

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО- СТРОИ-
ТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ИМ. МИРЗО УЛУГБЕКА

Факультет «Строительство инженерных
коммуникаций и экология»

Кафедра «Защита окружающей среды»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ по курсу:
«ГАЗОСНАБЖЕНИЕ»

Самарканд –2005 г

Методические указания предназначены для студентов обучающихся по направлению 5580400- «строительство инженерных коммуникаций» для выполнения лабораторных работ по курсу «Газоснабжение»

Составил: **Айматов Р.А.** к.т.н, доцент

Рецензенты: **Абдуллаев К.Ю.** - к.т.н, доцент, СамГАСИ

Худайкулов А. - зам. начальника, «Самаркандское областное территориальное предприятие - Газоснабжение»

Методические указания рассмотрены и утверждены на Заседании кафедры «Защита окружающей среды». Протокол №5, от 18 декабрь 2004 г.

Методические указания рассмотрены и утверждены на Заседании методического Совета факультета «Строительство инженерных коммуникаций и экология» Протокол № 2 от 30 январь 2004 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕЛКИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ ГАЗА С ДОЛЕЙ ВОЗДУХА ТЕОРЕТИЧЕСКИ НЕОБХОДИМОГО

Цель работы – исследование эжекционных свойств горелки: а) при различных сопротивлениях эжектора, измеряющихся с положением регулятора первичного воздуха (открыт полностью, на 50%, закрыт) б) при полностью открытом регуляторе первичного воздуха и различных давлениях газа перед соплом горелки наблюдение за размером факела при указанных выше условиях.

Устройство горелки. Исследуется эжекционная горелка атмосферного типа применяемая в отопительных печах и работающая на газе низкого давления (рис.1). В этой горелке потенциальная энергия давления газа преобразуется при истечении его из сопла в кинетическую энергию движения $E = \frac{\rho w^2}{2}$, которая

расходуется на преодоление движущейся газо-воздушной смесью сопротивлений проточной части эжектора и на создание статистического давления перед отверстиями головки горелки. Первичный воздух эжектируется турбулентной газовой струей на пути от среза сопла до сечения отсечки ее стенками эжектора (0-1). Поэтому на подсос воздуха (в отличие от свободной турбулентной струи) расходуется только часть кинетической энергии, оставшейся после преодоления сопротивлений. Следовательно, чем больше, сопротивление эжектора, тем меньше эжекционная способность горелки и наоборот.

Начиная с сечения 1-1 эжектора на пути 1-2 в результате выравнивания скоростного поля потока перемешивается газ и первичный воздух до однородного состояния. На пути 2-3 в результате расширения потока диффузоре восстанавливается статическое давление, необходимое для обеспечения одинаковой скорости истечения смеси из всех отверстий горелочного насадка.

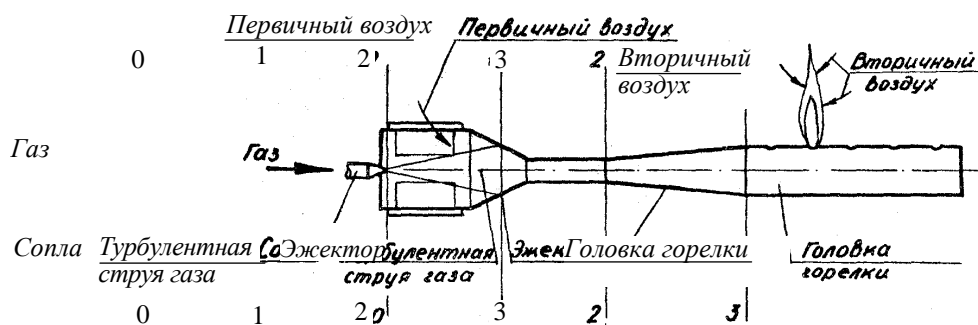
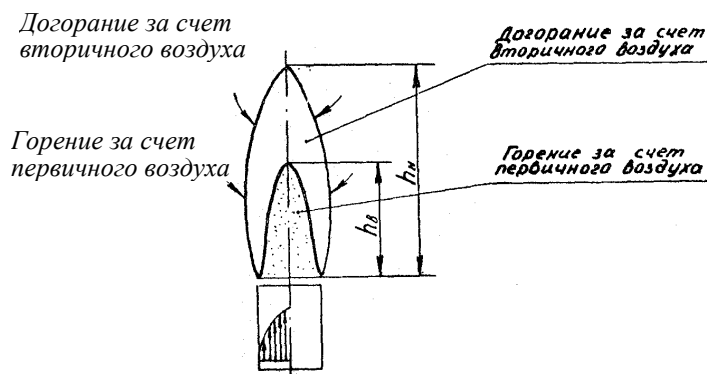


Рис. 1. Схема эжекционной горелки для отопительной печи, эжектирующая долю воздуха от теоретически необходимого.

Горение протекает за счет первичного и вторичного воздуха по смешанному диффузионно-кинетическому методу. Структура факела показана на рис. 2. Факел имеет два конуса: внутренний, ярко очерченный и внешний, с несколько размытыми контурами.

Рис. 2. Структура ламинарного факела диффузионно-кинетического горения



В тонком слое по поверхности внутреннего конуса выгорает по кинетическому методу доля газа за счет первичного воздуха: в наружном конусе оставшийся газ догорает за счет вторичного воздуха, диффундирующего из окружающей среды.

Размеры факела зависят от эжекционной способности горелки. Чем больше эжекционная способность и соответственно доля первичного воздуха, тем короче факел (горение приближается к кинетическому): чем меньше первичного воздуха в смеси, тем факел длиннее (ближе к диффузионному горению) из-за медленного диффузионного перемешивания газа со вторичным воздухом.

Описание опытной установки. Схема установки показана на рисунке 3. Газовая горелка (4) крепится в специальной подставке. Расход газа горелкой измеряется газовым счетчиком (1), давление газа перед соплом горелки V -образным манометром (2): проба газа и газо-воздушной смеси из горелочной насадки отбирают газоанализатор типа Орса через штуцеры (3). Для измерения высоты пламени используют штатив (5).

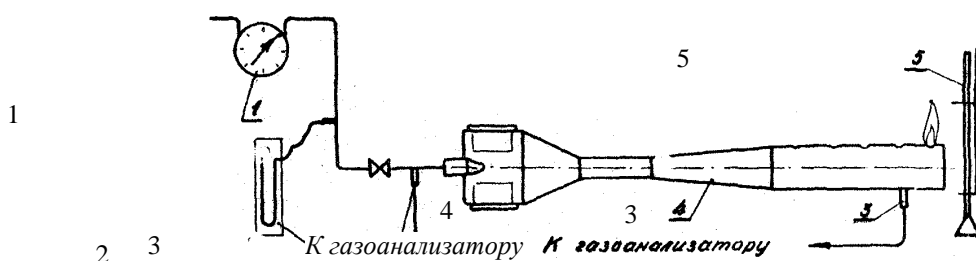


Рис. 3. Схема стенда для исследования эжекционных свойств горелки: 1 – газовый счетчик; 2 – V -образный манометр; 3 – штуцера для отбора проб газа и газо-воздушной смеси; 4 – горелка; 5 – штатив для измерения высоты пламени

Исследование эжекционных свойств горелки. Эжекционную способность горелки оценивают по коэффициенту первичного воздуха, α' равному для атмосферных горелок 0,4-0,7 и определяемая по формуле

$$\alpha' = \frac{z}{V_B^0} \quad (1)$$

где z – кратность эжекции. Например, $z = 5$ – это значит, что горелка эжектирует 5 м^3 воздуха на 1 м^3 газа;

v_b^0 – теоретически необходимый воздух для сжигания 1 м³ газа.

Для природного газа $v_b^0 = 9-10$ м³ и может быть определен при известной теплоте сгорания по формуле:

$$v_b^0 = \frac{Q_H^c}{3,77}$$

при $Q_H^c = 35,6$ МДж/м³ (8500 ккал /м³) и выделение 3,77 МДж (900 ккал) тепла при затрачивании 1 м³ воздуха $v_b^0 = 9,5$ м³ и $\alpha' = 5/9,5 = 0,53$ - это значит горелка эжектирует 53% воздуха от теоретически необходимого, а 47% используется из окружающей среды и качестве вторичного воздуха.

В свою очередь кратность эжекции определяют по балансу кислорода O₂, содержащегося в единице объема воздуха, газа и газозвоздушной смеси горелки.

Кислород, содержащийся в единице объема газозвоздушной смеси, состоит из кислорода газа O₂^Г и воздуха O₂^В. При кратности эжекции z количество кислорода в газо-воздушной смеси соответственно равно (z+1)O₂^{см}. Составим баланс:

$$O_2^Г + z O_2^В = (z + 1) \cdot O_2^{см},$$

Откуда:

$$z = \frac{O_2^{см} - O_2^Г}{O_2^В - O_2^{см}} \quad (2)$$

Для определения кратности эжекции по формуле (2) отбирают пробы газа и газо-воздушной смеси через штуцеры 3 на подводящей газ трубе и головке горелки перед выходными каналами. Пробы воздуха берут из помещения, в котором проводятся испытания. Содержание O₂ и в отобранных пробах определяют на газоанализаторе Ораса.

Отбор проб проводят при максимально возможном давлении газа в сети и трех положениях регулятора первичного воздуха, а затем при полностью открытом регуляторе первичного воздуха и трех значениях газа перед соплом горелки. Давление газа регулируют краном. Оценка кратности эжекции при различных давлениях подтверждают автомодельность процесса эжекции, ее саморегулируемость т.е. независимость от давления при неизменных прочих условиях.

Результаты измерений записывают в табл. 1.

Таблица 1.

Номер опыта	Давление газа, P, кПа (кгс/м ²)	Показание счетчика		Время замера, τ, мин	Содержание O ₂			Высота факела h, м		Условия опыта
		начало α	конец β		в газе	в смеси	в воздухе	Внутреннего конуса	Наружного конуса	
1.	1,4	4,320	4,37	3	0,5	17,3	20,9	40	150	Регулятор открыт полностью

Обработка результатов:

1. Определяют кратность эжекции по формуле (2) для всех шести опытов:

$$z_1 = \frac{17,3 - 0,5}{20,9 - 17,3} = 4,65.$$

2. Для всех же опытов определяют значения коэффициента первичного воздуха: α_1 :

$$\alpha_1 = \frac{z_1}{v_B^0} = \frac{4,65}{9,5} = 0,49.$$

Результаты заносят в табл. 4.

Измерение высоты пламени. Параллельно с отбором проб во всех шести случаях измеряют при помощи штатива 5 высоту внутреннего и наружного конуса пламени.

Высоту внутреннего конуса проверяют по эмпирической зависимости:

$$h_B = 0,86 \cdot 10^{-7} \cdot k \cdot P \cdot d^2,$$

где: h_B – высота внутреннего конуса, мм :

k – эмпирический коэффициент, зависящий от состава газа и коэффициента первичного воздуха :

P – тепловое напряжение поперечного сечения выходных отверстий горелки, Вт/м²:

d – диаметр выходного отверстия, мм.

Значение k для природного газа берут из табл.2

Таблица 2.

Природный газ	Для значений							
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
k	1,80	1,63	1,35	1,14	0,95	0,79	0,64	-

Для определения теплового напряжения подсчитывают расход газа в м³/ч.

$$v = \frac{(\delta - \alpha)60}{\tau},$$

Подсчитывают тепловую нагрузку горелки в кДж/ч (ккал/ч)

$$Q_{\Gamma} = v \cdot Q_{H^c},$$

Определяют площадь жирового сечения головки горелки в м²:

$$F_{к.с} = \frac{0,786 \cdot d^2 n}{10^6},$$

где n – число выходных отверстий, шт.

Тепловое напряжение в Вт/м² (ккал/ч·м²) определяют по формуле:

$$P = 0,353 \cdot 10^6 \frac{Q_{\Gamma}}{n \cdot d^2}$$

$$\text{где } 0,353 = \frac{1,163}{4,19 \cdot 0,785}$$

Высоту наружного конуса пламени горелки определяют по эмпирической зависимости:

$$h_H = 0,86 \cdot 10^{-7} k_1 p \sqrt{d^3} .$$

Коэффициент k_1 зависит от расстояния между краями соседних отверстий S , его определяют по табл. 3.

Результаты расчетов при $Q_H^c = 35600$ кДж/м³, $d_{отв} = 4$ мм, $n = 30$ шт., $S = 6$ мм заносят в табл. 4.

Построение графиков. По результатам табл. 4. строят график зависимости эжекционной способности горелки и высоты пламени от сопротивления эжектора. Характер этого графика изображен на рис. 4.

Соответственно строят график зависимости эжекционной способности горелки и высоты факела от величины давления газа при полном открытии регулятора первичного воздуха. Характер этого графика изображен на рис. 5.

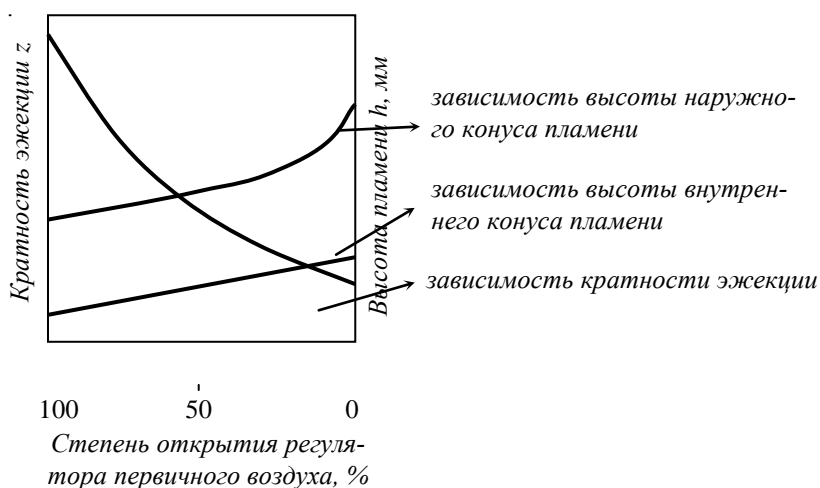


Рис. 4. График зависимости кратности эжекции и высоты пламени от сопротивления эжектора.

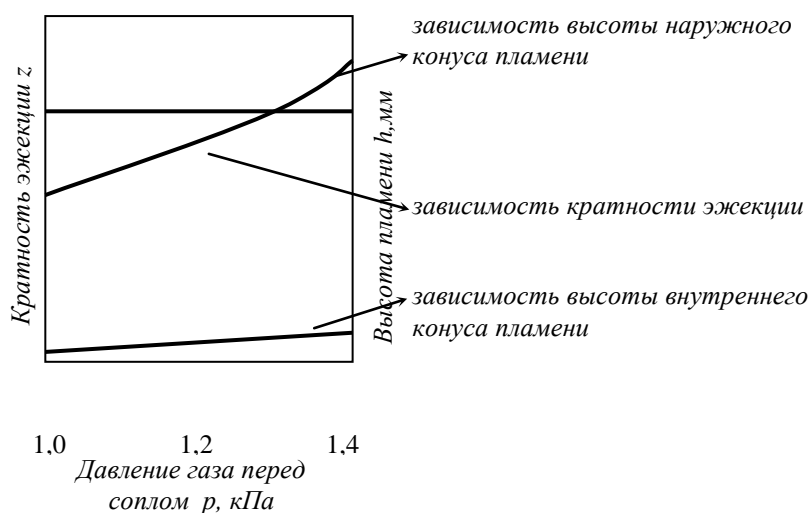


Рис. 5. график зависимости кратности и высоты пламени от давления газа перед соплом горелки.

Таблица 3.

Расстояние краями отверстий, (мм)	2	3	4	5	6	7	8
K_1	11,4	10,4	9,46	8,7	8,7	7,5	7,2

Расстояние краями отверстия, (мм)	9	10	12	14	16	18	20	22
K_1	6,94	6,7	6,4	6,3	6,0	5,85	5,8	5,75

Таблица 4.

Номер опыта	z	α_1	v, м ³ /ч	Q _г , кДж/ч	P, Вт/м ²	Высота пламени, мм			
						Внутреннего конуса		Наружного конуса	
1	4,65	0,49	1	35600	26,2·10 ⁶	1,14	41,1	8,7	156,8

Контрольные вопросы:

1. За счет чего эжектируется первичный воздух?
2. От чего зависит эжекционная способность горелки? Что такое кратность эжекции?
3. В результате чего, и на каком участке эжектора перемешивается газ с первичным воздухом?
4. Для чего необходимо восстанавливать статическое давление потока в диффузоре эжектора?
5. Какое горение обеспечивают атмосферные горелки?
6. Какое пламя развивается в этих горелках (ламинарное, турбулентное)?
7. Какова структура пламени?
8. От чего зависит размер пламени?
9. Как измеряется высота внутреннего и наружного конуса пламени с изменением давления газа перед соплом горелки?
10. Зависит ли кратность эжекции z от величины давления газа перед соплом горелки?
11. Как сказывается на величине z сопротивление эжектора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ГОРЕЛКИ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы - исследование влияния давления газа на температурный режим керамики включая визуальное наблюдение за его состоянием.

Устройство горелки. Схема горелки инфракрасного излучения показана на рис.1.

Металлический корпус (1) и накладка (2) образуют газо-воздушный смеситель (3). Газ истекает в смеситель через сопла (4). Керамические плитки (5) размером 65x45x12 мм склеиваются попарно и клеиваются / в специально посадочные места в корпусе горелки. Плитки пронизаны отверстиями диаметром - 1,2 мм для прохода газавоздушной смеси. Над керамическими плитками крепится сетка (6), из скалиностойкой стали.

Горелка предназначена для работы на газе низкого давления, эжекционная - эжектирует вест теоретически необходимый для сжигания воздух с коэффициентом избытка порядка 1,05.

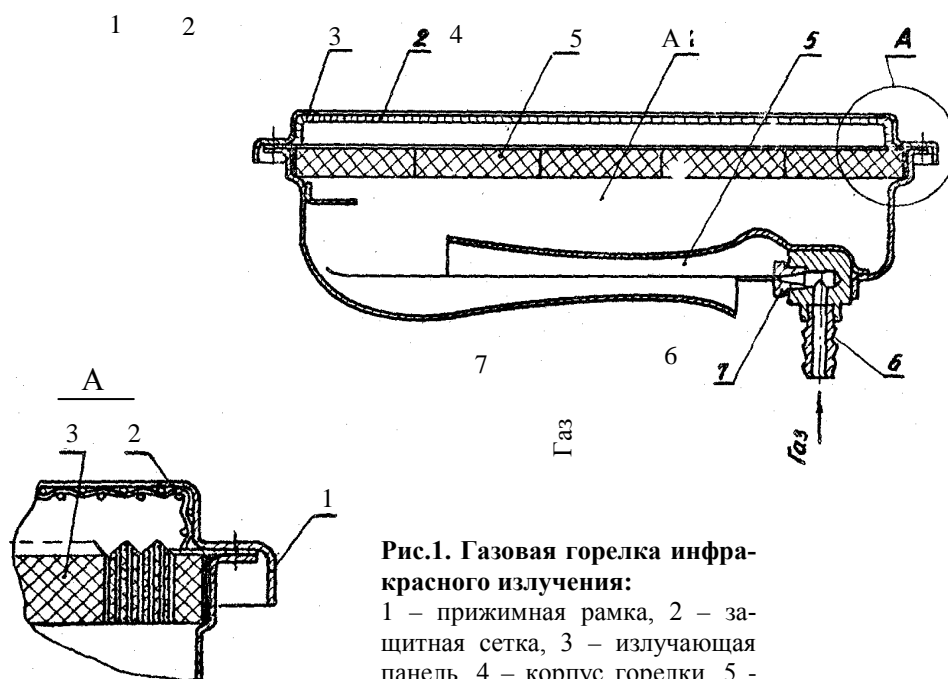


Рис.1. Газовая горелка инфракрасного излучения:

1 – прижимная рамка, 2 – защитная сетка, 3 – излучающая панель, 4 – корпус горелки, 5 – эжектор, 6 – штуцер, 7 – сопло.

Хорошо перемешанная газо-воздушная смесь, содержащая весь необходимый воздух, прогревается до температуры воспламенения при истечении через выходные каналы керамики. Горение протекает быстро, так как в стадии перемешивания воздуха и газа $\tau_{\text{пер}}$ – и подогрева смеси $\tau_{\text{под}}$ – перенесены из пламени во внутрь горелки. Остается только стадия химических реакций.

Длительность горения $\tau_{гор} = \tau_{пер} + \tau_{под} + \tau_{х.р}$ может быть представлена выражением $\tau_{под} = \tau_{х.р}$. Газ горит по кинематическому методу в тонком слое поверхности керамики. Пламя на фоне раскаленной керамической поверхности не просматривается, поэтому горелка инфракрасного излучения называют иногда беспламенными. Поверхность керамики раскаляется, достигая $t = 800-900^{\circ}\text{C}$ что соответствует температурам спектра инфракрасных лучей с длиной волны 27 мкр. До 65% выделяющегося тепла от раскаленной керамики передается излучением, остальные 35% - конвективным путем с продуктами горения. Устойчивость горения в этих горелках в определенном интервале нагрузок обеспечиваются двумя факторами:

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

Низкая температура керамики с внутренней стороны, значительно меньше температуры воспламенения смеси, 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 нарушение керамики напряжения и ее 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 недожег газа.

Описание опытной установки. Схема установки на рисунке 2. Сетевой газ низкого давления подводят к соплу горелки. Давление газа от максимального сетевого снижают постепенно до двух меньших значений при помощи пробкового крана 3. Значение давления газа фиксируют v-образным манометром 2. При каждом из трех значений давления при помощи счетчика 1 измеряют расход газа на горелку. По расходу газа и его заданной теплоте сгорания Q_H^c подсчитывают тепловые нагрузки горелки и при известной поверхности излучающей керамики F - её тепловые напряжения.

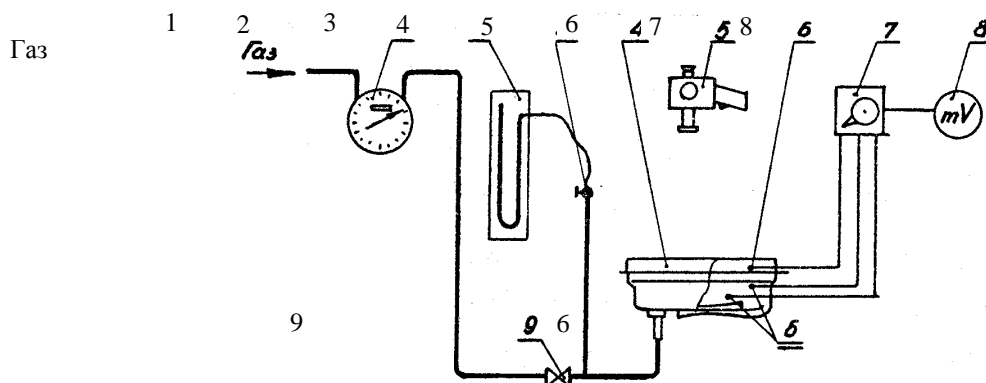


Рис.2. Схема стенда для исследования горелки инфракрасного излучения: 1 – счетчик, 2 – v-образный манометр, 3 – лабораторный кран, 4 –

горелка, 5 – пирометр, 6 – термопары, 7 – переключатель, 8 – милливольтметр, 9 – кран.

Температуру соответственно измеряют:

- в зоне горения (на раскаленной поверхности керамики) оптическим пирометром (проминь) и параллельно хромель-копелевой термопарой 6. Показание при этом снимают с милливольтметра М- 64.

- на внутренней стороне керамики и газо-воздушной смеси перед ней при помощи хромель-копелевой термопары. Результаты их обработки заносят в таблицу 1.

Обработка результатов замера. Расход газа в м³ /ч подсчитывают по формуле

$$V = \frac{(b - a)60}{\tau} = \frac{(4,382 - 4,332) \cdot 60}{12} = 0,25 \text{ м}^3/\text{ч}$$

где в скобках проставляют разность показаний счетчика конечного в начальное;

τ – время, за которое снимают показания по счетчику, мин.

Таблица 1.

№ опыта	Диаметр газа, Р, КПа	Показания счетчика		Время замера расхода $\tau_{\text{мин}}$	Расход газа, м ³ /час V_{Γ}	Тепловая нагрузка кДж/ч ккал/см ²	Тепловое напряжение F, Вт/см ² ккал/см ²	Температура С		
		начало, а	конец, б					В зоне горения	Внутренней стороны керамики	Газовоздушная смесь
1	1,5	4,332	4,382	12	0,25	8900 (2125)	12 (10,6)	900	100	95

2. Тепловую нагрузку на горелку в кДж/час (ккал/час) определяют по формуле:

$$Q_{\Gamma} = V Q_{\text{н}}^{\text{с}} = 0,25 \cdot 35600 = 8900 \text{ кДж/ч (2125 ккал/ч)},$$

где $Q_{\text{н}}^{\text{с}}$ – теплота сгорания природного газа 35600 кДж/м³ (8500 ккал/м³).

3. Тепловое напряжение керамики Вт/см² (ккал/см²·час) при известной площади излучающей поверхности (F-горелки «Звездочка»-200 см²) по формуле:

$$P = \frac{Q_{\Gamma}}{F} = \frac{8900 \cdot 1,136}{200 \cdot 4,187} = 12 \text{ Вт/см}^2.$$

Построение графиков. Характер графического изображения результатов замера и их обработки показан на рис. 8 и 9.

Приборы: термопара, оптический пирометр.

Характеристика термопар, используемых в работе, показана в табл.6. движущей силы (т.э.д.с.) в результате нагрева спая двух электродов из различных сплавов. Величина т.э.д.с. зависит от материала электродов и температуры горячего и холодного спаев, называемых соответственно рабочим и свободным концом термопары.

Таблица 2

Тип	Обозначение градуировки	Материалы электродов	Пределы измерений при длительном применении, °С		Допустимый предел при кратковременном применении, °С
			от	до	
ТПП	ПП-1	Платинородий (10% родия)-платина	-20	1300	1600
ТХА	ХА	Хромель - алюмель	-50	1000	1300
ТХА	ХК	Хромель - копель	-50	600	800

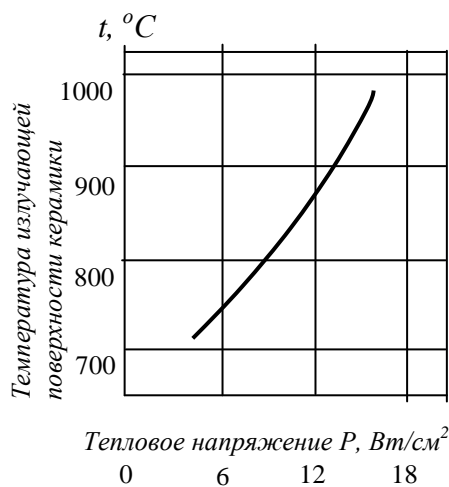


Рис.3. График температурного режима излучающей поверхности при изменении теплового напряжения горелки

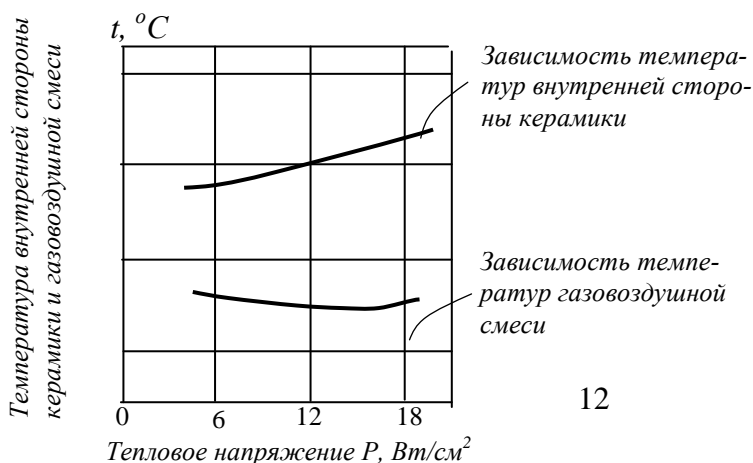


Рис.4 График зависимости температур керамики с внутренней стороны и газовоздушной смеси от изменения теплового напряжения горелки

Термопары работают в комплекте с пирометрическими милливольтметрами и потенциометрами. Рабочий конец термопары погружают в измеряемую среду, свободные концы подсоединяют ко вторичному прибору. В качестве вторичного прибора в работе используют пирометрический милливольтметр М-64 с профильной шкалой, с которого снимают показания со всех трех термопар, подсоединенных к милливольтметру через потенциометр.

Оптический пирометр типа «Проминь» (пирометр визуальный общепромышленный) принадлежит к числу пирометров с исчезающей нитью переменного накала. Конструктивно он выполнен в виде малогабаритного переносного прибора. Действие прибора основано на использовании зависимости температуры от спектральной энергетической яркости раскаленных тел. По мере возрастания температуры любого накаливаемого тела яркость его свечения увеличивается, а цвет изменяется. Последнее означает, что с изменением температуры процентное отношение лучей различных длин волн, испускаемых накаливаемым телом и определяющих цвет излучения изменяется.

Если сравнивать различных удельных мощностей излучения всегда в одних и тех же монохроматических (т.е. одноцветных) лучах одной и той же длины волн, то эти мощности будут зависеть от температуры накаливаемых тел.

Рассматриваемый метод измерения температуры накаливаемых тел сводится к измерению их монохроматической яркости.

Оптическая система пирометра позволяет рассматривать нить лампы на фоне изображения накаливаемого тела. Доводя яркость нити изменением тока накала до совпадения с яркостью накаливаемого тела, уравнивая монохроматические яркости, уравнивают и температуры. Следовательно, в пирометре использован принцип уравнивания яркости изображения тела с яркостью нити пирометрической лампы.

Момент достижения равенства монохроматических яркостей определяется на глаз с большой точностью, несколько человеческих глаз являются исключительно чувствительным нулевым индикатором контрастности излучения светящихся тел.

Достижению равенства яркостей, называемая фотометрическим равновесием воспринимаются наблюдателем как исчезновение нити лимб на фоне изображения тела. При достижении фотометрического равновесия отсчитывается яркостная температура объекта измерения. На рис.5 показаны упрощенные оптическая электрическая схема пирометра. Окулярная система прибора в целом служит для рассматривания в монохроматических лучах нити пирометрической

лампы на фоне изображения накаливаемого тела, температуру которого измеряют. Он состоит из следующих элементов:

1. Оптической системы, состоящей из объектива 8, аналитической лупы 3, окулярной диафрагмы 1 и красного светофильтра 2 позволяющего рассматривать в лучах определенного цвета нити лампы на фоне изображения раскаленного тела, и поглощающих стекло 6.

2. Пирометрической лампы 4 с нитью накаливания 5 включенной в электрическую схему последовательно с аккумулятором 12 и реостатом 11 для регулирования тока накала нити лампы и служащий эталоном измеряемой яркости температуры:

3. Электроизмерительного прибора 9, представляющего собой дифференциальный вольтметр магнита электрической системы. Шкала прибора градуируется в градусах яркостной температуры накаливаемого тела в град. С .

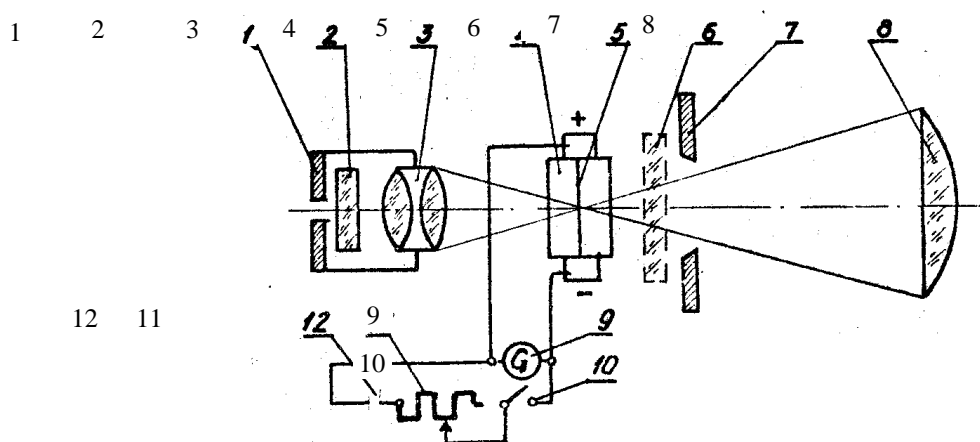


Рис. 5. Упрощенная оптическая и электрическая схемы пирометра «промень»: 1-окулярная диафрагма; 2-красный светофильтр; 3-аналитическая лупа; 4-пирометрическая лампа; 5-нить накаливания лампы; 6-поглощающее стекло; 7- диафрагма; 8-объектив 9-показывающий прибор; 10-выключатель; 11-реостат; 12-аккумулятор.

Контрольные вопросы

1. Чем характерна горелка инфракрасного излучения?
2. Какой метод горения обеспечивает эта горелка?
3. Какая температура развивается на поверхности керамики?
4. Почему горелки инфракрасного излучения иногда называют беспламенными?
5. В результате чего обеспечивается устойчивое горение, почему нет проскока и отрыва пламени?
6. Какая доля выделяющегося при сжигании газа тепла передается от раскаленной керамики излучением?

7. Как измеряются температуры внутренней стороны керамики и газовой смеси перед ней?
8. Каким прибором измеряют температуру раскаленной поверхности керамики?
9. Каков принцип работы оптического пирометра?
10. Как подсчитывается тепловое напряжение керамики – P , Вт /см² (ккал /см²)?

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Исследование горелки предварительного смещения газа с долей воздуха теоретически необходимого..... 3

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

Исследование работы горелки инфракрасного излучения 12