

Лабораторный практикум

Составители

профессор доктор технических наук А.А.Ионин, доценты кандидаты технических наук И.В.Мещанинов, В.А.Жила, ассистент В.Ю.Старов.

Рецензенты

кафедра теплогазоснабжения и вентиляции ВЗИСИ (доцент кандидат технических наук Л.Н.Мироненкова), начальник отдела тепловых процессов ВНИИстром кандидат технических наук В.В.Титов.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ В ЛАБОРАТОРИИ ТЕПЛОФИКАЦИИ И ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

1. К работе (занятиям) в лаборатории допускаются студенты, знающие методику проведения работ и прошедшие инструктаж по технике безопасности.

2. Перед началом работ преподаватель проверяет знание студентами методики проведения работ, а также проводит инструктаж по технике безопасности и оформляет контрольный лист.

3. Студенты обязаны выполнять все указания преподавателя по проведению лабораторных работ, а также правила по технике безопасности.

4. Во время лабораторных занятий запрещается;

- производить действия, не предусмотренные методикой работы;

- отвлекаться и отвлекать других;

- загромождать рабочее место посторонними предметами, в том числе портфелями, сумками, верхней одеждой и т.п.;

- включать и выключать установки без разрешения преподавателя;

- покидать свое рабочее место без разрешения преподавателя;

- прикасаться к токопроводящим и нагреваемым частям установки;

- курить и принимать пищу;

- пользоваться неисправными приборами и инструментами.

5. Студенты обязаны содержать рабочее место в чистоте и порядке.

6.0 всех замеченных неисправностях установок и приборов студенты обязаны немедленно сообщить преподавателю.

7. По окончании работы студенты обязаны сообщить об этом преподавателю, сдать все предметы, которыми пользовались во время работы, дежурному лаборанту и привести в порядок рабочее место.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ГАЗА РУЧНЫМ КАЛОРИМЕТРОМ ЮНКЕРСА

1. Принцип определения теплоты сгорания газа калориметром

Теплота сгорания топлива - это количество теплоты, которое может быть получено при полном сгорании 1 кг или 1 м³ топлива.

Различают высшую Q_В или Q_Н теплоту сгорания топлива. В низшую теплоту сгорания топлива не входят количество теплоты, которое может быть выделено при конденсации водяных паров, находящихся в продуктах сгорания топлива. Водяные пары в продуктах сгорания образуются при испарении влаги самого топлива и влаги, входящей в состав воздуха, который используется в качестве окислителя, а также при сгорании углеводородов, водорода и водородсодержащих компонентов, находящихся в топливе.

Теплоту сгорания газообразного топлива можно определить калориметром Юнкера, принцип действия которого основан на том, что теплота, непрерывно выделяемая горящим газом, отводится непрерывным потоком воды.

Тепловой баланс рабочего пространства калориметра можно представить уравнением, связывающим приходные и расходные составляющие:

$$Q_X + Q_T + Q_B = Q_D + Q_{НСП} + Q_{ак} + Q_{окр.сг} \quad (1)$$

Приходные составляющие теплового баланса:

- химическая теплота топлива

$$Q_X = Q_B \cdot V_T, \text{ кВт},$$

где Q_В - высшая теплота сгорания топлива, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$;

V_Т - расход топлива, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

- физическая теплота воздуха

$$Q_B = \alpha \cdot V_0 \cdot c_B \cdot t_B \cdot V_T, \text{ кВт},$$

где α - коэффициент избытка воздуха горелки;

V₀ - теоретическое количество воздуха (при α=1), необходимое для сгорания 1 м³

топлива, $\frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$;

c_В - теплоёмкость воздуха, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{С}}$

t_B - температура воздуха, поступающего в горелку, С

- теплота, затрачиваемая на нагрев воды

$$Q_{II} = M_{\text{ВОД}} \cdot c_{\text{ВОД}} \cdot (t_2 - t_1), \text{ кВт},$$

где $M_{\text{ВОД}}$ - массовый расход воды, $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$;

$c_{\text{ВОД}}$ - массовая теплоёмкость воды, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{С}}$;

t_1, t_2 - температуры воды, входящей в калориметр и выходящей из него, С;

- теплота, уносимая уходящими продуктами сгорания

$$Q_D = i_D \cdot V_T, \text{ кДж},$$

i_D - энтальгия уходящих продуктов сгорания на 1 м^3 топлива, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$;

- потери теплоты с продуктами неполного сгорания газа

$$Q_{\text{неп}} = V_T \cdot V_D \cdot (35 \cdot 1C_{\text{ВЛ}} + 30H_{2\text{ВЛ}}) \cdot 10^{-3}, \text{ кВт},$$

где V_D - количество продуктов сгорания на 1 м^3 топлива, $\frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$;

$CO_{\text{ВЛ}}, H_{2\text{ВЛ}}$ - содержание во влажных продуктах сгорания окиси углерода и водорода, % объёмные;

- теплота, аккумулированная калориметром и находящейся в нем водой

$$Q_{OK} = M_K \cdot c_K \cdot (t_K^k \cdot t_H^k), \text{ кВт},$$

где M_K - масса калориметра с водой, кг;

c_K - массовая теплоёмкость калориметра с водой, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{С}}$;

t_K^k, t_H^k - начальная и конечная температура калориметра с водой, С

- потери теплоты в окружающую среду

$$Q_{\text{ок.ср}} = \sum q_k \cdot F_k, \text{ кВт},$$

где q_k - удельный тепловой поток через стенки калориметра, $\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$;

F_k - площадь теплоотдающей поверхности калориметра, м^2 .

Теплоту сгорания газа начинают определять после того, как наступит стабильный режим работы калориметра. Этим исключается влияние теплоты, аккумулированной калориметром, и находящейся в нем воды, т.е. $Q_{\text{ак}}=0$.

Стабильность режима работы калориметра поддерживается постоянным расходом воды, который обеспечивается постоянным напором H (рисунок) и неизменным гидравлическим сопротивлением калориметра. Постоянный расход газа обеспечивается постоянным перепадом давлений на газовой горелке и постоянным гидравлическим сопротивлением горелки.

Для достижения большей точности в определении теплоты сгорания необходимо, чтобы физическая теплота поступающих в калориметр топлива Q_T и воздуха Q_B была равна теплоте, уносимой уходящими продуктами газа:

$$Q_B + Q_T = Q_D.$$

Это достигается тогда, когда разность температур уходящих газов и входящей в калориметр воды составляет $0 - 4$ °С, разность температур воздуха и входящей воды не более 5 °С, а также когда температура отходящих газов будет на $1 - 4$ °С ниже температуры окружающего воздуха. Разность температур воды, поступающей в калориметр, и воды, выходящей из него, следует поддерживать в пределах $8 - 12$ °С. Такой перепад температур обеспечивает необходимую точность измерений температур воды и, кроме того, уменьшает потери теплоты в окружающую среду $Q_{ок.ср.}$. Поэтому этими потерями теплоты пренебрегаем ввиду их малости.

Для предотвращения потерь теплоты с продуктами неполного сгорания газа следует обеспечить:

- необходимое для полного сгорания газа количество первичного воздуха. Это условие соблюдается, если пламя, горелки прозрачно;
- установку горелки таким образом, чтобы пламя горелки не касалось стенок калориметра.

Следовательно, потерями теплоты с продуктами неполного сгорания газа можно пренебречь.

С учётом принятых допущений уравнение теплового баланса (1) для калориметра примет вид

$$Q_B \cdot V_T = M_{\text{вод}} \cdot c_{\text{вод}} \cdot (t_2 - t_1)$$

Так как температура стенок трубок калориметра, по которым движется вода, ниже температуры насыщения водяных паров продуктов сгорания при данном парциальном давлении насыщенного водяного пара, водяные пары из продуктов сгорания конденсируются. Поэтому калориметром определяется высшая теплота сгорания сухого газа

$$Q_{Bc} = \frac{c_{\text{вод}} \cdot M_{\text{вод}} \cdot (t_2 - t_1)}{V_T^H}, \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}.$$

Расход осушённого газа, а следовательно, и теплоту сгорания топлива приводят к нормальным физическим условиям:

$$V_T^H = V_T \cdot \frac{(P_{ат} - P_{Г}) \cdot T_0}{P_0 \cdot (T_0 + t_{Г})}, \text{ м}^3,$$

где $P_0 = 101325 \text{ Па}$, $T_0 = 273,15 \text{ С}$;

$P_{ат}$ - атмосферное давление, Па;

$P_{Г}$ - избыточное давление газа у расходомера, Па;

$t_{Г}$ - температура газа у расходомера, С.

Для определения низшей теплоты сгорания газа необходимо из высшей теплоты сгорания газа исключить теплоту, выделяющуюся при конденсации водяных паров из продуктов сгорания, определяемую по формуле

$$q = \frac{r \cdot M_{ВП}}{V_T^H}, \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3},$$

где q - теплота, выделяющаяся при конденсации водяных паров;

r - теплота, выделяющаяся при конденсации 1 кг водяных паров, при нормальных физических условиях;

$M_{ВП}$ - масса сконденсировавшихся паров при сжигании газа, кг.

Низшая теплота сгорания сухого состава газа, отнесенная к нормальным условиям, определяется по формуле

$$Q_H^c = Q_B^c - q, \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}.$$

2. Описание установки

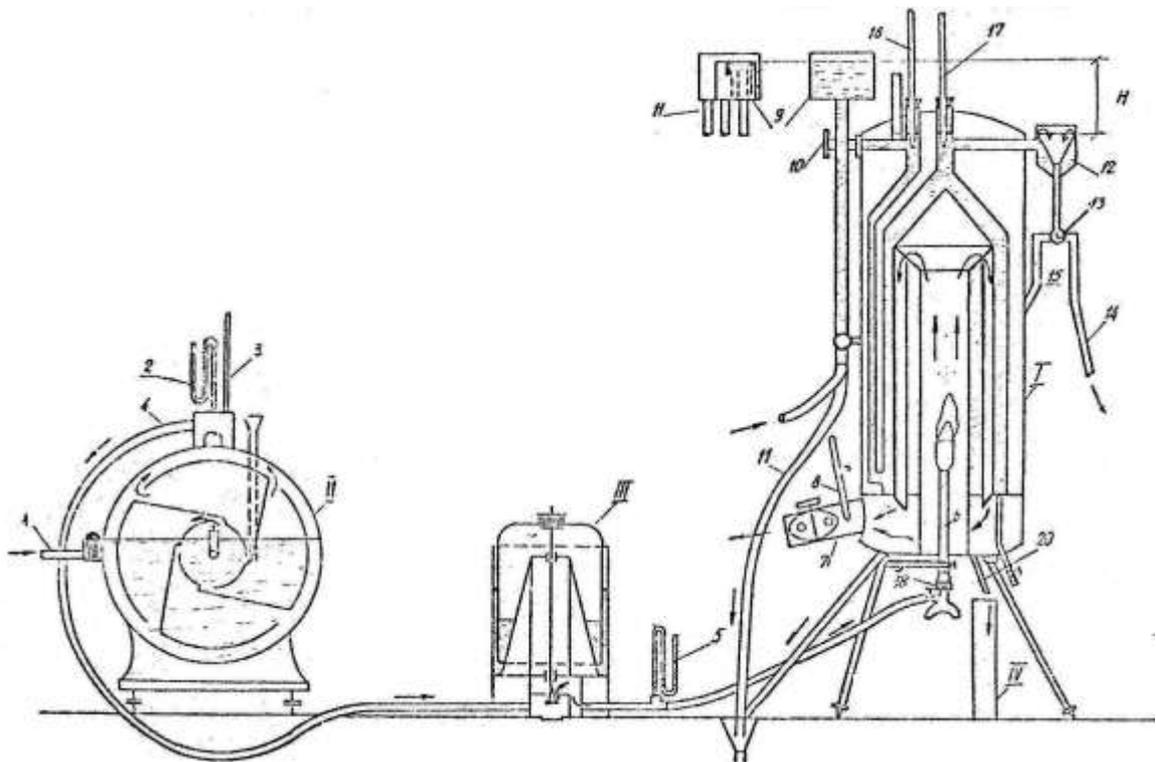
Схема установки показана на рисунке. Установка состоит из следующих приборов: калориметра I, расходомера II (газовый счетчик барабанного типа), регулятора давления III, обеспечивающего постоянное давление газа перед горелкой, мерного цилиндра IV.

Газ, теплота сгорания которого определяется, поступает из газопровода по трубе I в расходомер II (газовый счетчик), которым измеряют объем сжигаемого газа. Мановакуумметром 2 измеряют давление газа в расходомере, термометром 3 - температуру газа в расходомере. Из расходомера газ по трубе 4 поступает в регулятор давления III. Регулятор обеспечивает стабильный режим подачи газа в горелку. Величина давления газа после регулятора контролируется мановакуумметром 5. Из регулятора давления газ поступает к горелке 6. Продукты сгорания газа, проходя через калориметр, отдают тепло воде и выходят через патрубок 7, расположенный внизу калориметра. Температура отходящих газов изме-

ряется термометром 8. Конденсат из отходящих газов по трубке 20 отводится из калориметра в мерный цилиндр IV.

Вода в калориметр поступает через бачок 9. С помощью регулирующего крана 10 устанавливается нужный расход воды. Постоянство расхода воды через калориметр обеспечивается постоянной разностью уровней воды в бачке 9 и сливной воронке 12. Избыток воды отводится по трубе П в сливную воронку. Температура входящей в калориметр воды измеряется термометром 16, а выходящей - термометром 17.

Поворотом крана 13 воду из сливной воронки 12 направляют или на измерение по трубке 14, или на слив в канализацию по трубке 15.



3. Порядок выполнения работы

Чтобы осуществить пуск установки, необходимо:

- калориметр наполнить водой и установить через него проток воды. Для этого кран 13 установить так, чтобы при наличии протока вода из калориметра I попадала в канализацию по трубке 15. Регулирующий кран 10 закрыть. Постепенно открыть вентиль на подводящей водяной линии так, чтобы по трубе II вода шла полным сечением, после этого постепенно открыть регулирующий кран 10; калориметр наполняется водой и через него устанавливается проток воды;

- зажечь разовую горелку 6 и установить ее в калориметр. Для этого в горелке полностью закрыть воздушную регулируемую заслонку 18. Открыть пробочный кран, пустить газ в установку и осуществить продувку газового тракта. Для этого надо несколько раз поднять и опустить колокол регулятора давления III для вытеснения из него воздуха. Первые порции газа (два оборота счетчика) выбрасывают в воздух. Продувка необходима для того, чтобы избежать взрыва газозвушной смеси, находящейся в газовом тракте в начальный момент;

- после полной продувки всего газового тракта зажечь горелку и, открывая воздушную заслонку, отрегулировать количество первичного воздуха так, чтобы пламя сделалось прозрачным;

- колокол регулятора давления III погрузить настолько, чтобы мановакуумметр 5 показал давление газа перед горелкой 100 - 120 Па (10 – 12 мм вод. ст.);

- ввести горелку в калориметр так, чтобы пламя не касалось стенок калориметра, а сама горелка располагалась в центре.

После установки горелки вода в калориметре будет нагреваться, о чем можно судить по показаниям термометра 17. Достижение максимального значения температуры выходящей воды будет свидетельствовать о том, что прибор достиг стабильного режима.

С помощью крана 10 регулируется количество воды, проходящей через калориметр, так, чтобы она нагрелась в нем на 8 - 12 °С. Когда прибор достигнет стабильного состояния, можно приступить к определению высшей теплоты сгорания газа и теплоты, выделяющейся при конденсации водяных паров из отходящих газов. При определенном навыке эти работы можно совмещать.

Для определения массы сконденсировавшихся водяных паров в калориметре сжигают 0.6 м³ газа. В начале опыта устанавливают мерный цилиндр под трубку 20, отводящую конденсат из калориметра. В конце опыта определяют массу собранного конденсата.

Для достижения необходимой точности в определении теплоты сгорания за один опыт в калориметре сжигают 0,01 м³ газа, всего же проделывают три опыта.

В начале опыта кран 13 переводят в положение, при котором вода из калориметра направляется в бак. Собранная в течение опыта в баке вода взвешивается с точностью до 1 г. Первый отсчет температур воды, поступающей в калориметр и выходящей из него, производится в момент переключения крана 13, а также после сгорания каждого кубического дециметра газа. Таким образом, за время проведения опыта получается по десять отсчетов температур воды как входящей в калориметр, так и выходящей из него.

Отсчеты делаются с точностью до 0,01 °С (для этого на термометрах установлены лупы). При снятии показаний с термометра по нему слегка постукивают легкой деревянной

палочкой для преодоления инерции ртутного столба. Перед опытом и после него должны быть измерены атмосферное давление, температура воздуха в помещении, температура и давление газа в расходомере и температура отходящих газов.

4. Результаты измерения и их обработка

Измерения, произведённые во время опытов с погрешностью, принимаемой равной погрешности приборов, сводим в табл.1 и 2.

Таблица 1

№ опыта	Атмосферное давление $P_{ат}$, Па		Температура газа у счетчика, $^{\circ}C$		Давление газа у счетчика $P_{г}$, Па		Температура воздуха в помещении, $^{\circ}C$		Температура отходящих газов, $^{\circ}C$	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1										
2										
3										
Среднее значение										

Примечание. 1 – начало опыта, 2 – конец опыта.

Таблица 2

Температура воды, $^{\circ}C$	№ опыта	№ измерения									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Входящей $t_{вх}$	1										
	2										
	3										
Выходящей	1										

t _{вых}	2										
	3										

Обработку результатов экспериментов по пп. 1-13 проводить для трех опытов в следующем порядке.

1. Рассчитать погрешности значений температур воды, входящей в калориметр и выходящей из него (табл. 3).

Погрешность при измерении температуры воды, входящей в калориметр, определяется погрешностью термометра.

Таблица 3

№ измерения	t _{вых} , °C	Отклонение значений от среднего значения Δt _i	(Δt _i) ²
1			
2			
3			
...			
10			
Среднее значение		–	Σ

Среднеквадратичная ошибка значения температуры выходящей воды

$$\Delta S_{t_{\text{ВЫХ}}} = \sqrt{\frac{\sum (\Delta t_i)^2}{n \cdot (n - 1)}}$$

где n - число измерений.

Для уровня надёжности P=0,95 определяем коэффициент Стьюдента t_α.

Абсолютная ошибка значения температуры выходящей воды

$$\Delta t_{\text{ВЫХ}} = t_{\alpha} \cdot \Delta S_{t_{\text{ВЫХ}}}$$

2. Определить разность температур воды, выходящей и входящей в калориметр, и погрешность её измерения

$$\bar{\delta t} = \bar{t}_{\text{ВЫХ}} - \bar{t}_{\text{ВХ}} \quad \Delta t = \sqrt{\Delta t_{\text{ВХ}}^2 + \Delta t_{\text{ВЫХ}}^2}$$

Доверительный интервал измеряемой величины

$$\delta t = \bar{\delta t} + -\Delta t$$

3. Количество воды, прошедшей через калориметр за время опыта

$$W = \bar{W} + -\Delta W$$

4. Количество конденсата, выделившегося при сгорании газа за время опыта

$$M = \bar{M} + -\Delta M$$

5. Объем газа, прошедший через счетчик

$$V = \bar{V} + -\Delta V$$

6. Определить ошибку вычисления коэффициента приведения объема газа к нормальным условиям. Ошибки измерения давления и температуры газа определяем по приборной ошибке.

$$f = \frac{\bar{P}}{P_0} \cdot \frac{T_0}{\bar{T}} \quad \bar{P} = \bar{P}_{\text{ат}} + \bar{P}_{\text{Г}} \quad \Delta P = \sqrt{\Delta P_{\text{ат}}^2 + \Delta P_{\text{Г}}^2}$$

$$\Delta f = \frac{T_0}{P_0} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P^2}{(\bar{T})^2} + \frac{P^2 \cdot \Delta T^2}{\bar{T}^4}} \quad f = \bar{f} + -\Delta f$$

7. Определить высшую теплоту сгорания газа

$$\bar{Q}_{\text{В}} = \frac{\bar{c} \cdot \bar{W} \cdot \bar{\delta t}}{\bar{V} \cdot \bar{f}}$$

8. Рассчитать погрешность измерений высшей теплоты сгорания

$$\Delta Q_B = c \cdot \sqrt{\frac{\overline{\delta t^2}}{\overline{V^2 \cdot f^2}} \cdot \overline{\Delta W^2} + \frac{\overline{\Delta W^2}}{\overline{V^2 \cdot f^2}} \cdot \overline{\Delta t^2} + \frac{\overline{W^2 \cdot \delta t^2}}{\overline{V^4 \cdot f^2}} \cdot \overline{\Delta V^2} + \frac{\overline{W^2 \cdot \delta t^2}}{\overline{V^2 \cdot f^4}} \cdot \overline{\Delta f^2}}$$

9. Окончательный результат

$$Q_B = \overline{Q_B} + -\Delta Q_B$$

10. Относительная погрешность результата косвенных измерений

$$\varepsilon = \frac{\Delta Q_B}{\overline{Q_B}} \cdot 100\%$$

11. Определить количество теплоты, выделившейся при конденсации водяных паров

$$\overline{q} = \frac{2500 \cdot \overline{M}}{\overline{V \cdot f}}$$

12. Рассчитать погрешность измерений

$$\Delta q = 2500 \cdot \sqrt{\frac{\overline{\Delta M^2}}{\overline{V^2 \cdot f^2}} + \frac{\overline{M^2}}{\overline{V^2 \cdot f^2}} \cdot \overline{\Delta V^2} + \frac{\overline{M^2}}{\overline{V^2 \cdot f^4}} \cdot \overline{\Delta f^2}}$$

13. Определить низшую теплоту сгорания

$$\overline{Q_H} = \overline{Q_B} - \overline{q}$$

14. По результатам трех опытов произвести расчет среднеквадратичной ошибки

$$\Delta S_{Q_H}^c = \sqrt{\sum_n \frac{(\Delta Q_H)^2}{n \cdot (n-1)}}$$

где n=3 - число опытов.

Определить абсолютную ошибку измерений

$$\Delta Q_H = t_\alpha \cdot \Delta S_{Q_H}^c$$

15. Найти доверительный интервал вычисленной величины низшей теплоты сгорания газа

$$Q_H = \overline{Q_H} + -\Delta Q_H$$

16. Определить относительную ошибку

$$\varepsilon = \frac{\Delta Q_{\text{H}}}{Q_{\text{H}}} \cdot 100\%$$

5. Контрольные вопросы

1. Напишите уравнение теплового баланса калориметра.
2. Какими составляющими теплового баланса калориметра можно пренебречь и почему?
3. Как поддерживается стабильный режим работы калориметра?
4. Почему при сгорании природного газа образуются водяные пары, которые конденсируются в калориметре?
5. Чем отличается низшая теплота сгорания от высшей?
6. Почему в калориметре конденсируются водяные пары из продуктов сгорания газа?
7. Почему следует поддерживать разность температур между выходящей из калориметра воды и водой, входящей в него, 8 - 12°C?;

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГАЗА ОТНОСИТЕЛЬНО ПЛОТНОСТИ ВОЗДУХА

1. Принцип измерения относительной плотности газа эффузиометром

Для определения плотности газа используется эффузиометром (рисунок), работа которого основана на зависимости времени истечения заданного объема газа из отверстия от его плотности.

Объем газа, вытекающего из сосуда под небольшим давлением, когда можно пренебречь его сжимаемостью, определяется уравнением

$$V = \mu \cdot f \cdot \tau \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\rho}}, \quad (1)$$

где τ - время истечения газа;

P - избыточное давление, под действием которого газ истекает из отверстия;

f - площадь отверстия;

ρ - плотность газа;

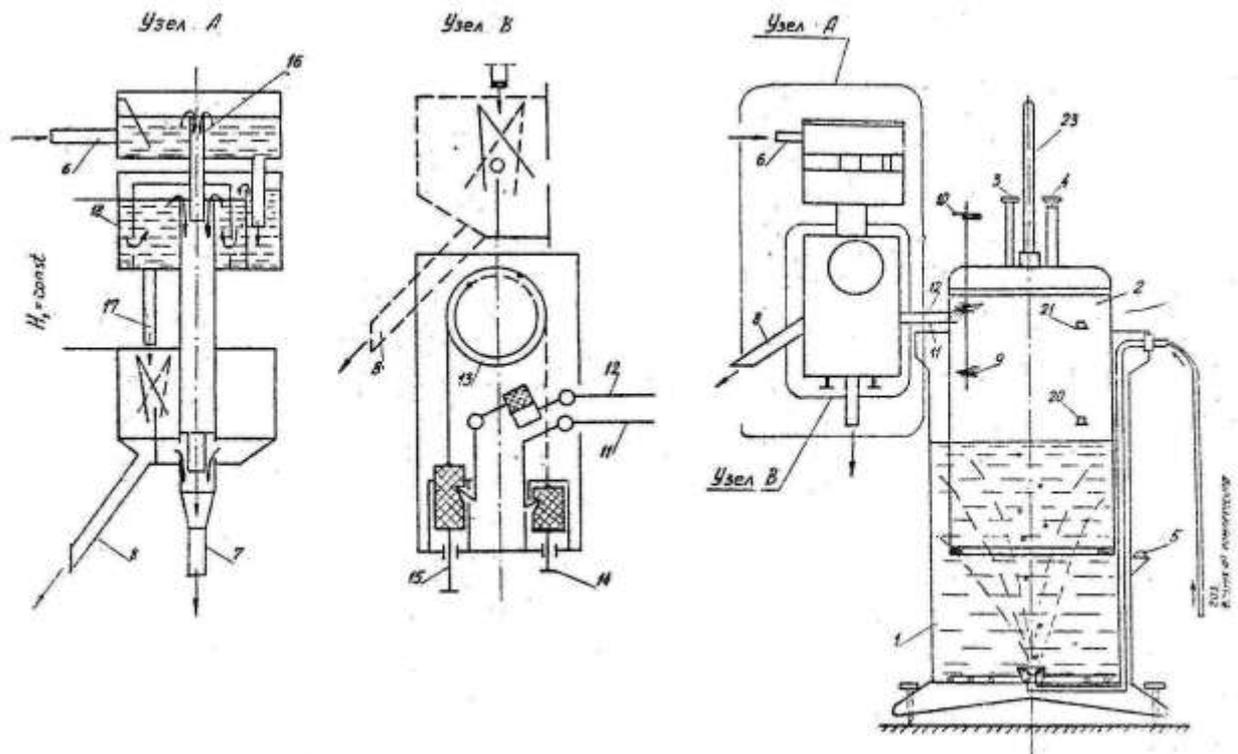
μ - коэффициент расхода, который в основном зависит от профиля отверстия.

Если через отверстие в сосуде за время $\tau_{\text{воз}}$ выйдет определенный объем воздуха $V_{\text{воз}}$ под постоянным избыточным давлением P , а за время $\tau_{\text{газ}}$ из того же сосуда выйдет такой же объем газа $V_{\text{газ}}$ под тем же давлением P , то будут иметь место следующие соотношения:

$$\mu \cdot f \cdot \tau_{\text{воз}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\rho_{\text{воз}}}} = \mu \cdot f \cdot \tau_{\text{газ}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\rho_{\text{газ}}}}$$

$$S = \frac{\rho_{\text{газ}}}{\rho_{\text{воз}}} = \left(\frac{\tau_{\text{газ}}}{\tau_{\text{воз}}} \right)^2 \quad (2)$$

Уравнение (2) является расчетным для определения плотности газа относительно плотности воздуха методом истечения. Следовательно, для того, чтобы определить плотность газа относительно плотности воздуха, нужно знать время истечения одинаковых объемов газа и воздуха из отверстия при одинаковых давлениях и температурах. Во время истечения газа и воздуха давление может изменяться, но уравнение (2) справедливо, если избыточные давления в начальный момент и законы их изменения во времени одинаковы.



С помощью эффузиометра плотность газа можно определить двумя способами:

- 1) непосредственным измерением времени истечения газа и воздуха секундомером;
- 2) измерением массы воды, которая вытекает из сосуда за время истечения газа и за время истечения воздуха.

Второй способ основан на том, что за время истечения газа $\tau_{\text{газ}}$ через водяное сопло эффузиометра вытекает масса воды M_1 под действием постоянного избыточного давления H_1 , а за время истечения воздуха $\tau_{\text{воз}}$, из того же сопла вытекает масса воды M_2 под действием того же постоянного избыточного давления H_1 . Массу воды M_1 , которая вытекает из сосуда за $\tau_{\text{газ}}$, определяют по формуле истечения

$$M_1 = \mu \cdot f \cdot \tau_{\text{воз}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H_1}{\rho_{\text{в}}}},$$

где μ - коэффициент расхода сопла;

H_1 - постоянное избыточное давление истечения;

$\rho_{\text{в}}$ - плотность воды;

f - площадь выходного сечения водяного сопла.

Масса воды M_2 , которая вытечет при тех же условиях, но за время $\tau_{\text{воз}}$, определится формулой

$$M_2 = \mu \cdot f \cdot \tau_{\text{воз}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H_1}{\rho_{\text{в}}}}$$

Из сравнения этих уравнений получаем расчётную зависимость

$$S = \left(\frac{\tau_{\text{газ}}}{\tau_{\text{воз}}} \right)^2 = \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \quad (3)$$

2. Описание установки.

Эффузиометр (см. рисунок) состоит из металлического корпуса 1, в который помещен открытый снизу измерительный колокол 2. Две трубки, выходящие из верхней части колокола, имеют запорные клапаны 3 и 4. Через левую трубку 3 прибор продувается газом или воздухом. В правую трубку 4 вделана капиллярная диафрагма, через которую истекает газ или воздух при замерах. Для измерения температуры имеется термометр 23. Газ или воздух нагнетается под колокол нагнетателем. На колоколе есть две отметки 21 и 20, которые используют при измерении времени истечения секундомером. Для измерения плотности вторым способом эффузиометр имеет специальное устройство (узлы А и В), работа которого заключается в следующем: до начала замеров грузы 14 и 15 поднимаются вверх до зацепления о соответствующими рычагами, а заслонка 13 поворачивается против часовой стрелки так, чтобы вода, вытекающая под постоянным напором H_1 из сосуда 18 через сопло 17, попадала в штуцер сброса избытка воды (см. узел А). При опускании колокола нижняя размыкающая шайба 9 нажимает на рычаг 11, в результате чего малый груз падает вниз и поворачивает заслонку 13 по часовой стрелке. При этом положении заслонки вода направляется на измерение через штуцер 8. Этот момент соответствует началу измерения времени истечения газа или воздуха. При дальнейшем опускании колокола верхняя размыкающая шайба 10 нажимает на рычаг 12, в результате чего большой груз 15 падает и поворачивает заслонку 13 против часовой стрелки, поднимая одновременно груз 14 до зацепления с рычагом 11. При повороте заслонки вода прекращает поступать на измерение и направляется на слив через штуцер 7. Этот момент соответствует концу измерения времени истечения газа или воздуха. Таким образом, в периоды $\tau_{\text{газ}}$ и $\tau_{\text{воз}}$ вода поступает в измерительные сосуды.

Для достижения достаточной точности в определении плотности газа вода в приборе должна быть насыщена поваренной солью и иметь комнатную температуру. Правильность установки эффузиометра проверить по уровню 5.

3. Порядок выполнения работы

Определение плотности с помощью секундомера следует выполнять в таком порядке:

1. Открыть клапан 3, колокол опустится и заполнится водой (вода должна покрывать поверхность колокола), клапан 3 закрыть.

2. Компрессором под колокол нагнетать газ (клапан 4 также должен быть закрыт) до тех пор, пока нижняя метка 20 не поднимется выше уровня воды, а шайба 9 поднимется выше рычага 11. После этого открыть продувочный клапан 3 - весь газ вытеснится из-под колокола. Эту операцию - продувку колокола - повторить два раза, после чего колокол вновь заполнять газом.

3. Открыть клапан 4 - газ начнет истекать из капиллярной диафрагмы, а колокол опустится. Когда нижняя метка 20 (выполненная в виде чашечки) покроется водой, пустить секундомер, а в момент, когда вода покроет верхнюю метку 21, - остановить. Выполнить три таких опыта.

4. В такой же последовательности сделать три опыта с воздухом.

5. По формуле (2) определить плотность газа относительно плотности воздуха по среднему времени истечения $\tau_{\text{газ}}$ и $\tau_{\text{воз}}$.

Определение плотности с помощью автоматического, водопереключающего устройства следует выполнять в таком порядке:

1. Выполнить пункты 1 и 2 предыдущего способа.

2. Поднять грузы 14 и 15 до зацепления с соответствующими рычагами, при этом заслонка 13 повернется против часовой стрелки до упора.

3. Пустить воду через входной штуцер 6, а ее расход отрегулировать так, чтобы вода переливалась через край перепускной трубки 16. При таком режиме избыточный напор H_1 будет постоянным, а следовательно, будет постоянным и расход воды через сопло 17. Это обеспечивает точное измерение времени истечения $\tau_{\text{газ}}$ и $\tau_{\text{воз}}$.

4. Под штуцер 8 установить предварительно взвешенный мерный сосуд емкостью 4-5 л.

5. Открыть клапан 4, газ начнет истекать из капиллярной диафрагмы, а колокол опускаться. Когда нижняя шайба 9 нажмет рычаг 11, заслонка 13 автоматически повернется так, что вода пойдет через штуцер 8 на измерение. При дальнейшем опускании колокола шайба 10 нажмет на рычаг 12, заслонка перебросит поток воды на слив через штуцер 7. Определить массу воды. Выполнить три опыта.

6. Аналогичным способом измерить три раза массу воды, поступившей в мерный сосуд при истечении воздуха.

7. По формуле (3) определить плотность газа относительно плотности воздуха.

4. Результаты измерений и их обработка

Результаты измерения времени истечения газа и воздуха (первый способ) заносятся в табл. 1.

Таблица №1

№ опыта	Время истечения газа $\tau_{\text{г}}$, с	Отклонение измерений от среднего значения $\Delta\tau_{\text{г}}$	$(\Delta\tau_{\text{г}})^2$	Время истечения воздуха $\tau_{\text{в}}$, с	Отклонение измерений от среднего значения $\Delta\tau_{\text{в}}$	$(\Delta\tau_{\text{в}})^2$
1						

2					
3					
Среднее значение			Σ		Σ

Полученные результаты обработать в таком порядке

рассчитать среднеквадратичную ошибку

$$\Delta S_{\tau} = \sqrt{\frac{\sum (\Delta \tau_i)^2}{n \cdot (n - 1)}}$$

для уровня надежности $P=0,95$ определить коэффициент Стьюдента и рассчитать абсолютную ошибку

$$\Delta \tau = t_{\alpha} \cdot \overline{\Delta S_{\tau}}$$

найти доверительный интервал измеряемой величины

$$\overline{\tau} - \Delta \tau \leq \tau \leq \overline{\tau} + \Delta \tau$$

определить относительную ошибку измерений

$$\varepsilon_{\tau} = \frac{\Delta \tau}{\tau} \cdot 100\%$$

плотность газа относительно воздуха определить по средним значениям времени истечения газа и воздуха по формуле

$$\overline{S} = \left(\frac{\overline{\tau}_{\text{газ}}}{\overline{\tau}_{\text{воз}}} \right)^2$$

определить погрешность измерений

$$\Delta S = 2 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \tau_{\text{газ}}^2}{\tau_{\text{воз}}^4} \cdot \Delta \tau_{\text{газ}}^2 + \frac{4 \cdot \tau_{\text{газ}}^4}{\tau_{\text{воз}}^6} \cdot \Delta \tau_{\text{газ}}^2}$$

окончательный результат

$$S = \overline{S} \pm \Delta S$$

относительная погрешность результата косвенных измерений

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{S} \cdot 100\%$$

Результаты измерения количества вода, соответствующего времени истечения газа и воздуха (второй способ), заносят в табл.2.

Таблица №2

№ опыта	Время истечения газа M, кг	Отклонение измерений от среднего значения	$(\Delta M_i)^2$	Время истечения воздуха M, кг	Отклонение измерений от среднего значения	$(\Delta M_i)^2$

		ΔM_1			ΔM_1	
1						
2						
3						
Среднее значение			Σ			Σ

Полученные результаты обработать в таком порядке

рассчитать среднеквадратичную ошибку

$$\Delta S_{\bar{M}} = \sqrt{\frac{\sum (\Delta M_i)^2}{n \cdot (n-1)}}$$

для уровня надежности $P=0,95$ определить коэффициент Стьюдента и рассчитать абсолютную ошибку

$$\Delta M = t_{\alpha} \cdot \Delta S_{\bar{M}}$$

определить:

доверительный интервал измеряемой величины

$$\bar{M} - \Delta M \leq M \leq \bar{M} + \Delta M$$

относительную ошибку измерений

$$\varepsilon_M = \frac{\Delta M}{M} \cdot 100\%$$

относительную плотность газа по отношению к воздуху

$$S = \left(\frac{\bar{M}_1}{\bar{M}_2} \right)^2$$

погрешность измерений

$$\Delta S = \sqrt{\frac{4 \cdot \bar{M}_1^2}{\bar{M}_2^4} \cdot \Delta M_1^2 + \frac{4 \cdot \bar{M}_1^4}{\bar{M}_2^6} \cdot \Delta M_2^2}$$

окончательный результат

$$S = \bar{S} \pm \Delta S$$

относительную погрешность результата косвенных измерений

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{S} \cdot 100\%$$

5. Контрольные вопросы

1. Как рассчитать скорость истечения газа из отверстия?
2. Что такое коэффициент расхода и от чего он зависит?
3. По какой формуле рассчитывают относительную плотность газа?

4. Покажите, что в эффузиометре Юнкера отношение времен истечения можно заменить отношением количеств воды, вытекшей из отверстия. Какие при этом должны быть выполнены условия?

5. Объясните принцип работы установки.

6. Чем создается давление, под действием которого газ вытекает из эффузиометра?

Как изменяется это давление в процессе истечения?

7. Как добиться, чтобы из отверстия вытекали одинаковые объемы газов и под одинаковыми начальными давлениями?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ МЕТОДОМ ГЮИ - МИХЕЛЬСОНА

I. Метод определения нормальной скорости распространения пламени

Нормальной скоростью распространения пламени U_n называется скорость движения фронта пламени в направлении, нормальном к его поверхности, отнесенная к свежей, еще не сгоревшей смеси и обязанная своим происхождением в основном процессу передачи теплоты молекулярной теплопроводностью.

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

U_n определяется физико-химическими свойствами смеси и поэтому является физико-химической константой. Основными величинами, определяющими значение скорости распространения пламени, являются: состав газа, его концентрация в смеси с воздухом и температура предварительного подогрева газовой смеси.

Распространенным и оправдавшим себя методом экспериментального – определения U_n является метод, основанный на применении эжекционной горелки неполного предварительного смешения газа с воздухом. Впервые использовали этот метод Гюи и Михельсон.

Рассмотрим пламя горелки (рисунок б). Оно состоит из внутреннего 12 и наружного 13 конусов. Внутренний конус представляет собой поверхность остановленного фронта пламени, в котором сгорает газ, обеспеченный первичным воздухом (50-60 % воздуха от теоретически необходимого). Остановленный фронт пламени означает, что в каждой точке поверхности внутреннего конуса имеет место равенство между нормальной скоростью распространения пламени U_n (она направлена внутрь конуса) и нормальной составляющей скорости потока ($W_{пот}$) газовой смеси. Во внутреннем конусе имеет место кинетическое горение. В результате диффузии в наружном конусе догорает оставшийся газ окружающего воздуха.

Внутренний конус в действительности не является геометрически правильным конусом. У основания пламени он расходится шире отверстия горелки 11, а у вершины имеет место плавное закругление.

Нормальная скорость распространения пламени неодинакова во всех точках внутреннего конуса. У вершины она имеет максимальное значение, а у основания - минимальное. Увеличение U_n к вершине объясняется тем, что газовоздушная смесь, двигающаяся в центральной узкой части, получает повышенный предварительный разогрев и, кроме того, в нее диффундирует большое количество активных центров из зоны реакций и расположенных ниже предпламенных зон.

У основания внутренний конус имеет диаметр больший, чем диаметр горелки. Это объясняется тем, что на выходе из головки горелки 11 газовоздушная смесь имеет давление несколько большее, чем атмосферное, поэтому при выходе поток расширяется.

По мере приближения к основанию конуса скорость распространения пламени уменьшается из-за усиленного теплоотвода в стенки горелки. Расстояние между основанием конуса и горелкой примерно равно физической толщине пламени.

Считая, что внутренний конус является геометрически правильным конусом, U_n постоянная, а выходное поле скоростей газовой смеси равномерное, можно получить простую формулу для определения нормальной скорости распространения пламени. В

большинстве случаев эти допущения являются вполне приемлемыми, а точность определения достаточной. При принятых допущениях будет определяться средняя скорость распространения пламени, равная U_H в какой-то средней точке образующей конуса.

Если пламя имеет стационарный характер, то должно удовлетворяться следующее условие (см. рисунок б):

$$\overline{W} \cdot f = U_H \cdot F,$$

где f - сечение выходного отверстия горелки;

\overline{W} - средняя скорость движения газозадушной смеси;

U_H - нормальная скорость распространения пламени;

F - поверхность конуса горения (см. рис.а).

Так как $f = \pi \cdot d^2$; $F = \pi \cdot r \cdot \frac{h}{\cos\theta}$,

то $U_H = \overline{W} \cdot \frac{r}{h} \cdot \cos\theta$,

где r - внутренний радиус горелки;

θ - половина угла при вершине конуса.

Объёмный расход газозадушной смеси:

$$Q_{см} = \pi r^2 \cdot \overline{W}; \quad \cos\theta = \frac{h}{\sqrt{h^2 + r^2}},$$

тогда

$$U_H = \frac{Q_{см}}{\pi \cdot r \cdot \sqrt{h^2 + r^2}},$$

где h - высота конуса.

Принимая следующие размерности:

U_H - нормальная скорость распространения пламени, м/с;

$V_{газ}$ - расход газа горелкой, $\frac{м^3}{с}$, приведённый к нормальным условиям;

r - внутренний радиус горелки, м

h - высота внутреннего конуса, м;

m - объёмный коэффициент эжекции, равный отношению расхода первичного воздуха

$V_{воз}$ к расходу газа $V_{газ}$,

т.е. $m = \frac{Q_{возд}}{Q_{газ}}$,

получаем расчётную зависимость для вычисления U_H

$$U_H = \frac{Q_{газ} \cdot (1 + m)}{\pi r \cdot \sqrt{h^2 + r^2}}$$

Следовательно, для экспериментального определения нормальной скорости распространения пламени достаточно измерить расход газа, внутренний радиус горелки, высоту внутреннего конуса и коэффициент эжекции.

Коэффициент эжекции m рассчитывается по данным анализа сжигаемого газа, а также газовой смеси, отобранной из горелки, на содержание кислорода,

$$m = \frac{O_2^{\text{см}} - O_2^{\text{газ}}}{20.9 - O_2^{\text{см}}},$$

где $O_2^{\text{см}}$ - содержание кислорода в газовой смеси, %

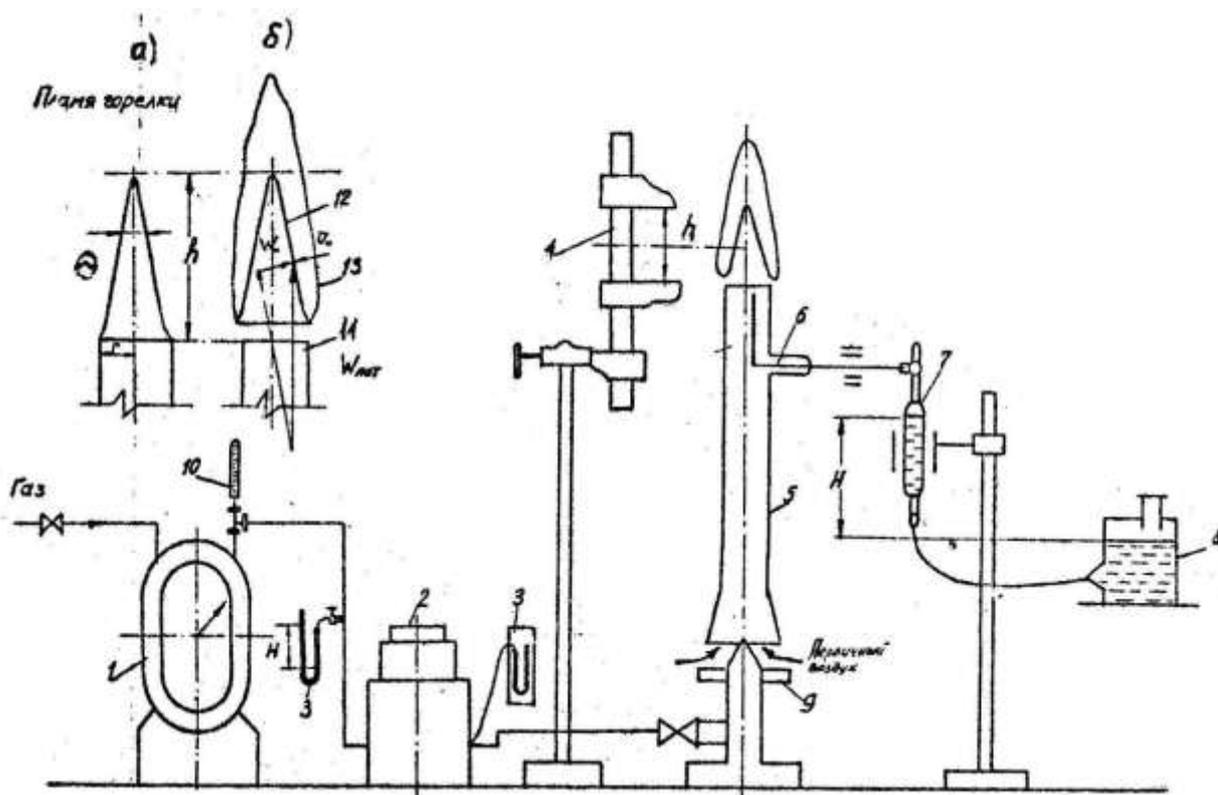
$O_2^{\text{газ}}$ - содержание кислорода в сжигаемом газе, %

2. Описание экспериментальной установки

Газ из газопровода поступает в газовые часы 1 (см. рисунок), где измеряется его расход, далее в регулятор давления 2 и в горелку 5. Количество первичного воздуха, эжектируемого в горелку, можно регулировать воздушным шибером 9. Высоту внутреннего конуса определяют измерителем 4. Отбор пробы газовой смеси из головки горелки производится через пробоотборник 6 в бюретку 7, соединенную с сосудом 8. Перед отбором пробы бюретка 7 должна быть полностью заполнена водой. Содержание кислорода в газе и газовой смеси определяется в газоанализаторе (устройство см. в прил. 1). Проба газовой смеси отбирается из горелки медленно, чтобы минимально нарушить поле скоростей потока.

Давление газа у счетчика и после регулятора давления определяют по манометрам 3.

Температуру газа в счетчике - термометром 10.



3. Порядок выполнения работы

Все опыты следует проводить при одном и том же положении воздушного шибера и одном и том же давлении газа.

1. Продуть весь газовый тракт, после чего зажечь горелку.
2. Изменяя нагрузку на регулятор давления газа и степень открытия воздушного шибера, установить определенный режим работы горелки так, чтобы была четко видна поверхность внутреннего конуса.
3. Измерить высоту внутреннего конуса пламени, температуру и давление газа у счетчика.
4. Определить содержание кислорода в газозвушной смеси.
5. Отобрать пробу газа из газопровода и определить содержание кислорода в газе.
6. Для определения скорости распространения пламени провести три опыта, после чего рассчитать среднее значение $U_{п}$.

4. Результаты измерений и их обработка

Измерить величины при установившемся режиме работы горелки. Ошибки измерений принять равными погрешностям приборов (ΔX). Заполнить табл. 1.

Таблица №1

№ опыта	Давление газа P, Па	Температура газа, °C	Радиус горелки r, м	Высота внутреннего конуса h, м	Содержание кислорода в газе $O^{газ}_2$, %
1					
2					
3					
Среднее арифметическое					
Окончательный результат $x \pm \Delta x$					

Определить расход газа и заполнить табл.2.

Таблица №2

Опыт	Объем сожжённого газа V, м ³	Время за которое сожжено V, м ³ , с
1		
2		
3		
Среднее арифметическое		
Окончательный результат $x \pm \Delta x$		

Полученные результаты обработать в таком порядке:

определить расход газа

$$\overline{Q}_{\text{газ}} = \frac{V}{\tau}$$

рассчитать погрешность измерений

$$\Delta Q = \sqrt{\frac{\Delta V^2}{\tau^2} + \frac{V^2 \cdot \Delta \tau^2}{\tau^4}}$$

окончательный результат

$$Q_{\text{газ}} = \overline{Q}_{\text{газ}} \pm \Delta Q \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

относительная погрешность результата измерений

$$\varepsilon = \frac{\Delta Q}{\overline{Q}_{\text{газ}}} \cdot 100\%$$

определить поправочный коэффициент для приведения расхода газа к нормальным условиям; ошибку измерения давлений и температуры определить по приборной ошибке:

$$f = \frac{\overline{P}}{P_0} \cdot \frac{T_0}{\overline{T}},$$

где $P_0 = 101300 \text{ Па}$; $T_0 = 273.15 \text{ С}$; $P = P_{\text{атм}} + P_{\text{газ}}$, Па;

$P_{\text{атм}}$ - атмосферное давление; $P_{\text{газ}}$ - избыточное давление газа у счётчика;

$$P = \overline{P} \pm \Delta P; \quad \Delta P = \sqrt{\Delta P_{\text{атм}}^2 + \Delta P_{\text{газ}}^2}$$

$$T = \overline{T} \pm \Delta T;$$

$$f = \overline{f} \pm \Delta f; \quad \Delta f = \frac{T_0}{P_0} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P^2}{T^2} + \frac{P^2 \cdot \Delta T^2}{T^4}}$$

расход газа при нормальных условиях

$$\overline{Q}_{\text{газ}} \cdot \overline{f} = \overline{Q}'_{\text{газ}}$$

абсолютную погрешность измерений

$$\Delta Q' = \sqrt{f^2 \cdot \Delta Q^2 + Q^2 \cdot \Delta f^2}$$

окончательный результат

$$Q'_{\text{газ}} = \overline{Q}'_{\text{газ}} \pm \Delta Q'$$

относительную погрешность измерений

$$\varepsilon = \frac{\Delta Q'}{\overline{Q}'_{\text{газ}}}$$

Рассчитать объёмный коэффициент эжекции, для этого определить содержание кислорода в газовой смеси (табл.3.)

Таблица №3

Опыт	Результаты измерений	Отклонения значений от среднего $\Delta Q_2^{см}$	$(\Delta Q_2^{см})^2$
1			
2			
3			
Среднее значение			

Полученные результаты обработать в таком порядке:

определить среднеквадратичное отклонение

$$\Delta S_{O_2^{см}} = \sqrt{\frac{\sum_n (\Delta O_2^{см})^2}{n \cdot (n - 1)}}$$

для уровня надёжности $P=0,95$ определить коэффициент Стьюдента и рассчитать абсолютную ошибку измерений

$$\Delta O_2^{см} = t_{\alpha} \cdot \Delta S_{O_2^{см}}$$

доверительный интервал измеряемой величины

$$O_2^{см} = O_2^{см} + -O_2^{см}$$

относительная погрешность измерений

$$\varepsilon = \frac{\Delta O_2^{см}}{O_2^{см}} \cdot 100\%$$

определить объёмный коэффициент эжекции

$$m = \frac{O_2^{см} - O_2^{газ}}{20.9 - O_2^{см}}$$

погрешность измерения

$$\Delta m = \sqrt{\left(\frac{\delta U'}{\delta O_2^{см}}\right)^2 \cdot (\Delta O_2^{см})^2 + \left(\frac{\delta U'}{\delta O_2^{газ}}\right)^2 \cdot (\Delta O_2^{газ})^2}$$

окончательный результат

$$m = \bar{m} + -\Delta m$$

рассчитать среднее значение нормальной скорости

$$\bar{U}_H = \frac{Q_{газ}(1 + m)}{\pi \cdot r \cdot \sqrt{h^2 + r^2}}$$

погрешность измерения

$$\Delta U_{\text{H}} = \sqrt{\frac{(1+m)^2 \cdot \Delta V^2}{\pi^2 \cdot r^2 \cdot (h^2 + r^2)} + \frac{V^2 \cdot m^2 \cdot (\Delta H)^2}{\pi^2 \cdot r^2 \cdot (h^2 + r^2)} + \frac{V^2 \cdot (1+U) \cdot (h^2 + 2 \cdot r^2) \cdot \Delta r^2}{\pi^2 \cdot r^2 \cdot (h^2 + r^2)^3} - \frac{V^2 \cdot (1+U)^2 \cdot h^2 \cdot \Delta h^2}{\pi^2 \cdot r^2 \cdot (h^2 + r^2)^3}}$$

окончательный результат

$$U_{\text{H}} = \overline{U_{\text{H}}} + \Delta U_{\text{H}}$$

относительная погрешность косвенных измерений

$$\varepsilon = \frac{\Delta U_{\text{H}}}{U_{\text{H}}} \cdot 100\%$$

5. Контрольные вопросы

1. Расскажите о физической сущности процесса распространения пламени. Дайте определение понятия нормальной скорости распространения пламени.
2. От каких характеристик газозоудшной смеси зависит U_{H} ?
3. Как протекает процесс горения в пламени горелки неполного предварительного смешения газа с воздухом?
4. Нарисуйте внутренний конус. Объясните отклонения от правильной формы конуса у его вершины и основания, покажите (графически) равновесие скоростей на поверхности конуса.
5. Почему фронт пламени у основания конуса не касается горелки? Чему равно расстояние между основанием конуса и горелкой?
6. Выведите зависимость, по которой определяется нормальная скорость распространения пламени.
7. Что такое коэффициент эжекции и как его экспериментально определяют? Как произвести газовый анализ с помощью ГХП?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИСПЫТАНИЕ РЕГУЛЯТОРА ДАВЛЕНИЯ ГАЗА

Цель работы:

ознакомиться с конструкцией и принципом действия регулятора давления;

провести испытания регулятора давления, определив:

его пропускную способность в зависимости от перепада давления на регуляторе;

колебание давления газа после регулятора при изменении расхода газа через него и при изменении начального давления.

1. Устройство регулятора и, основное оборудование газорегуляторного пункта (ГРП)

Регулятор давления газа является основным элементом ГРП. Он предназначен для снижения давления газа после себя до заданного значения и поддержания его постоянным независимо от изменения нагрузки газоиспользующей сети и изменения давления газа перед регулятором.

Газ высокого или среднего давления поступает в ГРП, оборудование которого по ходу газа располагают в такой последовательности: отключающее устройство, фильтр для очистки газа от механических примесей и пыли, предохранительный запорный клапан для отключения подачи газа потребителям при недопустимом повышении или понижении давления после регулятора, регулятор давления, предохранительный сбросной клапан, отключающее устройство.

Выходное давление из газорегуляторного пункта контролируют предохранительным запорным клапаном (ПЗК) и предохранительным сбросным клапаном (ПСК). ПСК контролирует только верхний предел и его настраивают на давление, меньшее, чем давление ПЗК; поэтому ПСК срабатывает первым, и газ выбрасывается в атмосферу через сбросную свечу. Необходимость в сбросе газа может появиться при неисправности регулятора давления (например, негерметичности закрытия седла). Если после включения в работу ПСК выходное давление продолжает расти, что может привести к аварии, то сработает ПЗК, который отключит подачу газа. ПЗК сработает и при падении давления газа ниже минимально допустимого, при котором обеспечивается нормальная работа газогорелочных устройств. После устранения неисправности включить в работу ПЗК можно только вручную.

2. Назначение, устройство и принцип действия регулятора давления газа (РДГ)

В данной работе используется регулятор РДГ - регулятор давления прямого действия.

Автоматический регулятор давления состоит из исполнительного механизма и регулирующего устройства. Основной частью исполнительного механизма является чувствительный элемент (часто мембрана), а основной частью регулирующего устройства - регулирующей орган. Основными элементами регулирующего (дрессельного) органа являются неподвижный элемент - седло и подвижный - затвор.

Регулятор давления прямого действия - это устройство, предназначенное для автоматического регулирования давления рабочей среды путем изменения ее расхода и управляемое непосредственно энергией рабочей среды.

Регуляторы давления характеризуются следующими основными параметрами:

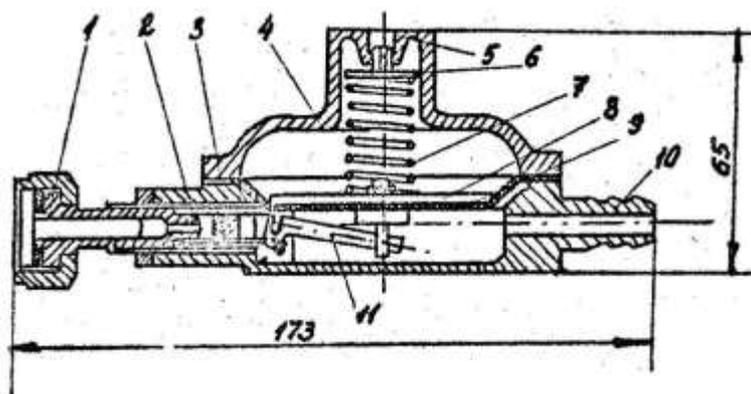
а) зоной нечувствительности - разностью значений регулируемого давления, необходимой для изменения направления движения регулирующего органа в зоне регулирования;

б) зоной регулирования - разностью между значениями регулируемого давления при 10 и 90 % максимального расхода;

в) относительной нерегулируемой протечкой - отношением максимальной величины протечки через затвор закрытого седла к максимальному расходу рабочей среды при полностью открытом седле (для затворов с мягким уплотнением не допускается).

Для регуляторов давления прямого действия колебание регулируемого давления от заданного допускается в пределах $\pm 10\%$, независимо от влияния изменения расхода газа в пределах паспортной характеристики регулятора и колебания начального (входного) давления до $\pm 0,3$ МПа.

Регулятор давления газа РДГ предназначен, в основном, для редуцирования паров сжиженных углеводородных газов (СУГ) при баллонном газоснабжении и для снижения давления газа, подаваемого потребителям от сети среднего или высокого давления. Конечное давление газа низкое. Регулятор может работать и на природном газе. Входное давление газа может изменяться от 0,05 до 1,6 МПа. Максимальная пропускная способность для паров СУГ - $1,8 \text{ м}^3/\text{ч}$. Конструкция РДГ показана на рис. 1.



Между торцами корпуса и крышки 4 помещен узел мембраны 9. На тарелку 8 мембраны опирается пружина 7. В верхней части крышки, изготовленной из алюминиевого сплава, имеется резьба, по которой перемещается регулировочная гайка 6. Нижним торцом гайка опирается на пружину. При вращении гайки изменяется усилие пружины, с помощью которой настраивают выходное давление регулятора. Пружина давит на мембрану, которая, деформируясь, действует на рычаг 10, последний перемещает иглу с уплотнителем 3, который является затвором. Уплотнитель изготовлен из маслобензостойкой резины и вставлен в специальную выточку на торце штока.

Шток с уплотнением перемещается во внутренней полости входного штуцера 1, на торце которого образовано седло 2 диаметром 2 мм.

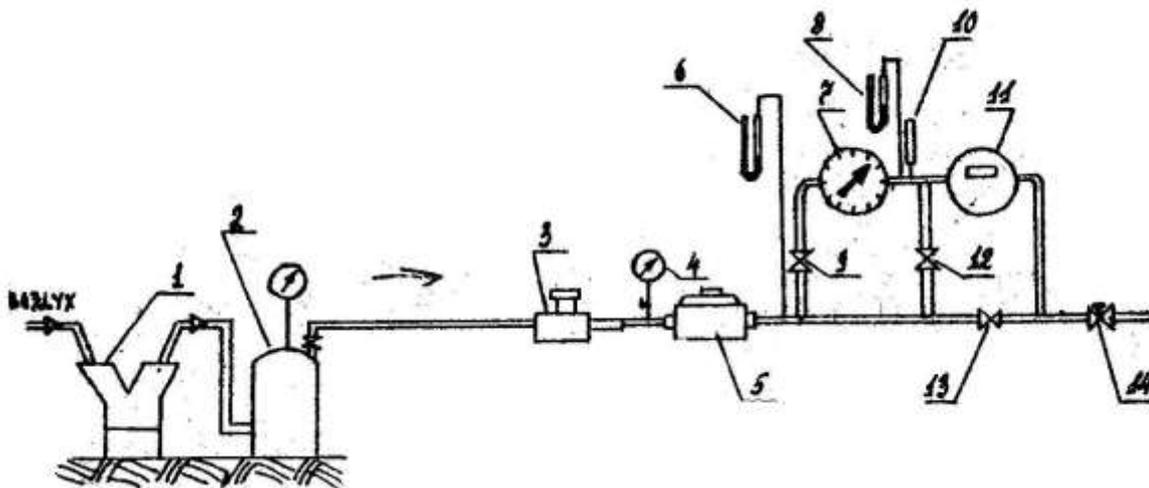
В резьбовые отверстия корпуса ввинчены с одной стороны входной штуцер 1 с накидной гайкой, с другой - выходной штуцер 10.

После окончательной сборки и настройки регулятора на верхней части крышки ставится предохранительный колпачок 5.

Регулятор работает следующим образом. При уменьшении отбора газа в газоиспользующей сети увеличивается давление в подмембранном пространстве регулятора. Мембрана поднимается, действует на рычаг 2, который перемещает шток 3 на закрытие седла.

3. Описание экспериментальной установки.

Сжатый воздух после компрессора 1 поступает в ресивер 2, который предназначен для выравнивания давления. Далее воздух проходит через регулятор давления прямого действия 3, с помощью которого устанавливаются различные начальные давления перед испытуемым регулятором 5 (РДГ).



После регулятора давления 5 газ низкого давления, значение которого контролируют по манометру 6, проходит либо на замер в газовые часы 7 (при расходе газа до $0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$), либо в газовый счетчик 2, далее к регулируемому крану 14, изменяя сопротивление которого, можно имитировать изменение нагрузки газоиспользующей сети.

4. Порядок выполнения работы

Определение пропускной способности регулятора при изменении перепада давления на нем (т. е. при изменении давления газа до и после регулятора).

Включить компрессор, открыть кран на ресивере. Краны 12 и 14 открыты, 9 и 13 закрыты. Регулятором давления 3 установить давление $0,6 \text{ МПа}$. Регулировочной гайкой регулятора 5 установить давление после регулятора $P_2 = 4000 \text{ Па}$. Давление P_2 контролировать по манометру 6. Если расход газа меньше $0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ кран 12 закрыть, а кран 9 открыть. Замерить расход газа, прошедшего через регулятор. Давление и температуру газа непосредственно у счетчика и часов измерить по манометру 8 и термометру 10.

Затем отрегулировать давление газа после регулятора 5 таким образом, чтобы $P_2 = 3000, 2500, 2000, 1500 \text{ Па}$. При этих давлениях и постоянном давлении $P_1 = 0,6 \text{ МПа}$ определить расход газа. После серии испытаний при $P_1 = 0,6 \text{ МПа}$ установить $P_1 = 0,3, 0,1, 0,05 \text{ МПа}$. Для каждого из этих начальных давлений произвести аналогичные испытания.

Измерение расходов необходимо производить при установившемся режиме, т.е. когда давление P_2 остается неизменным в течение 2 мин.

Результаты измерений сводят в табл. 1.

Таблица №1

Измеряемая величина	Значение величин				
Начальное давление газа (P_1), МПа	0,6				
Давление после регулятора P_2 , МПа	4000	3000	2500	2000	1500
Продолжительность опыта, сек					
Атмосферное давление $P_{атм}^0$, Па					
Температура газа у счетчика t_r , °С					
Расход газа при нормальных условиях, $м^3/ч$					

Аналогичные таблицы составить для $P_1 = 0,3, 0,1$ и $0,05$ МПа. Построить графики зависимости расхода газа, проходящего через регулятор, от выходного давления P_2 при $P_1 = const$ для каждого P_1 . Кривую на графике проводить не путем соединения экспериментальных точек друг с другом. Среди точек нужно выбрать так называемое преимущественное направление. Оно заключается в том, что кривые должны быть плавными и проходить возможно ближе ко всем нанесенным точкам таким образом, чтобы примерно одинаковое количество точек находилось над кривой и под ней. При проведении кривой более четко выявляется некоторый разброс экспериментальных точек, обусловленный наличием ошибок измерений. График строить в логарифмических координатах.

Определение колебания давления газа при изменении, входных и выходных параметров

Подготовка установки к испытаниям такая же, как при определении пропускной способности, но краны 12 и 17 закрыты.

Изменение нагрузки сети. Регулятором 2 установить по манометру 4 давление перед РДГ $P_1 = 0,3$ МПа. Установить давление газа после регулятора 5 $P_2 = 2000$ Па. После наступления установившегося режима прикрыть регулирующий кран 14. Регулятор давления должен автоматически скорректировать $P_2 = 2000$ Па. Засечь промежуток времени, за который установится стабильный режим давления, и установившееся давление P_2 . В течение опыта контролировать давление P_1 . Провести аналогичные опыты еще четыре раза. Результаты свести в табл. 2.

Таблица №2

Измеряемые величины	Начальные параметры	Номер опыта				
		1	2	3	4	5
Давление газа перед регулятором P_2 , МПа						
Установившееся давление газа после регулятора P_2 , Па						
Время, за которое устанавливается P_2 , сек						

Вычислить среднее отклонение регулируемого давления.

Изменение давления газа перед регулятором P_1 . Регулятором 3 установить $P_1 = 0,3$ МПа.

Установить давление газа после регулятора 5 $P_2 = 2000$ Па.

Затем последовательно установить давление $P_1 = 0,6, 0,1, 0,05$ МПа, при этом зафиксировать установившееся давление P_2 и промежуток времени, за который установилось P_2 . Результаты измерений занести в табл. 3.

Таблица №3

Измеряемые величины	Начальные параметры	Номер опыта			
		1	2	3	4
Давление газа перед регулятором P_2 , МПа					
Установившееся давление газа после регулятора P_2 , Па					
Время, за которое устанавливается P_2 , сек					

Вычислить среднее отклонение регулируемого давления.

5. Контрольные вопросы

1. Что называется регулятором давления прямого действия?
2. Назначение и устройство газорегуляторного пункта.
3. Назначение ПЗК.
4. Назначение ПСК.
5. Основные характеристики регуляторов давления прямого действия.
6. Назовите основные элементы регуляторов давления прямого действия.
7. Допускается ли относительная нерегулируемая протечка для РДГ?
8. Устройство и принцип действия РДГ.
9. Под действием каких сил находится чувствительный элемент регулятора РДР?

ИСПЫТАНИЕ ГАЗОВОГО БЫТОВОГО ПРОТОЧНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ

Цель работы:

- ознакомиться с устройством проточного газового водонагревателя;
- произвести испытание водонагревателя, определив: тепловую мощность, производительность, коэффициент полезного действия, время нагрева воды, коэффициент эжекции основной газовой горелки.

1. Технические требования и устройство газового бытового проточного водонагревателя ВПГ

1.1. Технические, требования

Газовый бытовой проточный водонагреватель ВПГ-23-1-3-2 предназначен для непрерывного подогрева проточной воды, потребляемой для бытовых нужд, и может быть использован для многоточечного водоразбора.

Номинальное давление газа перед горелкой аппарата 1274 Па (130 мм вод. ст.). Номинальное давление воды 147,0 кПа, минимальное - 49 кПа, максимальное - 588,4 кПа.

К проточным газовым водонагревателям предъявляются следующие требования:

- коэффициент полезного действия, определенный по низшей теплоте сгорания газа при номинальной тепловой мощности, должен быть не менее 82%;
- время нагрева воды на выходе до установившейся температуры не более 1 мин;
- содержание окиси углерода в сухих отходящих неразбавленных газах в процентах по объему при испытании аппарата с отводом продуктов сгорания в дымоход на природном газе с низшей теплотой сгорания газа, равной $35\,570 \pm 1780$ кДж/м³, на максимальном давлении не должно превышать 0,05 %;
- температура продуктов сгорания газа для аппаратов с отводом продуктов сгорания в дымоход не менее 110 °С;
- температура наружных поверхностей кожуха, кроме газоотводящей части аппарата, после 30-минутной работы аппарата на номинальной тепловой мощности и при температуре выходящей воды $65 + 5$ °С не должна превышать температуру окружающей среды более чем на 50 °С;
- номинальная тепловая мощность основной горелки $23\,260 \pm 2326$ Вт;
- номинальная тепловая мощность запальной горелки не более 350 Вт (300 ккал/ч);
- запальная горелка должна обеспечить начало воспламенения газа на основной горелке с момента подачи газа на последнюю не более чем через 2с;
- аппараты должны быть оснащены автоматикой безопасности, обеспечивающей: доступ газа к основной горелке только при наличии протока воды. При прекращении протока воды или понижении давления воды ниже 49 кПа перед аппаратом основная газовая горелка должна выключиться;
- доступ газа к основной горелке только при наличии запального пламени и отключение не более чем через 60 с после того, как погаснет запальная горелка;

отключение запальной и основной горелок не менее чем через 10 с и не более чем через 60 с при отсутствии разрежения в дымоходе;

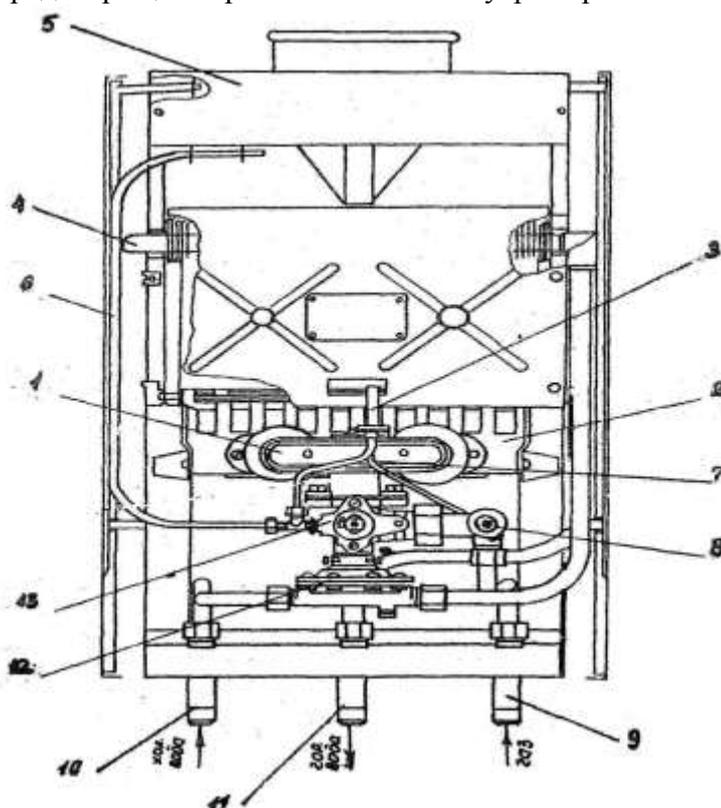
- аппараты должны иметь устройство (тягопрерыватель) для стабилизации разрежения в дымоходе от 1,96 до 29,40 Па (0,2-3,0 мм вод.ст.),

1.2. Устройство водонагревателя.

Аппарат состоит из следующих основных частей (рис. 1): водогорелочного блока 1, горелки основной 2, горелки запальной 3; теплообменника 4, газоотводящего устройства (тягопрерывателя) 5, датчика тяги 6, термопары 7, электромагнитного клапана 8, газовой трубы 9, трубы холодной воды 10, трубы горячей воды 11. На подводящих трубах воды и газа установлены сетчатые фильтры.

Все основные элементы аппарата смонтированы в разъемном кожухе, который имеет прямоугольные облицовочные поверхности. На лицевой панели аппарата расположены ручка управления газовым краном 13 и кнопка включения электромагнитного клапана.

Основная газовая горелка 2, установленная в водонагревателе, атмосферного типа с повышенной эжекционной способностью. Горелка состоит из двух эжекционных трубок, присоединенных к смесительной (поворотной) камере головки горелки. На каждую эжекционную трубку установлено сопло, имеющее три отверстия диаметром 1,9 мм (для природного газа). Такая конструкция позволяет сократить размеры эжекционного смесителя. Головка горелки состоит из 12 каналов с щелевыми отверстиями, ширина которых меньше критической, что предотвращает проскок пламени внутрь горелки.



Продукты сгорания газа, проходя через теплообменник (калорифер) 4, отдают основную часть теплоты нагреваемой среде (воде) и отводятся через тягопрерыватель 5 в дымоход.

Тягопрерыватель представляет собой устройство, в котором дымоотводящая труба прерывается и ее внутреннее пространство сообщается с атмосферой. В результате этого значительно уменьшается влияние разрежения в дымоходе на работу аппарата. Продукты сгорания движутся через прибор под действием тяги, создаваемой самим прибором. Усиленная тяга увеличивает подсос воздуха из помещения через тягопрерыватель, поэтому разрежение перед прибором изменяется в незначительных пределах. Это приводит к стабильности работы газовой горелки. Для предохранения аппарата от временного недостатка, застоя или опрокидывания тяги на пути движения продуктов сгорания установлен отражатель, предотвращающий попадание продуктов сгорания из дымохода обратно в топочную камеру.

Газ по трубе 9 поступает в электромагнитный клапан. При включенном электромагнитном клапане газ поступает в газовый блокировочный кран водогазогорелочного устройства, который осуществляет включение запальной и основной горелок. Газовый кран поворачивается слева направо с фиксацией в трех положениях: полностью закрыт, открыт доступ газа к запальной горелке, полностью открыт для поступления газа на запальную и основную горелки.

При наличии протока воды сначала включается запальная горелка. При нормальной тяге в дымоходе термопара, нагреваемая пламенем запальной горелки, передает импульс электромагниту клапана, который автоматически открывает доступ газа к блокировочному крану, и включается основная газовая горелка.

При нарушении тяги или ее отсутствии биметаллическая пластина датчика тяги 9 нагревается отходящими продуктами сгорания газа и 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 отключает газогорелочные устройства в диапазоне времени 10 - 60 с.

Для регулирования работы аппарата служат регулировочный винт замедлителя зажигания (для регулирования степени перекрытия канала шариком) в регулировочный ввинт водяного узла 12 (для регулирования расхода воды в случае повышенного давления в водопроводе перед аппаратом) .

2. Испытание газового водонагревателя

Основными показателями, характеризующими работу газовых приборов, являются: тепловая мощность, производительность и коэффициент полезного действия (КПД).

Тепловой мощностью газового аппарата принято называть количество химической теплоты в газе, подаваемом к аппарату, считая по низшей теплоте сгорания.

Тепловая нагрузка газогорелочного устройства определяется по формуле

$$N = V_{\Gamma}^H \cdot Q_H \text{ Вт,} \quad (1)$$

где V_{Γ}^H - расход газа, приведённый к нормальным условиям, $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$;

Q_H - низшая теплота сгорания газа, приведённая к нормальным условиям, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$.

Учитывая, что сжигается осушенный газ,

$$V_{\Gamma}^H = V_{\Gamma} \cdot \frac{(P_{\text{ат}} + P_{\Gamma})}{P_0 \cdot (T_0 + t)}, \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}, \quad (2)$$

где V_{Γ} - расход газа, измеренный по расходомеру;

$P_{\text{ат}}$ - атмосферное давление, Па;

P_{Γ} - избыточное давление газа перед горелкой, Па;

P_0 - атмосферное давление воздуха при нормальных условиях, $P_0 = 101325$ Па;

T_0 - температура воздуха при нормальных условиях, $T_0 = 273,15$ К;

t - температура газа, С

Различают номинальную и предельную тепловую мощность аппарата.

Номинальной тепловой мощностью называют такую, при которой прибор дает лучшие показатели работы, заключающиеся в наибольшей полноте сгорания газа при наиболее высоком КПД; при этом в конструктивных элементах прибора не должно возникать опасных тепловых напряжений, которые могут сократить установленный для приборов срок службы.

Предельной тепловой мощностью для приборов считается максимальная мощность, превышающая номинальную на 20°C .

Производительностью газового аппарата называют количество теплоты, воспринимаемое нагреваемым телом (в данном случае - водой) при сжигания газа в приборе.

Производительность газового проточного водонагревателя определяют по формуле

$$P = M \cdot c_B \cdot (t_2 - t_1), \text{Вт},$$

где M - массовый расход воды, $\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$;

$c_{\text{в}}$ - средняя теплоёмкость воды в диапазоне температур от t_1 до t_2 , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$ (принимается равной 4,18);

t_2 - температура воды на выходе из аппарата, град;

t_1 - температура воды на входе в аппарат, град.

КПД аппарата выражает отношение производительности аппарата к его тепловой мощности. КПД водонагревателя определяется по формуле

$$\eta = \frac{P}{N} \cdot 100\%$$

(4)

Временем нагрева воды считается время от повторного зажигания основной горелки до момента достижения 90 % - ного значения температуры горячей воды, при которой была отключена основная газовая горелка.

Объемный коэффициент эжекции горелки — это отношение объема эжектируемого первичного воздуха к объему газа, истекающего из сопла горелки.

Коэффициент эжекции US определяется по балансу кислорода в воздухе, газе и газозвушной смеси в диффузоре основной горелки

$$US = \frac{O_2^{\text{см}} - O_2^{\text{Г}}}{O_2^{\text{В}} - O_2^{\text{см}}}, \quad (5)$$

где U - массовый коэффициент эжекции;

S - относительная плотность газа $\left(\frac{\rho_{\text{Г}}}{\rho_{\text{В}}} \right)$;

$O_2^{\text{см}}$ - процентное содержание кислорода в смеси газа с первичным воздухом;

$O_2^{\text{Г}}$ - процентное содержание кислорода в газе (принять 0,5%);

$O_2^{\text{В}}$ - процентное содержание кислорода в воздухе (принять 20,9%).

Содержание кислорода в газовоздушной смеси O_2^{CM} определяется с помощью газоанализатора. Методика проведения газового анализа на химическом газоанализаторе приведена в прил. 1.

3. Описание установки

Схема установки представлена на рис. 2. Газ, идущий на сжигание, поступает в расходомер, с помощью которого измеряется расход газа. Мановакуумметром 7 и термометром 14 измеряется избыточное давление газа и температура газа у расходомера. Пробковым краном 15, установленным за расходомером, регулируют давление газа перед

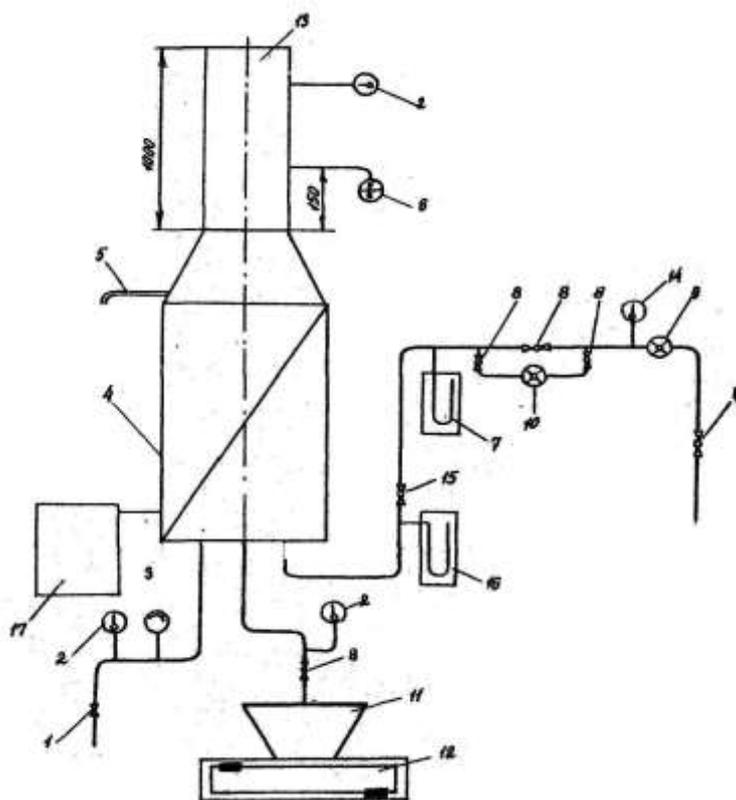


Рис. 2. Схема установки:

1 - проходной запорный вентиль; 2 - термометр; 3 - пружинный манометр; 4 - проточный водонагревательный аппарат; 5 - проботборник; 6 - тягонапоромер; 7 - мановакуумметр; 8 - пробковый проходной кран; 9 - расходомер; 10 - расходомер газовый счетчик; 11 - бачок; 12 - весы; 13 - патрубок для отвода продуктов сгорания; 14 - термометр; 15 - пробковый проходной кран; 16 - мановакуумметр; 17 - газоанализатор.

горелкой, которое измеряется мановакуумметром 16. К запальной и основной горелкам газ поступает через электромагнитный клапан и газовый кран водогазогорелочного устройства.

Температура отходящих газов измеряется термопарами градуировки ХК (хромель-копель) в комплекте с автоматическим самопишущим потенциометром КСП-4 (гр 0-200 °С, кл. точности 0,5) в следующих точках: после теплообменника, после тягопрерывателя, в дымоходе.

Проба газовой смеси для газового анализа на газоанализаторе 17 отбирается в диффузоре основной горелки.

Разрежение в дымоходе определяется микроманометром МКВ-250.

4. Порядок выполнения работы.

Перед пуском установки необходимо: •

- проверить наличие тяги в дымоходе;
- открыть общий кран на газопроводе перед аппаратом;
- полностью открыть вентили 1 и 8 на трубопроводах холодной и горячей воды;
- зажечь запальную горелку, для чего нажать кнопку электромагнитного клапана и поднести зажженную спичку через окошко в кожухе водонагревателя к запальной горелке;
- отпустить кнопку электромагнитного клапана после включения его в работу (10 - 60 с); при этом пламя запальной горелки не должно погаснуть;
- включить основную газовую горелку, для чего нажать ручку газового крана в осевом направлении и повернуть вправо до упора.

После наступления установившегося режима, т.е. когда температура нагретой воды становится постоянной (изменение $\Delta t = \pm 1^\circ\text{C}$), можно приступать к проведению испытания водонагревателя.

Испытание аппарата (определение тепловой мощности, производительности в КПД водонагревателя) проводить в трех режимах, которые характеризуются давлением газа перед горелкой. Выбрать номинальное давление газа $P_r^{\text{ном}} = 1274 \text{ Па}$, а также большее и меньшее номинального давления (по заданию преподавателя).

Испытание водонагревателя на каждом режиме проводить три раза.

Вентилем 1 установить номинальное давление воды перед аппаратом $P_v^{\text{ном}} = 147,0 \text{ КПа}$. Вентиль 8 на трубопроводе горячей воды открыть полностью. Пробковым газовым краном установить номинальное давление газа перед горелкой. Вентилем 8 отрегулировать расход воды так, чтобы разность температур горячей и холодной

$$t_2 - t_1 = 40 \dots 50^\circ\text{C}.$$

После наступления стабильного режима одновременно включить секундомер, зафиксировать показания расходомера, а нагретую воду направить в мерный бак, расположенный на весах.

Продолжительность опыта 5 мин.

Во время опытов каждую минуту производить замеры температуры воды на входе в аппарат и выходе из него и снимать показания расходомера.

По окончании опыта определить массу нагретой воды и продолжительность опыта.

На других режимах работы водонагревателя (давление газа перед горелкой больше и меньше номинального) расход воды не изменяется, а определяется температура t_2 . Продолжительность испытаний такая же, как при номинальном давлении газа.

Для каждого режима определяются тепловая мощность, производительность и КПД.

Время нагрева воды определить при работе аппарата на номинальной тепловой мощности и расходе воды, который обеспечивает разность температур горячей и холодной воды $40 \pm 0,1^\circ\text{C}$.

Вентилем 1 (см. рис. 2) установить давление воды перед аппаратом $P_B^{\text{ном}} = 147$ кПа. Вентилем 8 отрегулировать расход воды так, чтобы разность температур $t_2 - t_1 = 40^\circ\text{C}$. Не изменяя расход воды, прекратить подачу газа на основную горелку. После выравнивания температур воды на входе в аппарат и выходе из него одновременно включить основную горелку и секундомер. По достижении 90 % значения температуры горячей воды, при которой была отключена горелка, секундомер выключить.

Определение коэффициента эжекции основной газовой горелки проводится на трех заданных режимах испытания водонагревателя. Пробоотборником произвести отбор пробы газозооушной смеси. Перед отбором пробы свободный объем системы должен быть промыт пятикратным объемом газозооушной смеси.

Отбор пробы и анализ газозооушной смеси производится во время второго опыта для всех трех режимов.

По окончании пользования водонагреватель необходимо выключить в последовательности обратной включению. После выключения газа выждать 5-10 мин и только после этого перекрыть вентиль 1 на трубопроводе холодной воды.

5. Результаты измерений, их обработка и графическое представление.

Для каждого опыта во всех трех режимах обработку результатов проводить следующим образом:

- измерить в начале и в конце опыта параметры, точность которых определяется точностью приборов, и занести их в табл. 1;

Таблица №1

№ опыта	Давление, Па			Температура газа после счётчика t , $^\circ\text{C}$	Температура входящих газов, $^\circ\text{C}$		Давление воды в трубопроводе, $P_{\text{вод}}$, кПа	Время опыта τ , с
	атмосферное P_6	газа после счётчика $P_{\text{газ}}$	газа перед горелкой P_r		после калорифера	в дымоходе		
1								

2								
3								

б) измерить температуру воды, выходящей из водонагревателя (табл. 2);

№ опыта	Температура воды, °С	1	2	3	4	5	6	Среднее значение температуры
1	Входящей							
	Выходящей							
2	Входящей							
	Выходящей							
3	Входящей							
	Выходящей							

в) рассчитать погрешности измерения температуры выходящей воды (табл. 3);

Таблица №3

№ опыта	Номер измерения	1	2	3	4	5	6	$\Sigma \Delta t_i^2$
1	Результат измерения $t_{\text{вых}}$, °С							
	Отклонение измерений от среднего $\Delta t_i = \overline{t_c} - t_{\text{вых}}$							
	Δt_i^2							
2	Результат измерения $t_{\text{вых}}$, °С							

	Отклонение измерений от среднего $\Delta t_i = \overline{t_c} - t_{\text{ВЫХ}}$							
	Δt_i^2							
3	Результат измерения $t_{\text{ВЫХ}}, ^\circ\text{C}$							
	Отклонение измерений от среднего $\Delta t_i = \overline{t_c} - t_{\text{ВЫХ}}$							
	Δt_i^2							

Рассчитать среднеквадратичную ошибку измерения температуры выходящей температуры

$$\Delta S_{\overline{t_{\text{ВЫХ}}}} = \sqrt{\frac{\sum \Delta t_i^2}{n \cdot (n - 1)}}$$

Для уровня надёжности $P=0,95$ определяем коэффициент Стьюдента и рассчитываем абсолютную ошибку измерения температуры выходящей воды

$$\Delta t_{\text{ВЫХ}} = t_{\alpha} \cdot \Delta S \frac{\text{---}}{t_{\text{ВЫХ}}}$$

г) определить разности температур выходящей и входящей воды

$$\delta \tau = \overline{\delta \tau} + -\Delta t$$

$$\delta \tau = \overline{t_{\text{ВЫХ}}} - \overline{t_{\text{ВХ}}}$$

$$\Delta t = \sqrt{\Delta t_{\text{ВХ}}^2 + \Delta t_{\text{ВЫХ}}^2}$$

Ошибка при изменении температуры входящей воды $\Delta t_{\text{ВХ}}$ определяется приборной ошибкой термометров;

д) определить массу воды и расход газа за опыт (табл. 4 и 5)

Таблица №4

№ опыта	Масса, кг		
	начальная бака	конечная бака	воды
1			
2			
3			

Таблица №5

№ опыта	Расход газа	Замер					Среднее значение
		1	2	3	4	5	
1	Показания расходомера						
	За время опыта						
	Приведённый к нормальным						
2	Показания расходомера						
	За время опыта						
	Приведённый к нормальным						
3	Показания расходомера						
	За время опыта						
	Приведённый к нормальным						

е) определить поправочный коэффициент

$$P = \bar{P} + -\Delta P, \text{ Па}; \bar{P} = \overline{P_{\text{ат}}} + \overline{P_{\text{газ}}}; \Delta P = \sqrt{\overline{\Delta P_{\text{ат}}^2} + \overline{\Delta P_{\text{газ}}^2}}, \text{ Па};$$

$$T = \bar{T} + -\Delta T, \text{ К}; f = \bar{f} + -\Delta f; \bar{f} = \frac{\bar{P}}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T};$$

$$\Delta f = \frac{T_0}{T} \cdot \sqrt{\frac{\overline{\Delta P^2}}{T^2} + \frac{\overline{P^2 \cdot \Delta T^2}}{T^4}};$$

ж) определить КПД проточного водонагревателя

$$\eta = \frac{\overline{c_{\text{в}}} \cdot \overline{M_{\text{в}}} \cdot \overline{\delta t}}{\overline{Q_{\text{н}}^c} \cdot \overline{f} \cdot \overline{V} \cdot \overline{\tau}}$$

з) рассчитать погрешность косвенных измерений

$$\Delta \eta = \frac{\overline{c_{\text{в}}}}{\overline{Q_{\text{н}}^c}} \cdot \sqrt{\frac{\overline{\delta t^2}}{\overline{V^2 \cdot f^2 \cdot \tau^2}} \cdot \overline{\Delta M^2} + \frac{\overline{M_{\text{в}}^2}}{\overline{V^2 \cdot f^2 \cdot \tau^2}} \cdot \overline{\Delta t^2} + \frac{\overline{M_{\text{в}}^2 \cdot \delta t^2}}{\overline{V^4 \cdot f^2 \cdot \tau^2}} \cdot \overline{\Delta V^2} + \frac{\overline{M_{\text{в}}^2 \cdot \delta t^2}}{\overline{V^2 \cdot f^4 \cdot \tau^2}} \cdot \overline{\Delta f^2} + \frac{\overline{M_{\text{в}}^2 \cdot \delta t^2}}{\overline{V^2 \cdot f^4 \cdot \tau^4}} \cdot \overline{\Delta \tau^2}}$$

и) окончательный результат

$$\eta = \bar{\eta} + -\Delta \eta$$

к) относительная погрешность результата серии косвенных измерений

$$\varepsilon = \frac{\overline{\Delta \eta}}{\overline{\eta}} \cdot 100\%$$

л) после обработки результатов измерений построить зависимость расхода газа, тепловой мощности, объемного коэффициента эжекции основной газовой горелки от давления газа перед горелкой

$$V_{\Gamma}^H = f(P_{\Gamma})$$

$$N = f(P_{\Gamma})$$

$$US = f(P_{\Gamma})$$

и зависимость КПД водонагревателя (с доверительным интервалом) от давления газа перед горелкой

$$\eta = f(P_{\Gamma})$$

6. Контрольные вопросы

1. Назначение и устройство газового проточного водонагревателя.
2. Основные требования, предъявляемые к газовым проточным водонагревателям.
3. Назначение, характеристика и устройство основной газовой горелки.
4. Назначение и устройство электромагнитного клапана.
5. Назначение и устройство тягопрерывателя.
6. Чем объяснить установленный предел температуры уходящих газов?
7. Назначение и устройство узла блокировки подачи газа и воды.
8. Что называется номинальным режимом работы водонагревателя? Чем объяснить изменение КПД при изменении давления газа перед горелкой?
9. Устройства автоматики безопасности газового проточного водонагревателя. Назначение и устройство узла автоматики по тяге.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ИСПЫТАНИЕ ГАЗОВОЙ ПЛИТЫ

Цель работы:

- знакомство с устройством плиты и описание основных ее элементов;
- испытание плиты и определение коэффициента полезного действия горелки плиты и коэффициента эжекции конфорочной горелки.

1. Устройство бытовой газовой плиты

Газовые плиты изготавливают двух-, трех- и четырехконфорочными, с духовыми шкафами и без них. Плита состоит из следующих основных частей: корпуса, рабочего стола с конфорочными вкладышами, духового шкафа, газораспределительного устройства с кранами.

Высота рабочего стола бытовых плит около 800 мм, ширина не менее 700 мм. Расстояние между центрами соседних конфорок принимается не менее 230 мм.

Конфорочные горелки изготавливают нормальной (1,9 кВт) и повышенной (2,8 кВт) тепловой мощности.

Номинальная нагрузка горелок духового шкафа должна обеспечивать его равномерный разогрев до температуры 285-300 °С не более чем за 25 мин.

По ГОСТ КПД конфорочных горелок должен быть не менее 56 %, а КПД плит с отводом продуктов сгорания в дымоходах - не менее 40 %. Содержание окиси углерода в продуктах сгорания при работе горелок с номинальной мощностью не должно превышать 0,05 % в пересчете на сухие дымовые газы и избыток воздуха, равный единице ($\alpha=1$). Отрегулированные горелки должны устойчиво работать без отрыва и проскока пламени при изменении теплоты сгорания газа в пределах $\pm 10\%$ и тепловой мощности - от предельной до номинальной (0,2).

Бытовые газовые плиты, как правило, оборудуются атмосферными горелками с отводом продуктов сгорания непосредственно в кухню. Воздух из кухни поступает к конфорочным горелкам под рабочий стол, а к горелкам духового шкафа - через специальные щели и отверстия в плите. Часть воздуха, необходимого для горения (первичный воздух), эжектируется газом, вытекающим из сопел горелок, остальная часть (вторичный воздух) поступает к пламени непосредственно из окружающей среды.

Продукты сгорания конфорочных горелок проходят через щель между дном посуды и рабочим столом плиты, поднимаются вдоль стенок посуды, обогревая их, и поступают непосредственно в окружающую атмосферу.

Продукты сгорания горелок духового шкафа обогревают его и поступают в кухню через отверстия в боковых и задней стенках плиты.

Основные причины, вызывающие химическую неполноту сгорания у конфорочных горелок:

охлаждающее действие стенок посуды, которое может приводить к неполному протеканию химических реакций горения, образованию СО и сажи;

недостаток первичного воздуха;

плохая организация отводов продуктов горения;

плохая организация подвода вторичного воздуха.

Для устранения указанных причин необходимо газогорелочное устройство плиты конструировать 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 - растет 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.

2. Испытания газовой плиты

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

Основными показателями, характеризующими работу газовых приборов, являются тепловая мощность, тепловая производительность и коэффициент полезного действия.

Тепловой мощностью газового прибора принято называть количество химической теплоты в газе, подаваемое к прибору, считая по низшей теплотворной способности газа.

Производительностью газового прибора называют количество теплоты, переданное прибором при сжигании газа нагреваемому телу (в данном случае - кастрюле с водой).

Коэффициент полезного действия прибора выражает отношение производительности прибора к его мощности.

Различают номинальные и предельные значения величин указанных показателей.

Номинальной называют такую мощность, при которой прибор дает лучшие показатели работы, заключающиеся в наибольшей полноте сгорания газа при наиболее высоком КПД; при этом в конструктивных элементах приборов не должно возникать опасных тепловых напряжений, которые могут сократить установленный для прибора срок службы.

Номинальное давление газа перед прибором должно составлять 1270 Па. Тепловая мощность газогорелочного устройства определяется по формуле

$$P = V_H \cdot Q_H^c, \text{ Вт,}$$

где V_H - расход газа при нормальных условиях, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

Q_H^c - низшая теплота сгорания газа при нормальных условиях.

$$V_H = V_{\Gamma} \cdot \frac{P_{aT} + P_{\Gamma} - P_{B\Pi}}{101300} \cdot \frac{273}{273 + t_{\Gamma}},$$

где V_{Γ} - расход газа по счётчику, $\frac{M^3}{c}$;

P_{aT} - атмосферное давление в помещении, Па;

P_{Γ} - давление газа непосредственно перед счётчиком, Па;

$P_{B\Pi}$ - парциальное давление насыщенных водяных паров в газе, Па;

t_{Γ} - температура газа на выходе из счётчика, С

КПД газовой плиты определяется по формуле

$$\eta = \frac{[G_B \cdot c_B \cdot (t_2 - t_1) + G_K \cdot c_K \cdot (t_2 - t_1)] \cdot \frac{1}{\tau}}{V_C \cdot Q_H^c},$$

где G_B - масса воды, кг;

c_B - теплоёмкость воды, равная $4,19 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$;

G_K - масса посуды (кастрюли и мешалки), кг;

c_K - теплоёмкость металла кастрюли, равная $0,84 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$;

t_1 - начальная температура воды, С;

t_2 - конечная температура воды, С;

τ - продолжительность опыта, сек.

Определение коэффициента эжекции горелки

Объемный коэффициент эжекции определяют как отношение объема эжектируемого воздуха (в данном случае - первичного) к объему газа, истекающего из сопла горелки.

Коэффициент эжекции первичного воздуха определяют по балансу кислорода в воздухе, газе и смеси газа с первичным воздухом. Это балансовое уравнение после преобразований будет иметь следующий вид:

$$US = \frac{O_2^{CM} - O_2^Г}{O_2^B - O_2^{CM}},$$

где U - массовый коэффициент эжекции;

S - относительная плотность газа $\left(\frac{\rho_{Г}}{\rho_{B}} \right)$;

O_2^{CM} - процентное содержание кислорода в смеси газа с первичным воздухом;

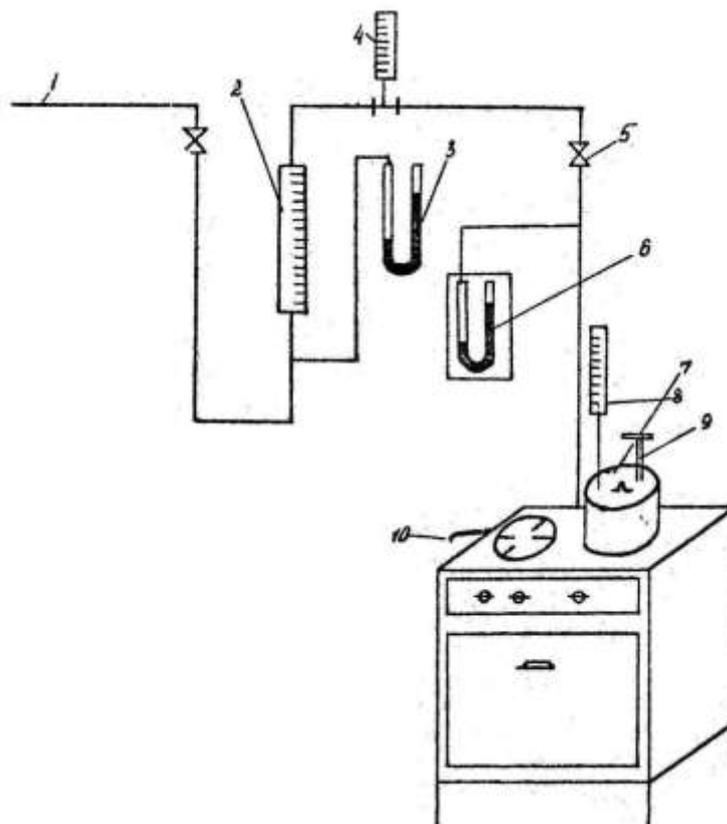
$O_2^Г$ - процентное содержание кислорода в газе (принять 0,5%);

O_2^B - процентное содержание кислорода в воздухе (принять 20,9%).

Содержание кислорода в газозудушной смеси O_2^{CM} определить о помощью газоанализатора.

3. Описание установки

Схема установки показана на рисунке. Газ из газопровода поступает в газовой счетчик 2. Давление и температуру газа у счетчика измеряют соответственно манометром 3 и термометром 4 . Краном 5 устанавливают различные давления перед соплом горелки. Эти давления измеряют манометром 6 . На плите показана кастрюля 7 , на крыше которой установлен термометр 8 для измерения температуры воды, и мешалка 9 (для перемешивания воды в кастрюле в вертикальном направлении). Барометр-анероид и газоанализатор на рисунке не показаны. Отбор пробы газозудушной смеси из горелки осуществляется через трубку 10 .



4. Порядок выполнения работы

Полностью открыть кран перед счетчиком, кран 5 и кран горелки плиты. Зажечь горелку. Краном 5 установить номинальное давление газа перед горелкой. Определить массу кастрюли с мешалкой. В кастрюлю налить холодной воды и определить ее массу. Поставить кастрюлю на плиту с горячей горелкой. Опыт начинать, когда температура воды достигнет 20 °С. В этот момент включить секундомер и зафиксировать показания газового счетчика. При достижении температуры воды 90 °С опыт прекратить, остановить секундомер и зафиксировать показания счетчика. После опыта снова измерить массу посуды с водой.

Затем кран 5 открыть полностью. Последовательность опыта та же, что и при номинальном давлении газа.

Краном 5 установить $P_{г} = 640$ Па. Последовательность опыта та же.

Анализ газозоодушнoй смеси проводить один раз для каждого опыта. Результаты измерений и вычисления свести в таблицу. После обработки результатов построить зависимости

$$V_{н} = f_1(P_{г}); \eta = f_2(P_{г}); US = f_3(P_{г})$$

Таблица

Измеряемая величина	№ опыта		
	1	2	3
Масса, кг:			
кастрюли и мешалки			
воды			
Показания счётчика и объём сожжённого газа, м ³			
Давление газа, Па:			

в сети			
перед горелкой			
Температура газа, °С			
Атмосферное давление, Па			
Продолжительность опыта, с			
КПД горелки плиты, %			
Содержание кислорода в газозоудушной смеси, %			
Объёмный коэффициент эжекции			

6. Контрольные вопросы

1. Расскажите о назначении и устройстве (основные узлы) газовой плиты.
2. Каковы основные требования, предъявляемые к бытовым газовым плитам?
3. Расскажите об устройстве конфорочной горелки.
4. Расскажите об устройстве газовой горелки духового шкафа..
5. Как осуществить доступ воздуха к духовому шкафу и удаление продуктов сгорания из него?
6. Каковы основные причины, вызывающие химическую неполноту сгорания, и способы их устранения?
7. Что называется номинальной тепловой мощностью и давлением газа для бытовой газовой плиты?