой равное  $2/3$  от номинального (указывается изготовителем) и отрегулировать расход воды таким образом, чтобы разница температур воды на входе  $t_1$  и выходе  $t_2$  составляла  $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$ .

4. Произвести измерения, записав в табл. 5 величину давления газа перед горелкой  $P_r$  и его температуру  $t_r$ , показания счетчика газа  $m_1$  и  $m_2$ , температуру воды на входе  $t_1$  и выходе  $t_2$ , температуру уходящих газов  $t_{\text{ух}}$ , продолжительность опыта  $\tau$ , объём воды в мерном сосуде  $V_{\text{в}}$ .

5. Установить регулирующим краном 5 давление газа перед горелкой равное номинальному, произвести измерения, описанные в п. 4. Затем давление газа перед горелкой выставить на максимально возможное и повторить измерения.

6. Отключить ВПГ согласно следующей последовательности действий: повернуть ручку блок-крана против часовой стрелки до упора, при этом будут выключены запальная горелка и электромагнитный клапан; закрыть общий кран на газопроводе; закрыть вентиль на водопроводной трубе; закрыть краны всех водоразборных точек.

Таблица 5

№ опыта	Давление газа перед горелкой $P_1$ , Па	Продолжительность опыта $\tau$ , с	Показания газового счётчика		Объём воды в мерном сосуде $V_B$ , м <sup>3</sup>	Температура, °С				
			$m_1$	$m_2$		газа перед горелкой $t_1$ уходящих газов в дымоходе	входящей	холодной воды	выходящей	нагретой воды
1										
2										
3										

### Обработка экспериментальных данных

1. Записать показания барометра  $P_0$  и температуру воздуха в помещении  $t_B$ .
2. Пользуясь формулами (15 – 19), рассчитать объём газа, теплопроизводительность, тепловую мощность, КПД прибора. Результаты расчётов свести в табл. 6.
3. Оценить точность эксперимента, сравнив номинальную тепловую мощность  $N_{\text{ном}}$  с паспортной. Вычислить абсолютную погрешность  $\Delta = N_{\text{ном}} - N_{\text{ном}}^{\text{пасп}}$  и относительную  $\delta = (\Delta / N_{\text{ном}}^{\text{пасп}}) \cdot 100 \%$ .
4. Построить график зависимости между теплопроизводительностью и температурой уходящих газов.
5. Представить отчёт по работе, который должен содержать основы теории, схему установки, таблицу наблюдений и расчётов, обработку опытных данных, выводы по результатам опытов.

Таблица 6

№ режима	Температура продуктов сгорания $t_{yx}$ , °С	Разность температур выходящей и входящей воды $t_2 - t_1$ , °С	Теплопроизводительность прибора $Q$ , кВт	Тепловая мощность прибора $N$ , кВт	КПД прибора $\eta$ , %
1					
2					
3					

### Контрольные вопросы

1. Назовите основные технические характеристики проточных газовых водонагревателей.
2. Объясните устройство и принцип действия ВПГ.
3. Объясните назначение мембранной камеры, мембраны, сопла Вентури.
4. Что такое замедлитель зажигания и как он действует?
5. Для чего служит блок-кран?
6. Для чего предназначен калорифер проточного аппарата?
7. Почему трубки калорифера имеют оребрение?

8. Объясните устройство и принцип действия электромагнитного клапана.
9. Для чего предназначен датчик тяги?
10. Что произойдет, если при работающем аппарате неожиданно прекратится подача воды?
11. Перечислите характерные неисправности ВПГ и методы их устранения.
12. Расскажите порядок включения и выключения проточного водонагревателя.
13. Перечислите требования, предъявляемые к помещениям и местам установки проточных газовых водонагревателей.

Литература: [2]; [7, с. 410 – 416]; [9, с. 348 – 351].

## Лабораторная работа 5

### ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ГАЗОРЕГУЛЯТОРНОГО ПУНКТА

*Цель работы:* ознакомиться с назначением, классификацией и принципом работы оборудования газорегуляторных пунктов и установок (далее ГРП и ГРУ); ознакомиться с методикой выбора и подобрать оборудование для ГРП.

#### Методические указания

Газорегуляторным пунктом (установкой) называется комплекс технологического оборудования и устройств, предназначенный для понижения входного давления газа до заданного уровня и поддержания его на выходе постоянным. В зависимости от размещения оборудования газорегуляторные пункты подразделяются на несколько типов:

– *газорегуляторный пункт шкафной (ГРПШ)* – оборудование размещается в шкафу из несгораемых материалов;

– *газорегуляторная установка (ГРУ)* – оборудование смонтировано на раме и размещается в помещении, в котором расположена газоиспользующая установка, или в помещении, соединённом с ним открытым проёмом;

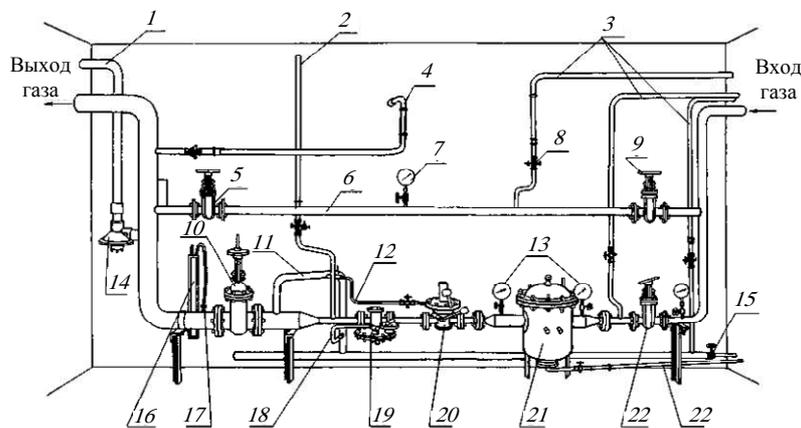
– *пункт газорегуляторный блочный (ПГБ)* – оборудование смонтировано в одном или нескольких зданиях контейнерного типа;

– *стационарный газорегуляторный пункт (ГРП)* – оборудование размещается в специально для этого предназначенных зданиях, помещениях или на открытых площадках. Принципиальное отличие ГРП от ГРПШ, ГРУ и ПГБ состоит в том, что ГРП (в отличие от последних) не является типовым изделием полной заводской готовности.

Устройство ГРП с байпасной линией *б* представлено на рис. 15.

Байпасная линия *б* служит для ручного регулирования давления газа на период ремонта (замены) оборудования на основной линии и состоит из трубопровода с двумя отключающими устройствами *5, 9* (задвижками), оборудованного манометром *7* для измерения давления. Основная линия состоит из следующего последовательно соединённого трубопроводами оборудования: входного отключающего устройства *22*; фильтра газового *21*, очищающего газ от механических примесей и оборудованного манометрами *13* для измерения перепада давления (по показаниям манометров *13* судят о степени загрязнённости фильтра *21*); предохранительного запорного клапана *20*, перекрывающего трубопровод в случае выхода из заданных пределов давления после регулятора *19* (контролируемого через импульсную трубку *12*); регулятора давления газа *19*, понижающего давление до требуемого; выходного отключающего устройства *10*; предохранительного сбросного клапана (ПСК) *14*, стравливающего газ в атмосферу в случае кратковременного повышения давления сверх установленного. Для настройки ПСК *14* перед ним должно устанавливаться запорное устройство, которое на рисунке не показано.

Газорегуляторные пункты и установки можно классифицировать следующим образом: по числу выходов; по технологическим схемам; по схеме установки регуляторов; по обеспечиваемому выходному давлению.

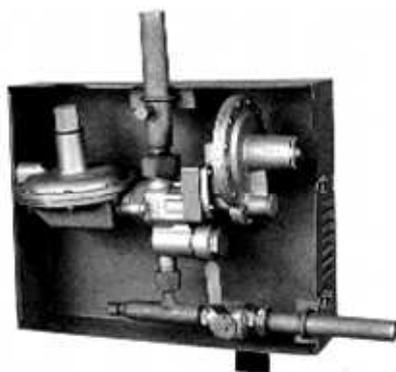


**Рис. 15. Стационарный газорегуляторный пункт (ГРП):**

- 1, 3 – сбросные свечи; 2 – настроечная свеча; 4 – газопровод газоснабжения котла для обогрева помещения ГРП; 5, 9, 10, 22 – задвижки; 6 – байпас; 7, 13 – пружинные манометры; 8, 15 – краны пробковые; 11 – импульсная трубка; 12 – импульсная трубка для ПЗК; 14 – предохранительный сбросной клапан; 16 – U-образный жидкостный манометр; 17 – кран пробковый на манометр; 18 – импульсный газопровод на регулятор; 19 – регулятор давления газа; 20 – предохранительный запорный клапан; 21 – фильтр газовый; 23 – газопровод от фильтра для слива конденсата

При выборе шкафов и установок базовыми являются рабочие параметры, обеспечиваемые регулятором давления газа (входное и выходное давление, пропускная способность), поэтому следует руководствоваться выбором регуляторов давления [3]. При этом не следует забывать, что выходные параметры шкафов и установок отличаются, порой существенно, от выходных параметров регуляторов.

Газорегуляторный пункт шкафной ГРПШ-10 производства ЗАО «Сигнал-Прибор» показан на рис. 16, а основные технические характеристики шкафа сведены в табл. 7.



**Рис. 16. Газорегуляторный пункт шкафной ГРПШ-10**

**Таблица 7**

Регулятор давления газа	РДГК-10
Регулируемая среда	Природный газ по ГОСТ 5542-78
Диапазон входных давлений, МПа	0,05...0,6
Выходное давление, кПа	1,5...2,0
Неравномерность регулирования, %	±10 %
Диапазон настройки срабатывания: при повышении выходного давления, кПа	3,5...5,0

при понижении выходного давления, кПа	0,3...1,0
Давление начала срабатывания сбросного клапана, кПа	2,8...3,5
Габаритные размеры, мм:	
длина	440
ширина	186
высота	386
Масса, кг	10

Пункт выполнен в виде шкафа, в котором расположены кран и собственно регулятор.

В ГРПШ-10 установлен регулятор РДГК-10 со встроенными предохранительно-сбросным клапаном (ПСК), предохранительно-запорным краном (ПЗК) и фильтром.

Газ по входному трубопроводу поступает через кран входного трубопровода к регулятору, где входное давление редуцируется до заданного выходного давления, и поступает к потребителю. Для замера входного и выходного давлений предусмотрены штуцера для подключения манометра.

Управление гидравлическим режимом работы системы газораспределения осуществляют с помощью регуляторов давления, которые автоматически поддерживают постоянное давление в точке отбора импульса независимо от интенсивности потребления газа. При регулировании давления происходит снижение начального – более высокого – давления на конечное – более низкое. Это достигается автоматическим изменением степени открытия дросселирующего органа регулятора, вследствие чего автоматически изменяется гидравлическое сопротивление проходящему потоку газа.

В зависимости от поддерживаемого давления (расположения контролируемой точки в газопроводе) регуляторы давления разделяют на регуляторы «до себя» и «после себя». В ГРП (ГРУ) применяют только регуляторы «после себя».

Автоматический регулятор давления состоит из исполнительного механизма и регулирующего органа. Основной частью исполнительного механизма является чувствительный элемент, который сравнивает сигналы датчика и текущего значения регулируемого давления. Исполнительный механизм преобразует командный сигнал в регулирующее воздействие и в соответствующее перемещение подвижной части регулирующего органа за счёт энергии рабочей среды (это может быть энергия газа, проходящего через регулятор, либо энергия среды от внешнего источника – электрическая, сжатого воздуха, гидравлическая).

Если перестановочное усилие, развиваемое чувствительным элементом регулятора, достаточно большое, то он сам осуществляет функции управления регулирующим органом. Такие регуляторы называются регуляторами прямого действия. Для достижения необходимой точности регулирования и увеличения перестановочного усилия между чувствительным элементом и регулирующим органом может устанавливаться усилитель – командный прибор (иногда называемый «пилотом»). Измеритель управляет усилителем, в котором за счёт постороннего воздействия (энергии рабочей среды) создаётся усилие, передающееся на регулирующий орган.

Так как в регулирующих органах регуляторов давления происходит дросселирование газа, то их иногда называют дросселирующими.

В связи с тем, что регулятор давления газа предназначен для поддержания постоянного давления в заданной точке газовой сети, то всегда необходимо рассматривать систему автоматического регулирования в целом – «регулятор и объект регулирования (газовая сеть)». Принцип работы регуляторов давления газа основан на регулировании по отклонению регулируемого давления. Разность между требуемым и фактическим значениями регулируемого давления называется рассогласованием. Оно может возникать вследствие различных возмущений – либо в газовой сети из-за разности между притоком газа в неё и отбором газа, либо из-за изменения входного (до регулятора) давления газа.

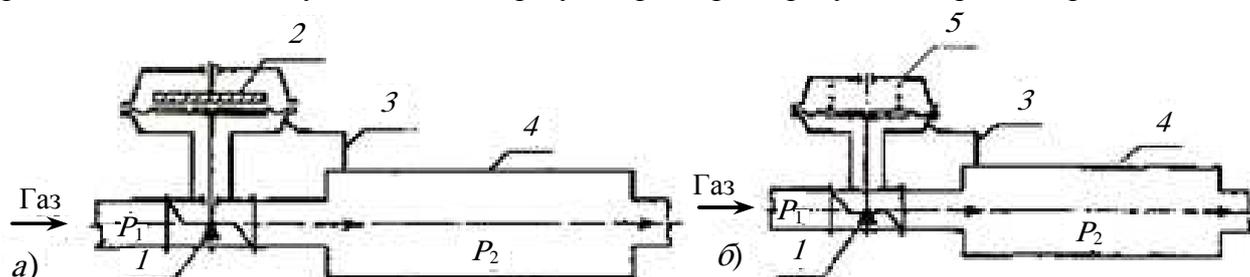
Правильный подбор регулятора давления должен обеспечить устойчивость системы «регулятор – газовая сеть», т.е. способность её возвращаться к первоначальному состоянию после прекращения возмущения.

Исходя из закона регулирования, положенного в основу работы, регуляторы давления бывают астатические, статические и изодромные. В системах газораспределения два первых типа регуляторов получили наибольшее распространение.

В астатических регуляторах (рис. 17, а) на чувствительный элемент (мембрану) действует постоянная сила от груза 2. Активная (противодействующая) сила – это усиление, которое воспринимает мембрана от выходного давления  $P_2$ . При увеличении отбора газа из сети 4 будет уменьшаться давление  $P_2$ , баланс сил нарушится, мембрана пойдёт вниз и регулирующий орган откроется.

Такие регуляторы после возмущения приводят регулируемое давление к заданному значению независимо от величины нагрузки и положения регулирующего органа. Равновесие системы может наступить только при заданном значении регулируемого давления, причём регулирующий орган может занимать любое положение. Такие регуляторы следует применять на сетях с большим самовыравниванием, например в газовых сетях низкого давления достаточно большой ёмкости.

Люфты, трение в сочленениях могут привести к тому, что регулирование станет неустойчивым. Для стабилизации процесса в регулятор вводят жёсткую обратную связь. Такие регуляторы называются статическими. При статическом регулировании равновесное значение регулируемого давления всегда отличается от заданной величины, и только при номинальной нагрузке фактическое значение становится равным номинальному. Статические регуляторы характеризуются неравномерностью.



**Рис. 17. Схемы регуляторов давления:**

- а – астатический регулятор; б – статический регулятор давления;  
 1 – регулирующий (дроссельный) орган; 2 – мембранно-грузовой привод;  
 3 – импульсная трубка; 4 – объект регулирования – газовая сеть;  
 5 – мембранно-пружинный привод

В регуляторе (рис. 17, б) груз заменён пружиной – стабилизирующим устройством. Усилие, развиваемое пружиной, пропорционально её деформации. Когда мембрана находится в крайнем верхнем положении (регулирующий орган закрыт), пружина приобретает наибольшую степень сжатия и  $P_2$  – максимальное. При полностью открытом регулирующем органе значение  $P_2$  уменьшается до минимального. Статическую характеристику регуляторов выбирают пологой, с тем, чтобы неравномерность регулятора была небольшой, при этом процесс регулирования становится затухающим.

Изодромный регулятор (с упругой обратной связью) при отклонении регулируемого давления  $P_2$  сначала переместит регулирующий орган на величину, пропорциональную величине отклонения, но если при этом давление  $P_2$  не придёт к заданному значению, то регулирующий орган будет перемещаться до тех пор, пока давление  $P_2$  не достигнет заданного значения.

На сегодняшний день регуляторы давления производят порядка десяти отечественных производителей, а их разновидностей насчитывается более 40.

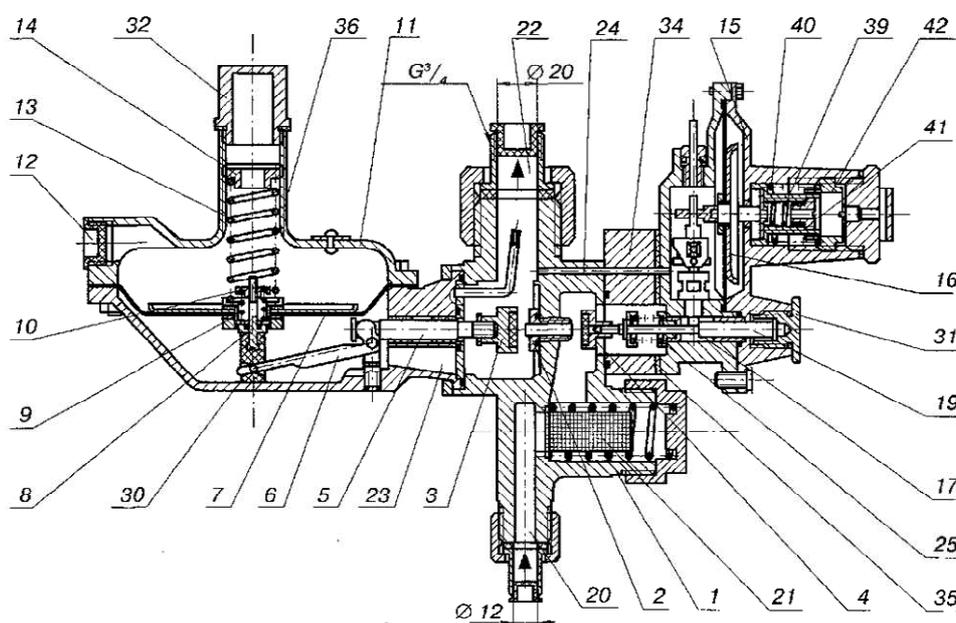
Рассмотрим устройство регуляторов давления, получившие на сегодняшний день наибольшее распространение.

На рис. 18 представлен регулятор давления РДГК-10, относящийся к регуляторам прямого действия (астатическим).

Регулятор (рис. 18) состоит из непосредственно регулятора давления, автоматического отключающего устройства и фильтра для отделения пыли 21. РДГК-10 имеет дополнительно предохранительный сбросной клапан, расположенный в мембранном узле регулятора с настройкой  $1,15 P_{\text{вых}}$ . Седло регулятора 2, расположенное в корпусе 1, является одновременно седлом рабочего 3 и отсечного 4 клапанов. Рабочий

клапан посредством штока 5 и рычажного механизма 6 соединён с рабочей мембраной 7. Пружина 13 и регулировочная гайка 14 предназначены для настройки выходного давления. Отключающее устройство 15 имеет мембрану 16, соединённую с исполнительным механизмом, фиксатор 17 которого удерживает отсечной клапан в открытом положении. Настройка отключающего устройства осуществляется пружинами 39 и 40.

Подаваемый к регулятору газ среднего и высокого давления, проходя через зазор между рабочим клапаном и седлом, редуцируется до низкого давления и поступает к потребителю. Импульс от выходного давления передаётся по внутренней импульсной трубке в подмембранную полость регулятора, которая, в свою очередь, соединена импульсным каналом (РДГК-10) или импульсным трубопроводом (РДГК-10М) с подмембранной полостью отключающего устройства. При повышении или снижении настроечного выходного давления сверх заданных значений фиксатор 17 усилием на мембране 16 выводится из зацепления и клапан 4 перекрывает седло 2. Поступление газа прекращается. Пуск регулятора в работу производится вручную после устранения причин, вызвавших срабатывание отключающего устройства.



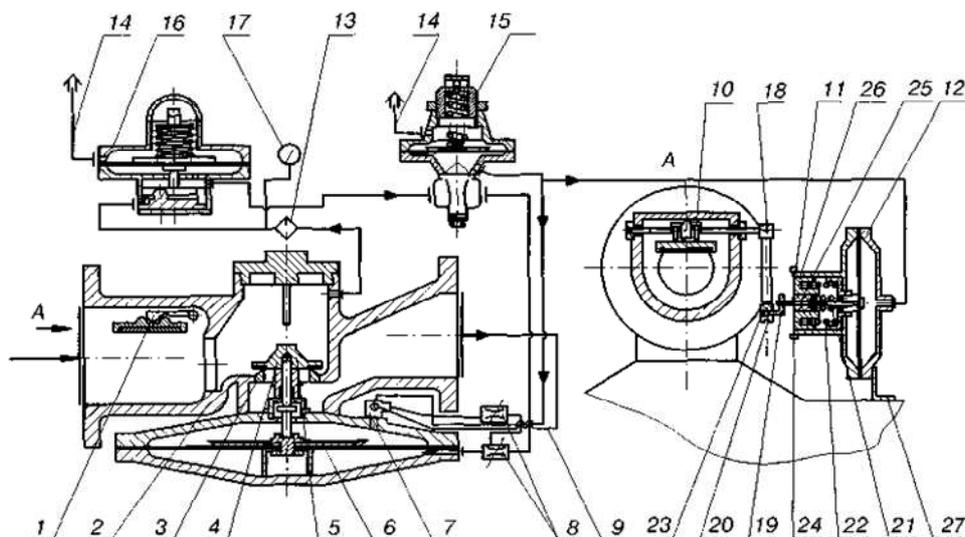
**Рис. 18. Регулятор давления газа РДГК:**

- 1 – корпус; 2 – седло; 3 – клапан рабочий; 4 – клапан отсечной; 5, 19 – шток;  
 6 – механизм рычажной; 7, 16 – мембрана; 8 – сбросной клапан;  
 9, 13, 25, 39, 40 – пружина; 10, 14, 41, 42 – гайка регулировочная;  
 11 – крышка; 12 – штуцер; 15 – устройство отключающее; 17 – фиксатор;  
 20 – патрубок входной; 21 – фильтр для отделения пыли; 22 – патрубок  
 выходной; 23, 24 – канал импульсный; 30 – корпус; 31, 32 – пробка;  
 34 – плита; 35 – прокладка; 36 – стакан

Ещё одним представителем регуляторов астатического действия является регулятор РДГ, представленный на рис. 19.

Исполнительное устройство 2 имеет литой корпус, внутри которого установлено седло 3, мембранный привод и клапан 4. Мембранный привод состоит из мембраны 6, жёстко соединённого с ней стержня 5, на конце которого закреплён клапан 4. Стержень 5 перемещается во втулках направляющей колонки корпуса. Исполнительное устройство предназначено посредством изменения проходного сечения между клапаном 4 и седлом 3 автоматически поддерживать заданное выходное давление на всех режимах расхода газа, включая нулевой. Стабилизатор 16 предназначен для поддержания постоянного давления на входе в регулятор управления, т.е. для исключения влияния колебаний входного давления на работу регулятора в целом, и устанавливается только на регуляторы низкого давления РДГ-Н. Давление по манометру после стабилизатора должно быть не менее 0,2 МПа (для обеспечения стабильного расхо-

да). Стабилизатор выполнен в виде регулятора прямого действия и включает в себя: корпус, узел мембранный с пружинной нагрузкой, рабочий клапан.



**Рис. 19. Регулятор давления газа РДГ-Н:**

1 – отсечной клапан; 2 – исполнительное устройство; 3 – седло;  
 4 – рабочий клапан; 5 – стержень; 6 – мембрана исполнительного устройства;  
 7 – дроссельная шайба; 8 – регулируемые дроссели; 9 – импульсная трубка  
 входного газопровода; 10 – пружина отсечного клапана; 11 – шток механизма  
 контроля; 12 – механизм контроля; 13 – фильтр; 14 – свеча; 15 – регулятор  
 управления; 16 – стабилизатор; 17 – манометр; 18 – рычаг отсечного клапана;  
 19 – кронштейн; 20 – винт; 21 – малая пружина; 22 – большая пружина;  
 23 – скоба; 24 – кронштейн; 25 – регулирующий винт малой пружины;  
 26 – регулирующий винт большой пружины; 27 – кронштейн

Регулятор управления 15 вырабатывает управляющее давление для подмембранной полости исполнительного устройства с целью перестановки регулирующего клапана. В состав регулятора управления входит головка и мембранная камера. Головка имеет входное и выходное отверстия. Верхняя камера имеет резьбовое отверстие для подвода импульса выходного давления. В регуляторе управления высокого давления устанавливаются более сильная пружина, опорная шайба и нижняя крышка с меньшей рабочей площадью.

Регулируемые дроссели 8 в подмембранной полости исполнительного устройства и на сбросной импульсной трубке служат для настройки на спокойную (без автоколебаний) работу регулятора.

Механизм контроля состоит из разъемного корпуса, мембраны, штока, механизма контроля 11, большой и малой пружин, уравнивающих действие на мембрану импульса выходного давления. Фильтр 13 предназначен для очистки газа, питающего стабилизатор и регулятор управления, от механических примесей. Регулятор работает следующим образом: газ входного давления поступает через фильтр к стабилизатору 16, затем в регулятор управления 15. От регулятора управления (для РДГ-Н) газ через регулируемый дроссель 8 поступает в подмембранную полость, подмембранная полость исполнительного устройства связана импульсной трубкой 9 с выходом регулятора. Через дроссель 8 и импульсную трубку 9 подмембранная полость исполнительного устройства связана с газопроводом и регулятором. Давление в ней при работе иногда будет больше выходного давления. Надмембранная полость исполнительного устройства находится под воздействием выходного давления. Регулятор управления поддерживает за собой постоянное давление, поэтому давление в подмембранной полости также будет постоянным (в установившемся режиме).

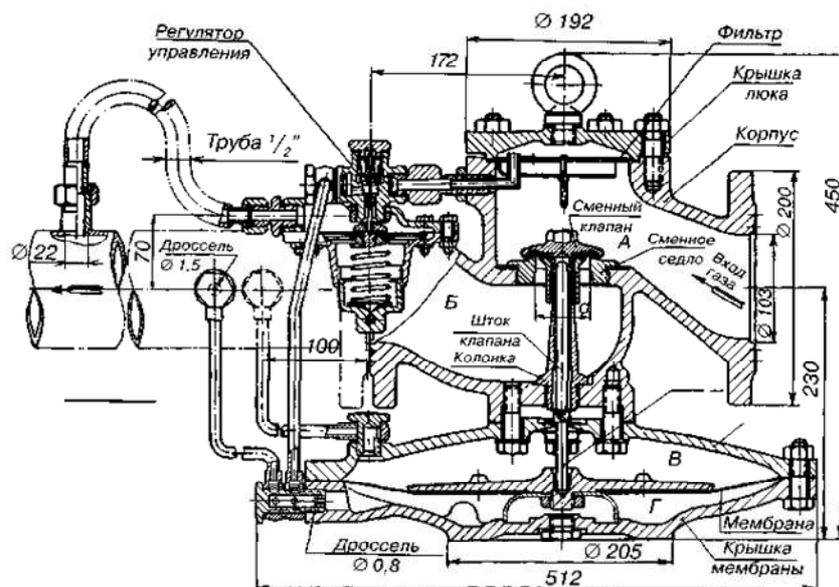
Любые отклонения выходного давления от заданного вызывают изменения давления в надмембранной полости исполнительного устройства, что приводит к перемещению клапана 4 в новое равновесное состояние, соответствующее новым значениям входного давления и расхода, при этом восстанавливается выход-

ное давление. При отсутствии расхода газа клапан 4 закрыт, так как отсутствует управляющий перепад давления между надмембранной и подмембранной полостями исполнительного устройства. При наличии минимального потребления газа образуется управляющий перепад давления в надмембранной и подмембранной полостях исполнительного устройства, в результате чего мембрана 6 с жёстко соединённым с ней стержнем 5, на конце которого закреплён клапан 4, придёт в движение и откроет проход газу через образующуюся щель между уплотнением клапана и седлом.

При уменьшении расхода газа клапан под действием изменённого управляющего перепада давления в полостях исполнительного устройства уменьшит проход газа через уменьшающуюся щель между уплотнением клапана и седлом и в дальнейшем перекроет седло. В случае аварийных повышении и понижении выходного давления мембрана механизма контроля 12 перемещается влево или вправо, рычаг отсечного клапана выходит из соприкосновения со штоком 11 механизма контроля, отсечной клапан под действием пружины 10 перекрывает ход газа в регулятор. Для предотвращения попадания газа в помещение, где установлен регулятор, в случае прорыва мембраны стабилизатора или регулятора управления должен быть предусмотрен организованный сброс в атмосферу через штуцеры (М14×1) в крышках стабилизатора и регулятора управления. Регуляторы монтируют на горизонтальном участке газопровода мембранной камерой вниз. Расстояние от нижней камеры до пола и зазор между мембранной камерой и стеной при установке регулятора в ГРП и ГРУ должен быть не менее 300 мм. Импульсный трубопровод, соединяющий регулятор с местом отбора, должен иметь диаметр: Ду25 для РДГ-50, Ду32 для РДГ-80 и РДГ-150.

Регулятор непрямого действия (статический) марки РДУК2 представлен на рис. 20.

В схеме регулятора давления РДУК2 регулятор управления КН2 является командным прибором, а регулирующий клапан – исполнительным механизмом. Работа регулятора давления осуществляется за счёт энергии проходящей рабочей среды.



**Рис. 20. Продольный разрез и схема присоединения регулятора РДУК2-100**

Газ входного давления, помимо основного клапана, поступает через фильтр на малый клапан регулятора управления и после него по соединительной трубке через демпфирующий дроссель – под мембрану регулирующего клапана. Газ сбрасывается в газопровод за регулятором давления через сбросной дроссель.

На мембраны регулирующего клапана и регулятора управления по соединительным трубкам подаётся выходное давление газа. Благодаря непрерывному потоку газа через сбросной дроссель давление перед ним и, следовательно, под мембраной регулирующего клапана всегда больше выходного давления.

Разность давлений по обе стороны мембраны регулирующего клапана образует подъёмную силу мембраны, которая при любом установившемся режиме работы регулятора уравновешивается весом подвижных частей и действием входного давления на основной клапан.

Повышенное давление под мембраной регулирующего клапана автоматически регулируется малым клапаном регулятора управления в зависимости от потребления газа и входного давления перед регулятором.

Усилие выходного давления на мембрану регулятора управления постоянно сравнивается с заданным при настройке усилием нижней пружины; любое незначительное отклонение выходного давления вызывает перемещение мембраны и клапана регулятора управления. При этом изменяется расход газа, проходящего через малый клапан, а следовательно, и давление под мембраной регулирующего клапана.

Таким образом, при любом отклонении выходного давления от заданного изменение давления под большой мембраной вызывает перемещение основного клапана в новое равновесное положение, при котором выходное давление восстанавливается. Например, если при уменьшении потребления газа выходное давление повысится, то мембрана и клапан регулятора управления несколько опустятся. При этом расход газа через малый клапан уменьшится, что вызовет уменьшение давления под мембраной регулирующего клапана. Основной клапан под действием входного давления начнёт закрываться до тех пор, пока его проходное сечение не будет соответствовать новому потреблению газа и выходное давление не восстановится.

При работе ход мембраны и клапана регулятора управления, необходимый для полного хода основного клапана, весьма мал, и изменение усилий обеих пружин на этом малом ходу, а также действие меняющегося входного давления на малый клапан составляют незначительную часть от действия выходного давления на мембрану регулятора управления. Это означает, что регулятор при изменениях потребления газа и входного давления поддерживает выходное давление за счёт незначительного отклонения от заданного. Практически эти отклонения составляют примерно 1...5 % от номинала.

Для преодоления определённого веса подвижных частей регулирующего клапана при его открытии и сопротивления малого клапана потоку газа необходим минимальный перепад давления 300 мм вод. ст.

Повышение или понижение давления газа после регулятора давления сверх заданных пределов может привести к аварийной ситуации. При чрезмерном повышении давления газа возможны отрыв пламени у горелок и появление в рабочем объёме газоиспользующего оборудования взрывоопасной смеси, нарушение герметичности, утечка газа в соединениях газопроводов и арматуры, выход из строя контрольно-измерительных приборов и т.д. Значительное понижение давления газа может привести к проскоку пламени в горелку или погасанию пламени, что при неотключении подачи газа вызовет образование взрывоопасной газозооной смеси в топках и газоходах агрегатов и в помещениях газифицированных зданий.

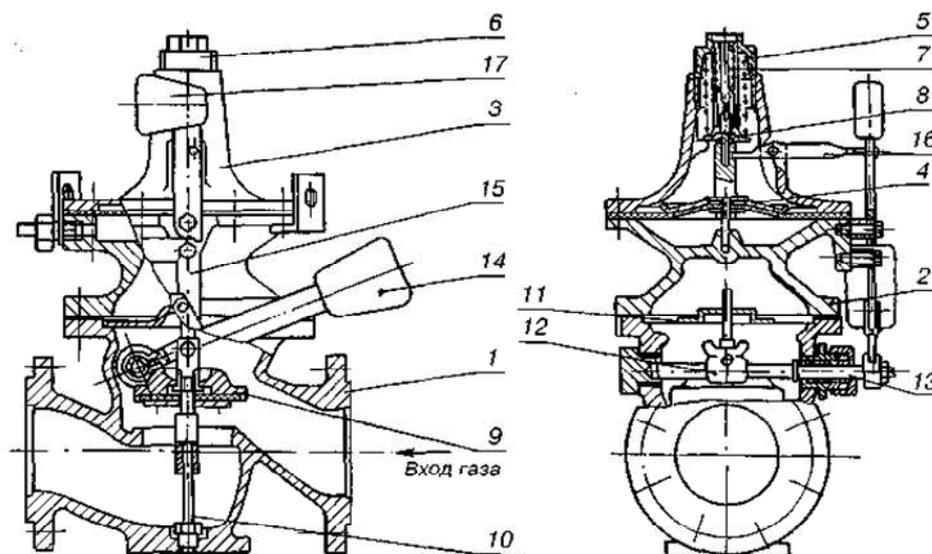
Для предотвращения недопустимого повышения или понижения давления в ГРП (ГРПШ) устанавливают быстродействующие предохранительные запорные клапаны (ПЗК) и предохранительные сбросные клапаны (ПСК).

ПЗК предназначены для автоматического прекращения подачи газа к потребителям в случае повышения или понижения давления сверх заданных пределов; их устанавливают после регуляторов давления. ПЗК срабатывают при «чрезвычайных ситуациях», поэтому самопроизвольное их включение недопустимо. До ручного включения ПЗК необходимо обнаружить и устранить неисправности, а также убедиться, что перед всеми газоиспользующими приборами и агрегатами запорные устройства закрыты. Если по условиям производства перерыв в подаче газа недопустим, то вместо ПЗК должна быть предусмотрена сигнализация оповещения обслуживающего персонала.

Отбор импульса контролируемого давления ПЗК надо делать рядом с точкой отбора импульса регулятора давления, т.е. на расстоянии от регулятора давления не менее пяти диаметров выходного газопровода. Подключать импульсный трубопровод ПЗК к нижней части горизонтального участка газопровода недопустимо для предотвращения попадания конденсата.

Предохранительный запорный клапан ПЗК (ПЗВ) представлен на рис. 21.

Подъём клапана 9 осуществляется при помощи вилки 12, закреплённой на поворотном валу 13, на конце которого крепится рычаг 14. В клапане 9 имеется устройство, выполняющее функции перепускного клапана для выравнивания давления газа до и после клапана 9 в момент его открытия. При открытии клапана рычаг 14 зацепляется с анкерным рычагом 15, установленным на переходном фланце 2. Коромысло 16, установленное в крышке 3, одним концом соединяется с мембраной 4, а другим – с молотком 17.



**Рис. 21. Клапан предохранительный запорный ПКН (ПКВ):**

- 1 – корпус; 2 – переходной фланец; 3 – крышка; 4 – мембрана;  
 5 – большая пружина; 6 – пробка; 7 – малая пружина; 8 – шток; 9 – клапан;  
 10 – направляющая стойка; 11 – тарелка; 12 – вилка; 13 – поворотный вал;  
 14 – рычаг; 15 – анкерный рычаг; 16 – коромысло; 17 – молоток

Для открытия необходимо рычаг 14 поднять до зацепления его с анкерным рычагом 15. При этом клапан 9 поднимается и открывает проход газу, который из сети по импульсной трубке поступит под мембрану 4. Настройка клапанов на нижний диапазон срабатывания производится вращением штока 8, а на верхний диапазон – вращением пробки 6.

Если контролируемое давление газа возрастает выше верхнего предела, установленного большой пружиной 5, мембрана 4, преодолевая усилие этой пружины, пойдёт вверх и повернет коромысло 16, наружный конец которого выйдет из зацепления с упором молотка 17. Под действием груза молоток 11 упадёт и ударит по свободному концу анкерного рычага 15, который освободит рычаг 14, укрепленный на валу, и клапан 9 под действием собственного веса и веса груза рычага 14 опустится на седло корпуса 1 и перекроет проход газу. Если контролируемое давление газа упадёт ниже заданного нижнего предела, установленного малой пружиной 7, мембрана 4 под действием этой пружины пойдёт вниз и опустит внутренний конец коромысла 16. При этом наружный конец коромысла 16 выйдет из зацепления с упором молотка, который упадёт и закроет клапан.

Для сброса газа за регулятором в случае кратковременного повышения давления газа сверх установленного должны применяться предохранительные сбросные клапаны (ПСК).

ПСК – это закрытая в эксплуатационном состоянии арматура; она открывается на краткий период времени, а после достижения давления в контролируемой точке номинального значения автоматически закрывается.

ПСК могут быть пружинные и мембранные. Пружинные ПСК должны быть снабжены устройством для их принудительного открытия и контрольной продувки с целью предотвращения прилипания, примерзания и прилипания золотника к седлу, а также для удаления твёрдых частиц, попавших между уплотнительными поверхностями.

ПСК подразделяются на полноподъёмные и малоподъёмные. У малоподъёмных клапанов (типа ПСК) открытие затвора происходит постепенно, пропорционально увеличению давления в контролируемой точке газопровода. Полноподъёмные клапаны (СППКР4Р-16) открываются полностью и резко, рывком, и также резко, с ударом золотника о седло, закрываются при понижении давления, т.е. имеют двухпозиционное положение: закрыто и открыто.

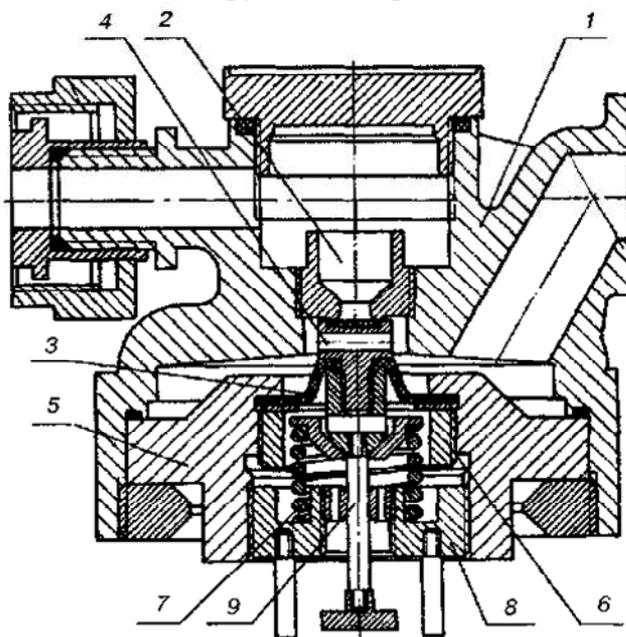
При достижении максимально допустимого давления настройки затвор ПСК должен безотказно открываться до полного подъёма, в открытом положении работать устойчиво. Затвор должен закрываться при понижении давления до номинального или ниже его на 5 % и обеспечивать герметичность. В случае запазды-

вания закрытия затвора давление газа в сети может значительно понизиться, что может привести к нарушению режима работы системы, а также выбросу в атмосферу относительно большого количества газа.

У малоподъёмных ПСК при закрытии затвора после сброса необходимого количества газа трудно достигнуть герметичности затвора, так как для этого бывает необходимо приложить усилие большее, чем в режиме «закрыто». Такие ПСК прекращают сброс газа только после уменьшения давления до 0,8...0,85 % рабочего давления, что приводит к постоянному или длительному сбросу газа в атмосферу. Главным преимуществом мембранных ПСК является наличие в их конструкции эластичной мембраны, выполняющей роль чувствительного элемента. Если в пружинных клапанах золотник выполняет функции и чувствительного элемента, и запорного органа, то в мембранных клапанах золотник выполняет только запорные функции. Мембрана позволяет увеличить чувствительность ПСК в целом и расширить область их использования, включая низкое давление газа. ПСК должны обеспечивать открытие при превышении установленного рабочего давления не более чем на 15 %.

На рис. 22 представлен клапан предохранительный сбросной КПС-Н.

Клапан состоит из следующих основных узлов и деталей: корпуса 1 с седлом 2, клапана 4, мембраны с жёстким центром 3, защёлпённой по периферии в корпусе 5 с помощью гайки 6, настроечной пружины 7, регулировочной гайки 8 и тяги 9 для ручного открытия клапана.



**Рис. 22. Клапан предохранительный сбросной КПС-Н:**

1 – корпус; 2 – седло; 3 – мембрана с жёстким центром; 4 – клапан; 5 – корпус;  
6 – гайка; 7 – настроечная пружина; 8 – регулировочная гайка; 9 – тяга

Работает клапан следующим образом. Газ из сети через входное отверстие поступает в надмембранную полость. Давление газа уравнивается настроечной пружиной 7. При повышении давления газа в сети выше настроечного мембрана преодолевает усилие настроечной пружины и открывает выход газа через сбросное отверстие выходного патрубка. При снижении давления клапан возвращается в первоначальное положение и перекрывает сбросное отверстие.

Настройка срабатывания клапана осуществляется вращением регулировочной гайки (вращение по газовой стрелке увеличивает давление срабатывания клапана и наоборот).

Фильтры. Фильтры газовые предназначены для очистки газа от пыли, ржавчины, смолистых веществ и других твёрдых частиц. Качественная очистка газа позволяет повысить герметичность запорных устройств, а также увеличить межремонтное время эксплуатации этих устройств за счёт уменьшения износа уплотняющих поверхностей. При этом уменьшается износ и повышается точность работы расходомеров (счётчиков и измерительных диафрагм), особенно чувствительных к эрозии. Правильный выбор фильтров и их квалифицированная эксплуатация являются одним из важнейших мероприятий по обеспечению надёжного и безопасного функционирования системы газоснабжения.

По направлению движения газа через фильтрующий элемент все фильтры можно разделить на прямые и поворотные, по конструктивному исполнению – на линейные и угловые, по материалу корпуса и методу его изготовления – на чугунные (или алюминиевые) литые и стальные сварные.

При разработке и выборе фильтров особенно важен фильтрующий материал, который должен быть химически инертен к газу, обеспечивать требуемую степень очистки и не разрушаться под воздействием рабочей среды и в процессе периодической очистки фильтра.

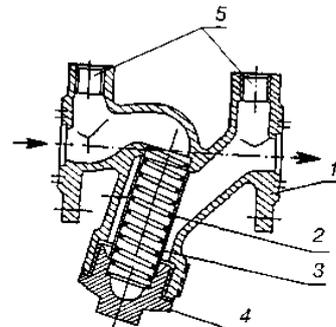
По фильтрующему материалу серийно выпускаемые фильтры подразделяются на сетчатые и волосяные. В сетчатых используют плетёную металлическую сетку, а в волосяных – кассеты, набитые капроновой нитью (или прессованным конским волосом) и пропитанные висциновым маслом.

Сетчатые фильтры, особенно двухслойные, отличаются повышенной тонкостью и интенсивностью очистки. В процессе эксплуатации, по мере засорения сетки, повышается тонкость фильтрования при одновременном уменьшении пропускной способности фильтра.

У волосяных фильтров, наоборот, в процессе эксплуатации фильтрующая способность снижается за счёт уноса частиц фильтрующего материала потоком газа и при периодической очистке встряхиванием.

Для обеспечения достаточной степени очистки газа без уноса твёрдых частиц и фильтрующего материала скорость газового потока лимитируется и характеризуется максимально допустимым перепадом давления на сетке или кассете фильтра.

Для сетчатых фильтров максимально допустимый перепад давления не должен превышать 5000 Па, для волосяных – 10 000 Па. В фильтре до начала эксплуатации или после очистки и промывки этот перепад должен составлять для сетчатых фильтров 2000...2500 Па, а для волосяных – 4000 ...5000 Па. В конструкции фильтров предусмотрены штуцеры для присоединения приборов, с помощью которых определяется величина падения давления на фильтрующем элементе.



**Рис. 23. Фильтр сетчатый типа ФС:**  
1 – корпус; 2 – кассета;  
3 – сетка; 4 – пробка;  
5 – штуцеры

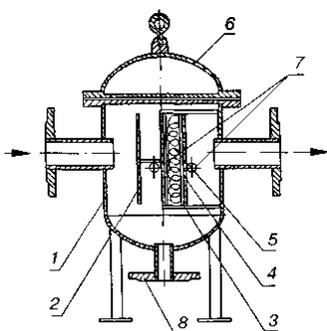
Работу сетчатого фильтра можно рассмотреть на примере фильтра типа ФС (рис. 23), где в качестве фильтрующего элемента используют однослойную плетёную металлическую сетку заводского изготовления, которую, придав ей цилиндрическую форму, припаивают к вставленному внутрь этого цилиндра каркасу.

В корпусе 1 расположена обойма, состоящая из проволочного каркаса (кассеты) 2 и обтягивающей её мелкоячеистой сетки 3. Обойма прижимается к выступам корпуса пробкой 4. Газ из входного патрубка фильтра поступает внутрь обоймы, на сетке которой задерживаются и частично ссыпаются вниз твёрдые частицы. Пройдя через сетку, очищенный газ попадает в выходной патрубок фильтра и из него направляется к основному оборудованию.

Для очистки фильтра при закрытых запорных устройствах до и после него вывёртывают пробку, из корпуса вынимают обойму и сетку тщательно промывают. Штуцеры 5 служат для подключения дифманометра.

Работу волосяного фильтра рассмотрим на примере фильтра типа ФГ (рис. 24).

В чугунном корпусе 1 фильтра ходу газа) установлен отбойный лист предотвращает повреждение кассеты. Торцевые части кассеты затянуты между которыми набивается конским волосом), пропитанной которая должна быть однородной, его очистка. За кассетой (перфорированная металлическая стенку от разрыва и уноса превышении допустимого перепада крышкой 6, закрепляемой болтами. дифманометра при измерении



**Рис. 24. Фильтр газовый ФГ:**  
1 – корпус; 2 – отбойный лист; 3 – кассета;  
4 – перфорированный лист;  
5 – фильтрующий элемент;  
6 – крышка; 7 – штуцеры;  
8 – фланец

Для очистки фильтра при после него снимают крышку, вынимают заглушку.

находится кассета 3. Перед ней (по (стальная пластина) 2, который крупными твёрдыми частицами. проволочными сетками, пространство капроновой нитью (или прессованным висциновым маслом, через набивку, без комков и жгутов, осуществляется расположена решётка 4 пластина), предохраняющая заднюю фильтрующего материала при давлении. Сверху корпус перекрыт Штуцеры 7 служат для подключения перепада давления.

закрытых запорных устройствах до и имеют кассету, а с фланца 8 при этом

Чистят кассету встряхиванием накопившихся твёрдых частиц и промыванием её в бензоле, ксилоле и других растворителях. Корпус волосяных фильтров, так же как и сетчатых, можно изготавливать из стали в сварном исполнении.

Устройства учёта расхода газа. Целью учёта расхода газа является определение объёма природного газа, проходящего через каждого участника сети газораспределения для проведения взаимных расчётов.

Поскольку проходящие объёмы газов измеряются при различных температурах, давлении, плотности, то измеренные объёмы газа необходимо привести к единым, постоянным параметрам (нормальным или стандартным условиям).

Центральными вопросами учёта природного газа являются достоверность учёта и обеспечение совпадения результатов измерения на узлах учёта поставщика и потребителей: приведённый к стандартным условиям объём газа, отпущенный поставщиком, должен быть равен сумме приведённых к стандартным условиям объёмов газа, полученных всеми потребителями. Последняя задача называется сведением балансов в пределах устойчивой структуры газораспределения.

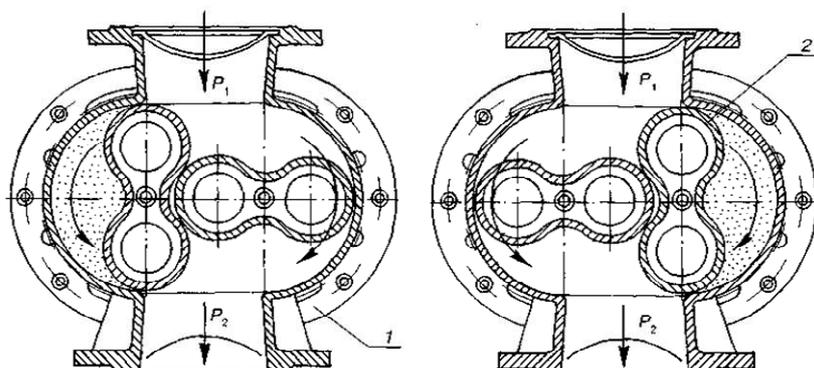
Следует отметить различие, существующее между измерением расхода и количества и их учётом. В отличие от результатов измерений, всегда содержащих погрешность, учёт осуществляется между поставщиком и потребителем по взаимосогласованным правилам, обеспечивающим формирование значения объёма природного газа в условиях, не содержащих никакой неопределённости.

Существующие устройства учёта расхода газа *по пропускной способности* можно классифицировать на следующие группы:

- бытовые – с пропускной способностью до  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- коммунально-бытовые – с пропускной способностью от 10 до  $40 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- промышленные – с пропускной способностью свыше  $40 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

*По методу измерения* можно классифицировать на следующие группы:

- основанные на гидродинамических методах:
  - переменного перепада давления (расходомеры переменного перепада давления с суживающими устройствами);
  - обтекания (ротаметры, поплавковые, поршневые, поплавково-пружинные и с поворотной осью);
  - вихревые (струйные, вихревые);
- с непрерывно движущимся телом:
  - тахометрические (турбинные, камерные, барабанные, ротационные, мембранные объёмные счётчики и др.);
  - силовые (массомеры газа, в работе которых используется Кориолисов эффект);
- основанные на различных физических явлениях:
  - тепловые (калориметрические, с внешним нагревом, термоанемометрические);
  - акустические (ультразвуковые);
  - электромагнитные;
  - оптические (лазерно-доплеровские анемометры);
- основанные на особых методах:
  - меточные;
  - концентрационные.



**Рис. 25. Ротационный счётчик газа типа РГ:**

*1 – корпус; 2 – ротор*

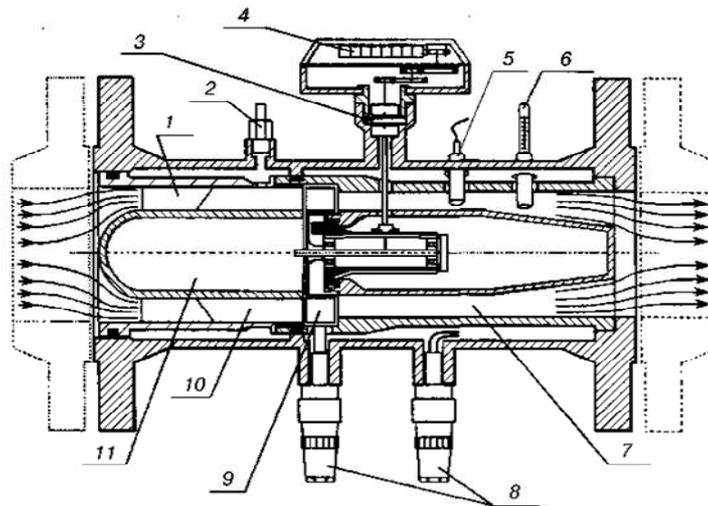
Наибольшее распространение получили ротационные счётчики.

Ротационный (роторный) счётчик – камерный счётчик газа, в котором в качестве преобразовательного элемента применяются восьмиобразные роторы.

Ротационный газовый счётчик типа РГ (рис. 25) состоит из корпуса *1*, внутри которого вращаются два одинаковых восьмеркообразных ротора *2* передаточного и счётного механизмов, связанных с одним из роторов. Роторы приводятся во вращение под действием разности давлений газа, поступающего через верхний входной патрубок и выходящего через нижний выходной патрубок. При вращении роторы обкатываются своими боковыми поверхностями. Синхронизация вращения роторов достигается с помощью двух пар одинаковых зубчатых колес, укрепленных на обоих концах роторов в торцевых коробках вне пределов измерительной камеры-корпуса. Для уменьшения трения и износа шестерни роторов постоянно смазываются маслом, залитым в торцевые коробки.

Объём газа, вытесненный за пол-оборота одного ротора, равен объёму, ограниченному внутренней поверхностью корпуса и боковой поверхностью ротора, занимающего вертикальное положение. За полный оборот роторов вытесняются четыре таких объёма.

В турбинном счётчике газа (рис. 26) под воздействием потока газа колесо турбины приводится во вращение, число оборотов которого прямо пропорционально протекающему объёму газа. Число оборотов турбины через понижающий редуктор и газонепроницаемую магнитную муфту передаётся на находящийся вне газовой полости счётный механизм, показывающий (по нарастающей) суммарный объём газа при рабочих условиях, прошедший через прибор.



**Рис. 26. Схема турбинного счётчика газа СГ:**

*1, 10 – измеряемое поперечное сечение; 2 – включение давления;*

*3 – магнитная муфта; 4 – счётный механизм; 5 – термоизмерительный зонд РТ-100; 6 – контрольный термометр; 7 – канал выхода; 8 – датчики импульсов;*

*9 – колесо турбины; 11 – вытесняющее тело*

На последнем зубчатом колесе редуктора закреплён постоянный магнит, а вблизи колеса – два геркона, частота замыкания контактов первого пропорциональна скорости вращения ротора турбины, т.е. скорости потока газа. При появлении мощного внешнего магнитного поля контакты второго геркона замыкаются, что используется для сигнализации о несанкционированном вмешательстве.

### Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с литературой [3, 6], наиболее полно отражающей номенклатуру, выбор и принцип работы газового оборудования.

2. Пользуясь литературой, подобрать оборудование – регулятор давления газа, предохранительный запорный клапан, фильтр газовый, задвижки, предохранительный сбросной клапан, прибор замера расхода газа для газорегуляторного пункта, схема которого представлена на рис. 15. Данные для подбора выбираются из табл. 8 согласно варианту.

3. Представить отчёт по работе, который должен содержать основы теории, схему ГРП с подобранным оборудованием, выводы по результатам работы.

Таблица 8

**Исходные данные для подбора оборудования в ГРП (ГРУ)**

№ варианта	Входное давление $P_1$ , МПа	Выходное давление $P_2$ , МПа	Расход газа $Q_{\max}$ , м <sup>3</sup> /ч	Расход газа $Q_{\min}$ , м <sup>3</sup> /ч	Вид газопровода
1	0,6	0,05	110	30	Тупиковый
2	0,6	0,1	50 000	5000	Кольцевой
3	1,2	0,016	1900	60	Разветвлённый
4	1,2	0,05	800	1	Тупиковый
5	1,2	0,1	1700	230	Тупиковый
6	1,2	0,016	5800	95	Разветвлённый
7	1,2	0,65	10 000	700	Кольцевой
8	1,2	0,1	12 300	3700	Кольцевой
9	0,6	0,05	10	9	Тупиковый
10	1,2	0,05	6000	1000	Кольцевой
11	1,2	0,1	16 400	3200	Кольцевой
12	1,6	0,05	180	40	Тупиковый
13	1,2	0,1	300	50	Тупиковый
14	1,2	0,1	2250	680	Разветвлённый
15	0,6	0,1	70	30	Тупиковый
16	1,2	0,016	10 140	370	Кольцевой
17	0,3	0,05	20	8	Тупиковый
18	1,2	0,1	2120	690	Кольцевой
19	1,2	0,1	5240	1010	Разветвлённый
20	1,2	0,1	31 312	7450	Кольцевой
21	1,2	0,05	400	100	Тупиковый
22	1,2	0,1	60 400	700	Кольцевой
23	1,2	0,1	44 200	470	Кольцевой
24	1,2	0,01	700	0	Тупиковый
25	1,2	0,05	7700	100	Разветвлённый

## Контрольные вопросы

1. Назовите, что входит в состав оборудования ГРП (ГРУ). Расскажите о назначении названного оборудования.
2. Назовите наиболее распространённые регуляторы давления газа. Каков принцип их работы?
3. Какие устройства для измерения расхода газа Вы знаете? На каких методах или явлениях основаны способы измерения расхода?
4. Перечислите требования, предъявляемые к помещениям и местам установки ГРП (ГРУ).
5. Чем следует руководствоваться при выборе оборудования ГРП?
6. Обоснуйте тип оборудования, выбранного Вами для ГРП.
7. Нарисуйте и расскажите технологическую схему ГРП.
8. Каковы пределы настройки ПКС и ПЗК?

Литература: [3, 6, 7, 9].

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 50696–2006. Приборы газовые бытовые для приготовления пищи. Общие технические требования и методы испытаний. – Введ. 2007–01–01. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии РФ, 2006.
2. ГОСТ 19910–94. Аппараты водонагревательные проточные газовые бытовые. – Введ. 1996–01–01. Комитет Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации, 1995.
3. СП 42-101–2003. Свод правил по проектированию. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем и металлических и полиэтиленовых труб. – М. : Полимергаз, 2006. – 167 с.
4. ПБ 12-529–03. Правила безопасности систем газораспределения и газопотребления. – М. : Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2004. – 200 с.
5. Богомолов, А.И. Газовые горелки инфракрасного излучения и их применение / А.И. Богомолов. – М. : Стройиздат, 1967. – 254 с.
6. Промышленное газовое оборудование : справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Саратов : Газовик, 2002. – 624 с.
7. Ионин, А.А. Газоснабжение / А.А. Ионин. – М. : Стройиздат, 1989. – 439 с.
8. Скафтымов, Н.А. Основы газоснабжения / Н.А. Скафтымов. – Л. : Недра, 1975. – 343 с.
9. Стаскевич, Н.Л. Справочник по газоснабжению и использованию газа / Н.Л. Стаскевич, Г.Н. Северинец, Д.Я. Вигдорчик. – Л. : Недра, 1990. – 762 с.