

Рис. 11.1. Зависимость испарительной способности однобаллонной установки от времени испарения.

где $F_{\text{ц}}$ — площадь поверхности цилиндрической части, м^2 ; $F_{\text{дн}}$ — площадь поверхности дна, м^2 ; $F_{\text{дн}} = \pi DL$ (здесь D — диаметр сосуда, м ; L — длина цилиндрической части сосуда, м).

Площадь поверхности эллиптического дна сосуда, м^2 , определяется как площадь поверхности эллипсоида вращения вокруг вертикальной оси по формуле $F_{\text{дн}} = \pi R \{R + (H^2/2c) \ln [(R + c)/(R - c)]\}$, где R — радиус сосуда, м ; H — высота дна, м ; $c = \sqrt{R^2 - H^2}$, м .

Регазификация в баллонах. В однобаллонной установке температура газа в баллоне незначительно отличается от температуры в помещении и не зависит от времени года. В двухбаллонных и групповых установках баллоны устанавливаются в специальных металлических ящиках вне помещения. Их испарительная способность зависит от температуры окружающей среды и от компонентного состава пропана и бутанов. На основании опытных данных Гипронгазом была разработана номограмма (рис. 11.1), прямые которой показывают испарительную способность однобаллонной установки в зависимости от температуры воздуха, окружающего баллон, и от продолжительности непрерывной работы. По номограмме можно определить испарительную способность баллонной установки в условиях непрерывного расхода паров пропана при температуре наружного воздуха от -18 до $+10$ °С. Оптимальная испарительная способность баллона вместимостью 50 л по данным указанной номограммы (рис. 11.1) в зависимости от изменения температуры наружного воздуха колеблется в пределах 0,436—0,22 $\text{м}^3/\text{ч}$ (или 0,9—0,45 $\text{кг}/\text{ч}$).

Испарительная способность баллонов вместимостью 45 л (100 л), заполненных пропаном или близкой к нему по составу смесью, может быть определена по табл. 11.1. Для определения максимальной испарительной способности баллонов других размеров и вместимости необходимо полученные по табл. 11.1 значения умножить на коэффициент K_6 , определяемый по формуле $K_6 = F_6/1,25$, где F_6 — полная площадь поверхности баллона, м^2 ; 1,25 — площадь поверхности баллона, м^2 , вместимостью 45 л. Для определения максимально возможного отбора пропана из баллонов вместимостью 5, 12, 27, 50 л (ГОСТ 15860—84) коэффициенты K_6 приведены в табл. 11.2.

Имеющиеся данные позволяют рекомендовать среднюю расчетную испарительную способность баллонов приведенных вместимостей при условии 20%-ного заполнения их и при температуре наружного воздуха 0 °С при наружной установке баллонов и $+20$ °С при установке их в помещении. Результаты подсчетов сведены в табл. 11.3. Рекомендуемые средние расчетные значения испарительной способности баллонов вместимостью 50 л подтверждаются имеющимся опытом эксплуатации газобаллонных установок.

Регазификация в надземных резервуарах. Технологически процесс регазификации в надземных резервуарах сжиженных газов происходит так же, как и в баллонной установке. В настоящее

Максимально возможный отбор пропана

Пропан, остающийся в баллоне, кг	Площадь теплопередаю- щей поверх- ности, м ²	Отбор пропана, кг						
		в совершенно сухом						
		-40	-34,5	-29	-23,4	-17,8	-12,3	-6,7
4,54	0,254	0,05	0,17	0,30	0,42	0,54	0,68	0,82
9,08	0,350	0,07	0,24	0,41	0,59	0,77	0,91	1,09
13,62	0,446	0,09	0,30	0,55	0,73	0,95	1,18	1,41
18,16	0,541	0,10	0,37	0,64	0,91	1,18	1,41	1,68
22,70	0,640	0,12	0,45	0,73	1,04	1,36	1,68	2,00
27,24	0,734	0,15	0,50	0,86	1,23	1,59	1,95	2,32
31,78	0,830	0,16	0,60	1,00	1,36	1,77	2,18	2,59
36,32	0,930	0,18	0,64	1,09	1,54	2,00	2,45	2,90
40,86	1,030	0,20	0,73	1,18	1,72	2,22	2,72	3,22
45,40	1,130	0,22	0,77	1,32	1,96	2,41	2,95	3,54

в баллоне вместимостью 45 кг (100 л)

при разной температуре, °С

спокойном воздухе

во влажном воздухе с точкой
росы 0 °С

-1,1	4,45	10	15,6	21,1	4,45	10	15,6	21,1
0,91	1,04	1,18	1,27	1,41	0,10	0,23	0,35	0,45
1,27	1,45	1,59	1,77	1,85	0,11	0,30	0,59	0,64
1,63	1,82	2,04	2,27	2,50	0,17	0,39	0,59	0,82
1,95	2,22	2,50	2,77	3,00	0,21	0,50	0,73	1,00
2,31	2,63	2,95	3,27	3,54	0,54	0,54	0,86	1,18
2,63	3,00	3,36	3,72	4,09	0,30	0,64	1,00	1,36
3,00	3,41	3,81	4,22	4,54	0,73	0,73	1,14	1,54
3,36	3,81	4,27	4,54	4,99	0,36	0,82	1,27	1,72
3,72	4,22	4,54	5,45	5,90	0,40	0,91	1,41	1,90
4,09	4,54	5,00	5,90	6,36	0,44	1,00	1,54	2,09

время для газоснабжения объектов коммунально-бытового назначения и сельскохозяйственного производства, а также сезонных потребителей (пионерских лагерей, летних пансионатов и др.) применяют надземные полуперемещаемые резервуары вместимостью 600, 1000, 1600 л, а также резервуары большей вместимости. Испарительная способность надземных резервуаров различной вместимости приведена в табл. 11.4—11.5.

Как видно из табл. 11.5, испарение сжиженных газов в значительной степени зависит от температуры наружного воздуха. Так, при изменении ее всего на 20°C , т. е. от $+5$ до -15°C , отбор паров пропана снижается при прочих равных условиях почти в 2,5 раза, а при изменении от $+15$ до -15°C или на 30°C — в 3—3,5 раза.

Уровень жидкой фазы в резервуаре перед очередной заправкой не должен быть ниже 25%. Испарительная способность надземной резервуарной установки должна определяться для каждого конкретного случая с учетом принимаемого минимального заполнения и минимальной температуры наружного воздуха.

ТАБЛИЦА 11.2

Переводные коэффициенты

Вместимость баллона, л	Общая площадь поверхности баллона, м ²	K_6
5	0,15	0,120
12	0,28	0,224
27	0,477	0,382
50	0,796	0,637

Регазификация в подземных резервуарах. Наиболее распространены в СССР при газоснабжении сжиженными газами подземные групповые резервуарные установки. В них используют естественное испарение жидкой фазы за счет теплоты окружающего грунта, причем в холодное время года резервуар получает постоянный поток теплоты из глубинных слоев грунта, а в летний период — от теплых поверхностных слоев грунтов.

На испарительную способность подземного резервуара влияют физико-термодинамические свойства компонентов сжиженных газов, температура окружающих резервуары грунтов, коэффициент теплопроводности грунтов, степень заполнения резервуара или площадь смоченной поверхности, длительность непрерывной работы (суточная, сменная, часовая). Расчетная испарительная способность подземного резервуара должна быть установлена для наихудших условий его работы: в зимний период, при самой

ТАБЛИЦА 11.3

Средняя расчетная испарительная способность баллонов, м³/ч

Вместимость баллона, л	При установке	
	на улице	в помещении
5	0,06	0,08
12	0,10	0,15
27	Не устанавливается	0,26
50	0,30	0,44

Испарительная способность, кг/ч, полупередвижные

Содержание пропана в сжиженных газах, %	Температура							
	Вместимость резервуара 600 л				Вместимость резервуара 1000 л			
	-30	-20	-10	0	10	20	-30	-20
0	—	—	—	—	0,7	2,3	—	—
10	—	—	—	—	1,4	3,0	—	—
20	—	—	—	0,3	2,0	3,7	—	—
30	—	—	—	1,1	2,7	4,3	—	—
40	—	—	0,2	1,8	3,4	5,0	—	—
50	—	—	0,9	2,6	4,0	5,6	—	—
60	—	—	1,7	3,2	4,8	6,3	—	—
70	—	0,7	2,4	4,0	5,4	7,0	—	2,5
80	—	1,5	3,3	4,7	6,1	7,6	—	2,5
90	0,5	2,2	4,0	5,4	6,8	8,2	0,8	3,6
100	1,2	2,9	4,7	6,1	7,5	9,0	1,9	4,7

резервуаров вместимостью 600, 1000, 1600 л

наружного воздуха, °С

резервуара 1000 л				Вместимость резервуара 1600 л					
-10	0	10	20	-30	-20	-10	0	10	20
—	—	1,1	3,5	—	—	—	—	1,5	4,7
—	—	2,3	4,7	—	—	—	—	3,0	6,4
—	0,5	3,4	5,9	—	—	—	1,0	4,6	8,0
—	1,7	4,6	7,0	—	—	—	2,8	6,3	9,3
—	2,8	5,6	8,2	—	—	0,4	4,3	7,8	11,4
0,3	4,0	6,8	9,3	—	—	1,9	5,9	9,4	13,2
1,4	5,0	8,0	10,6	—	—	3,8	7,5	11,1	14,8
2,8	7,3	10,2	13,0	—	3,5	7,3	10,8	14,3	16,5
5,3	7,3	10,2	13,0	—	3,5	7,3	10,8	14,3	18,2
5,3	7,3	10,2	13,0	—	3,5	7,3	10,8	14,3	18,2
6,4	8,6	11,5	14,2	1,1	5,0	8,9	12,4	15,8	19,8
7,5	9,6	12,5	15,1	2,7	6,6	10,4	14,0	17,5	21,8

низкой температуре грунта, при минимальном заполнении резервуара и при постоянном давлении в резервуаре. В зимних условиях при любой температуре промерзания грунтов в резервуарах должно быть такое избыточное давление, которое позволяло бы обеспечить нормальную подачу газа потребителю. Практикой установлено, что резервуар должен быть заполнен минимально на 30—50%. Кроме того, испарительная способность резервуара зависит также и от вида потребителей. Чаще всего резервуарные установки промышленных потребителей расходуют газ почти в постоянном объеме непрерывно. В этом случае определить испарительную способность резервуара не составит труда. При газоснабжении жилых домов и коммунально-бытовых потребителей газ расходуется с перерывами (в основном в дневные часы и с перерывами в ночные часы).

На основании физико-термодинамических свойств сжиженных газов и экспериментальных наблюдений за работой подземных резервуаров Гипронегазом была разработана номограмма (рис. 11.2), которая рекомендуется требованиями СНиП 2.04.08—87 в качестве нормативного материала. По этой номограмме можно определить испарительную способность одного подземного резервуара. Испарительная способность групповой подземной резервуарной установки будет меньше, чем одного резервуара, так как в этом случае происходит экранирование теплового потока и поступление теплоты от окружающего грунта к резервуарам уменьшается. Испарительная способность группы резервуаров не равна сумме испарительной способности такого же числа отдельно стоящих резервуаров. При групповом размещении подземных резервуаров с разрывами между ними в частоте 1 м

полученную по номограмме испарительную способность следует умножать на коэффициент теплового взаимодействия m :

Число резервуаров в установке	Коэффициент теплового взаимодействия m
2	0,93
3	0,84
4	0,74
6	0,67
8	0,64

ТАБЛИЦА 11.5

Испарительная способность, кг/ч, наждаемых резервуаров вместимостью 25, 50, 100 м³ (по пропану)

Степень наполнения (смачиваемая площадь поверхности, м ²)	Температура наружного воздуха, °С					
	-15	-5	5	15	25	35
Вместимость резервуара 25 м ³						
0,25 (19,2)	25,0	45,0	63,8	82,5	101,2	185,0
0,50 (27,2)	35,0	62,5	95,0	117,5	145,0	175,0
0,75 (35,2)	50,0	82,5	120,0	153,7	187,5	22,5
Вместимость резервуара 50 м ³						
0,25 (31,0)	43,7	71,8	106,2	137,5	168,5	200,0
0,50 (44,0)	65,6	105,0	150,0	192,3	236,2	280,0
0,75 (57,0)	78,8	135,0	171,0	250,0	309,4	365,6
Вместимость резервуара 100 м ³						
0,25 (55,5)	70,0	130,0	185,0	240,0	305,0	355,0
0,50 (78,0)	105,0	180,0	262,5	337,5	412,5	495,0
0,75 (100,5)	140,0	230,0	340,0	430,0	540,0	640,0

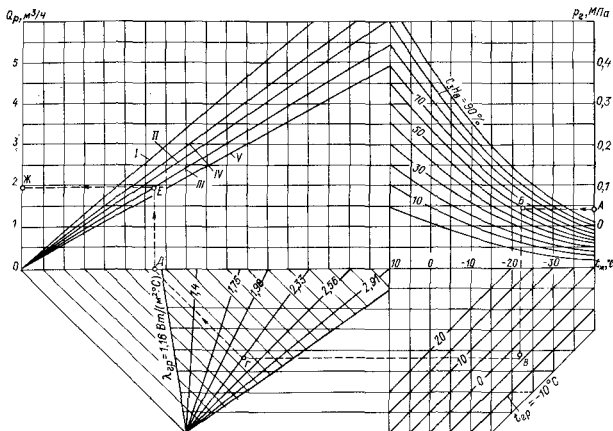


Рис. 11.2. Номограмма для определения испарительной способности резервуара сжиженного газа вместимостью 2,5 и 5 м³ (подземного).

Кривая	Вместимость резервуара, м³	Степень заполнения резервуара, %
I	5	85
II	5	50
III	5; 2,5	35; 60
IV	2,5	85
V	2,5	35

Пример. Дано давление газа $p_r = 0,04$ МПа; содержание пропана C_2H_6 , 60%; температура грунта $t_{гр} = 3$ °С; теплопроводность грунта $\lambda_{гр} \approx 2,3$ Вт/(м·°С), степень заполнения резервуара 35%. Находим производительность резервуара $Q_p = 2$ м³/ч по линии АБВГДЕЖ.

Если принять расстояние в свету между резервуарами 2 м вместо 1 м, то испарительная способность группы резервуаров увеличивается на 32%.

В заключение следует указать, что длительный опыт эксплуатации позволяет для ускорения принятия требуемых проектных решений установить следующую среднюю расчетную испарительную способность: для резервуаров вместимостью 2,5 м³ — 4,5; резервуаров 5,0 м³ — 9,0 м³/ч. Таким образом, зная среднюю расчетную испарительную способность, можно легко определить необходимое число резервуаров, разделив часовую потребность в газе на среднюю расчетную испарительную способность одного резервуара с учетом также коэффициента m .

11.3. ИСКУССТВЕННАЯ РЕГАЗИФИКАЦИЯ. ИСПАРИТЕЛИ

В связи со значительным ростом производства бутановых фракций, расширением объема газификации городов, поселков и сельских районов на базе монтажа резервуарных установок особую актуальность приобретают вопросы применения испарителей для искусственного испарения сжиженных газов, что позволит резко увеличить испарительную способность групповых резервуарных установок, уменьшить капитало- и металлозатраты на 1 т используемого газа, обеспечить получение газа с постоянной теплотой сгорания, облегчить производство и хранение сжиженных газов на заводах-поставщиках. Испарительная способность установок с искусственным испарением может быть увеличена в 3—5 раз по сравнению с установками естественного испарения сжиженного газа.

В летнее время, когда расход газа уменьшается, групповые резервуарные установки с искусственным испарением могут работать с подачей в испарители воды или по схеме установок с естественным испарением, для чего паровое пространство резервуарохранилищ должно быть соединено с расходным газопроводом. Покрытие пиковых неравномерностей газоснабжения, особенно в городах, газифицированных на базе искусственных газов, имеет важное народнохозяйственное значение, так как от правильного решения этого вопроса зависит экономичность системы газоснабжения, эффективность использования мощностей заводов и промыслов, бесперебойность газоснабжения потребителей. Важное значение имеет способ покрытия сезонной и суточной неравномерности газоиспользования за счет подачи в распределительные сети смеси паров сжиженного газа с воздухом или другими газами. Этот метод может иметь и самостоятельное значение при газификации небольших городов, рабочих поселков и промышленных предприятий.

Испарители сжиженного газа выгодно применять:

- в промышленных и коммунально-бытовых установках неразбавленного газа;
- в установках по смешению паров сжиженных газов с воздухом или другими газами для регазификации пропана, бутанов или их смесей;
- на станциях приема, хранения и распределения сжиженных газов в качестве аппарата, обеспечивающего перемещение жидкостных и паровых потоков на ГНС.

При использовании паров сжиженных газов в неразбавленном виде и во избежание их конденсации эти испарители следует снабжать пароперегревателями. Для широкого внедрения установок с искусственным испарением необходимо автоматизировать их работу по заданному режиму без постоянного обслуживающего персонала.

Внедряемые в настоящее время групповые резервуарные установки с искусственным испарением обладают следующими основными преимуществами (по сравнению с резервуарными установками естественного испарения):

— испарительная способность установки не зависит от количества жидкости в резервуарах и может сохраняться на любом заданном уровне;

— теплота сгорания паровой фазы остается неизменной вплоть до полного расходования всего объема жидкой фазы в резервуарах;

— большая экономичность и надежность для постоянства газоснабжения, обусловленные отсутствием надобности извлекать тяжелые остатки;

— испарительная способность их может быть значительно увеличена при сравнительно небольшом объеме расходных резервуаров;

— возможность использования в них бутановых фракций или сжиженных газов с повышенным содержанием бутанов (до 60%).

Вместе с тем эти установки имеют следующие недостатки:

— необходимость оборудования регулирующей, предохранительной и контрольно-измерительной аппаратурой, исключающей замерзание используемой в качестве теплоносителя жидкости; выход жидкой фазы из испарительной установки в газопровод паровой фазы; увеличение давления газа и жидкой фазы выше принятого для расходных резервуаров;

— сложность обслуживания и необходимость постоянного надзора за их работой.

Несмотря на очевидные преимущества, установки с искусственным испарением сжиженных газов до настоящего времени не нашли широкого распространения. В нашей стране до сих пор наиболее применимы благодаря простоте устройства и обслуживания, а также возможности обеспечения потребителей в зимний период сжиженным газом с высоким содержанием пропана установки с естественным испарением.

В основу классификации испарителей положены особенности конструкций теплопередающих поверхностей и вид теплоносителя. Испарители можно разделить на два основных вида — прямого и непрямого подогрева.

К испарителям прямого подогрева относятся аппараты, в которых сжиженный газ получает теплоту через стенку непосредственно от горячего теплоносителя. В настоящей главе рассматриваются змеевиковые, трубчатые оросительные и огневые испарители.

К испарителям непрямого подогрева относятся аппараты, в которых сжиженный газ получает теплоту через стенку от промежуточного газа или жидкости, обогреваемых горячим теплоносителем. Это — огневой испаритель с водяной ванной, в котором промежуточным теплоносителем служат азот или гелий, и элев-

трический испаритель, в котором промежуточным теплоносителем является азот.

Кроме того, существующие в настоящее время испарители могут быть классифицированы по следующим основным признакам:

— по применяемой схеме регазификации (емкостные, проточные, комбинированные);

— по виду контакта теплоносителя со сжиженным газом (электрические, огневые, водяные, паровые, масляные);

— по виду контакта сжиженного газа с поверхностью нагрева (с кипением сжиженных газов, с кипением в трубах при вынужденной циркуляции и оросительные — пленочные и форсуночные);

— по испарительной способности (малые, средние, большие).

Проведенные Гипронигазом работы позволили получить параметрический ряд из шести членов: 25, 50, 100, 200, 400, 800 кг/ч. В настоящей главе будут рассмотрены только испарители малой и средней испарительной способности, так как они наиболее пригодны для газоснабжения жилых кварталов и большинства коммунально-бытовых объектов.

Емкостные испарители. Это, в первую очередь, подземные групповые резервуарные установки с естественным испарением сжиженных газов, а также групповые резервуарные установки в подземных отапливаемых камерах, которые состоят из подземных резервуаров вместимостью 2,5 и 5,0 м³, установленных в камеру глубиной около 2 и шириной 6 м. Длина камеры зависит от числа и размеров резервуаров с установкой требуемого числа отопительных приборов.

Процесс регазификации сжиженных газов в подземных резервуарах, устанавливаемых в отапливаемых камерах, происходит следующим образом: от отопительных нагревательных приборов теплота от нагретого ими воздуха через поверхность резервуаров поступает к сжиженному газу. За счет этой теплоты происходит испарение сжиженного газа в резервуарах, откуда паровая фаза отводится через регулятор давления к потребителю. Преимущество групповых установок с естественным испарением заключается в обеспечении постоянной испарительной способности, не зависящей от климатических условий и режима эксплуатации. Однако кроме недостатков, присущих групповым резервуарным установкам с естественным испарением, они обладают рядом других: значительно большими капитальными затратами на их сооружение, большими эксплуатационными расходами, необходимостью в двух видах внешних источников энергии: тепловой и электрической. Им присущи значительные потери теплоты в окружающую среду: 300—350% от полезной теплоты, затраченной на испарение газа. Во избежание конденсатообразования в подземных газопроводах их следует прокладывать на глубине с положительной температурой грунта или параллельно с тепловым спутником. К недостаткам емкостных испарителей следует также отнести

определенную пожароопасность в случае перерыва в работе системы автоматики регулирования температуры в отапливаемой камере или системы вентиляции, в связи с чем указанный способ регазификации не был допущен органами Главного управления пожарной охраны (ГУПО) МВД СССР для включения в типовые проекты.

Регазификаторы электрические подвешенные РЭП-2,5 и РЭП-2,5А, разработанные Гипронефтегазом, состоят из резервуара вместимостью 2,5 м³, трубчатого электронагревателя и электрооборудования с автоматикой безопасности (взрывозащищенная коробка, температурное реле, электроконтактный манометр и электрошкаф с пусковой и регулирующей аппаратурой). Взрывозащищенная коробка с электронагревателем ТЭН-12 и температурным реле ТР-200 установлены на специальном патрубке, сваренном в глухой фланец подземного резервуара. Автоматика безопасности (кроме электрошкафа) со взрывозащищенной коробкой закрыта кожухом. Электронагреватель может быть установлен на резервуаре объемом 5,0 м³ (в этом случае он должен быть равен размерам резервуара). Однако при заказе следует указывать, для каких резервуаров они предназначены. Испарение сжиженного газа происходит за счет теплоты, выделяемой электронагревателем, помещенным внутрь резервуара и в жидкую фазу газа. При изменении отбора газа от нуля до максимума давление в резервуаре автоматически регулируется электроконтактным манометром, который через промежуточное реле замыкает цепь электронагревателя, включает его при достижении нижнего заданного предела в резервуаре (0,05 МПа) и выключает при достижении верхнего заданного предела давления (0,15—0,3 МПа). Если электроконтактный манометр по каким-либо причинам не отключит электронагреватель при заданном верхнем пределе давления, то температурное реле ТР-200 отключит его при температуре газа в резервуаре +25 °С.

Электрический регазификатор РЭП-2,5А конструктивно не отличается от РЭП-2,5. В нем лишь вместо МП4-IV установлен манометр ЭКМ-IV (в обычном исполнении) вне взрывоопасной зоны в электрошкафу с пусковой и регулирующей аппаратурой, кроме того, сигнальная лампа стоит не с реле максимального тока, а с амперметром.

Техническая характеристика регазификаторов РЭП-2,5

Геометрический объем резервуара, м ³	2,5
Номинальная испарительная способность, м ³ /ч:	
по бутану	10
по пропану	15
Температура рабочая, °С	—30 ÷ +25
Ток потребляемый	Переменный
Номинальное напряжение, В	220
Мощность электронагревателя ТЭН-12, кВт	5

Установки с электрическими регазификаторами допускается предусматривать только для газоснабжения жилого фонда в случае отсутствия централизованных источников теплоснабжения и при согласовании с районными энергетическими управлениями Минэнерго СССР.

Положительными сторонами указанного регазификатора (по сравнению с выносными испарителями) являются меньший объем монтажных работ; меньшее число контрольно-измерительных приборов, а также отсутствие необходимости в автоматической защите расходных трубопроводов от попадания в них жидкой фазы. Основные недостатки этих регазификаторов — фракционный характер испарения смеси сжиженных газов, присущий обычным групповым резервуарным установкам с естественным испарением; сравнительно низкая единичная испарительная способность по паровой фазе (10—15 м³/ч); потребность в дополнительном резервуаре с глухим фланцем для монтажа регазификатора при наличии только двух резервуаров или необходимости обеспечения большей суммарной испарительной способности установки за счет оснащения ее несколькими регазификаторами; большой удельный расход металла (150—200 кг на 1 м³/ч). Кроме того, они обладают низкой надежностью из-за частого перегорания электронагревателей, что происходит не только при снижении уровня жидкой фазы в резервуаре и оголении ТЭН, но и при продолжительной работе с максимальной нагрузкой за счет явления теплового гистерезиса, т. е. частой смены пузырькового и пленочного режимов кипения на поверхности нагрева, характерной для электронагрева при кипении, что приводит к разрушению электронагревателя, необходимости освобождения резервуара от сжиженного газа для его замены. Для предотвращения конденсатообразования газопроводы к потребителям необходимо прокладывать ниже глубины промерзания грунта с устройством тепловых спутников или обогреваемых конденсатосборников.

Проточные испарители сжиженных газов. Моногазопроектирована конструкция малогабаритного (вместительного) испарителя с расчетной испарительной способностью 100 кг/ч, в температурой теплоносителя 80 °С и массой 97,8 кг (рис. 11.3). Он представляет собой цилиндрический вертикальный сосуд, внутри которого смонтированы вместилище из труб диаметром 27×3 мм и подлавок с выходным клапаном. В днище испарителя имеется трубка с накидной гайкой для входа сжиженных газов. Крышка испарителя крепится к корпусу при помощи фланца и снабжена клапаном для выхода паров сжиженных газов и плавким предохранителем для предотвращения взрыва испарителя в случае пожара.

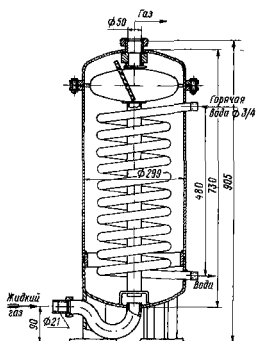


Рис. 11.3. Малогабаритный испаритель сжиженных газов.

Сжиженный газ из подземного резервуара поступает в испаритель через нижний входной патрубок, заполняя корпус испарителя. От соприкосновения со змеевиком, по которому циркулирует горячая вода температурой до 80 °С, сжиженный газ интенсивно испаряется, и пары через выходной патрубок поступают к потребителю. При увеличении расхода газа давление его паров в испарителе повысится, газ зальет большее число витков змеевика, и его испарение будет происходить более интенсивно. Следовательно, испарительная способность испарителя возрастает. В случае резкого увеличения расхода газа (выше расчетного) сжиженный газ, продолжая заполнять испаритель, поднимает поплавков, который

включает клапан выходного патрубка и предохранит систему от заполнения ее жидкой фазой. После этого давление паров сжиженного газа в испарителе возрастет, сжиженный газ из испарителя стечет в подземный резервуар и оголит змеевик. Таким образом, давление паров сжиженного газа в испарителе в любом случае не может быть выше давления паров газа в подземном резервуаре. При снижении уровня сжиженного газа в испарителе поплавок опустится вниз, а выходной клапан под давлением паров газа останется в закрытом положении.

Преимуществами малогабаритного змеевикового испарителя являются простота конструкции; отсутствие сложной автоматики для регулирования процесса испарения; автоматическое

ТАБЛИЦА 11.6

Вертикальные кожухотрубные испарители с плавающей головкой (рабочее давление 1,6 МПа; теплоноситель — насыщенный пар под давлением 1,0 МПа или горячая вода с температурой 80 °С)

Испарительная способность, кг/ч	Размеры, мм			Трубки теплообменника		Масса, кг
	D	H ₁	H ₂	Наружный диаметр, мм	Число	
100	400	335	490	22	23	171,8
200	460	310	663	22	42	238,3
300	400	680	795	25	64	631,0

саморегулирование испарительной способности от нуля до максимальной при изменении газопотребления; низкий удельный расход металла (2,0 кг на 1 м³/ч). К недостаткам этого испарителя можно отнести полное прекращение газоснабжения потребителей при превышении расчетной испарительной способности при кратковременном прекращении подачи теплоносителя; необходимость в устройстве специального помещения для размещения испарителя и узла регулирования давления; возможность замерзания воды в змеевике при малой скорости циркуляции; возможность разрыва труб в случае их изготовления из сварной трубы и прорыва газа в систему отопления, что может в свою очередь привести к аварии.

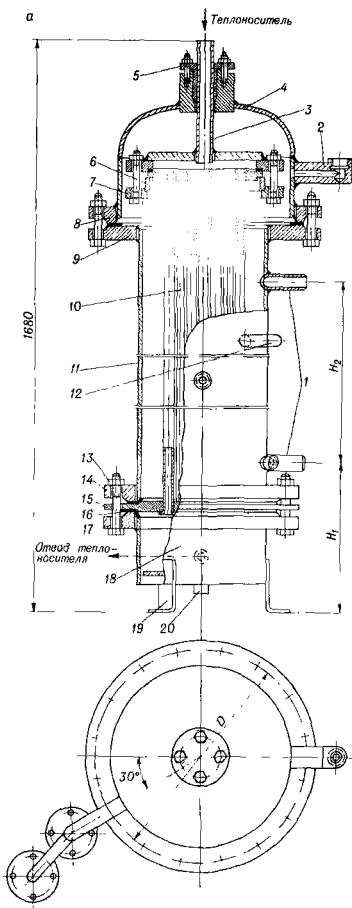
Ленгипроинжпроект разработал вертикальные кожухотрубные испарители с плавающей головкой и испарители с нижними трубными решетками испарительной способностью 100, 200 и 400 кг/ч (табл. 11.6).

Средняя цилиндрическая часть 11 кожухотрубного испарителя с плавающей головкой (рис. 11.4, а) снабжена фланцами 9 и 14. Между фланцем 14 и фланцем 17 основания испарителя 18 крепится трубная решетка 15, в которую ввальцованы трубы теплообменного пучка 10. Крепление и уплотнение указанных фланцев обеспечено с помощью соответствующих болтов 13 и паронитовых прокладок 16. К основанию испарителя прикреплены лапы-опоры 19, а в его днище устроен дренаж 20. В корпус испарителя вварены патрубок 1 для подсоединения регуляторов уровня и патрубок 12 для подвода сжиженного газа в испаритель. Верхняя часть трубного пучка 10 оканчивается плавающей головкой, трубная решетка которой с помощью болтов, фланца 7 и кольца 6 прижата к фланцу этой головки. Свободная головка трубного пучка прикрыта крышкой 4, которая своим фланцем 8 крепится к фланцу 9 корпуса. Теплоноситель подводится в камеру, расположенную над верхней трубной решеткой, по трубе 3, уплотненной в крышке испарителя специальной набивкой и грундрубкой 5. Сбоку крышки 4 вварен штуцер 2, через который отводятся пары сжиженного газа на использование.

Кожухотрубные испарители с нижними трубными решетками (рис. 11.4, б) имеют тот же принцип работы, что и испарители с плавающей головкой, но в отличие от последних более просты в изготовлении, так как в них теплообменные трубы имеют только нижнюю решетку, а верхние концы теплообменных труб плотно заварены.

Испаритель с обвязкой и арматурой устанавливается на крышке горловины расходного резервуара и защищается от атмосферных осадков металлическим кожухом, что исключает необходимость в строительстве специального помещения.

Преимуществами указанных испарителей являются автоматическое саморегулирование испарительной способности; большая единичная испарительная способность по паровой фазе; обеспече-



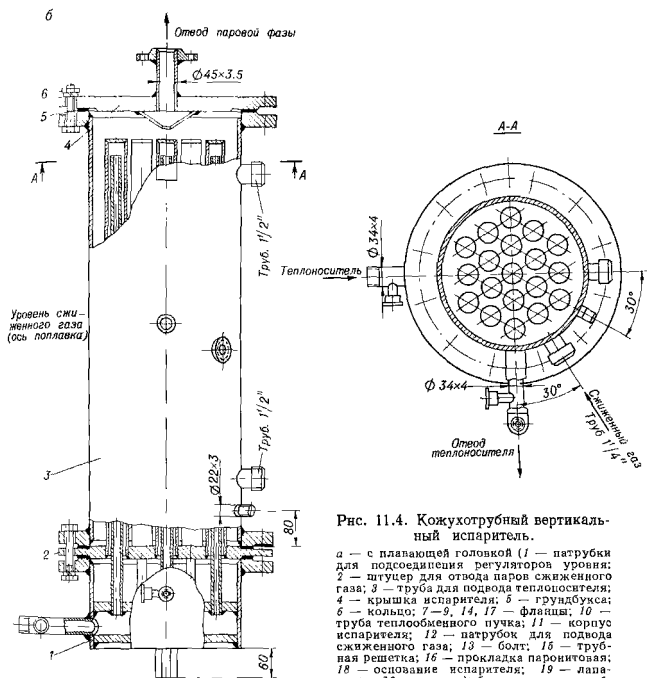


Рис. 11.4. Кожухотрубный вертикальный испаритель.

а — с плавающей головкой (1 — патрубки для подсоединения регуляторов уровня; 2 — штуцер для отвода паров сжиженного газа; 3 — труба для подвода теплоносителя; 4 — крышка испарителя; 5 — грундбукса; 6 — кольцо; 7—9, 14, 17 — фланцы; 10 — труба теплообменного пучка; 11 — корпус испарителя; 12 — патрубок для подвода сжиженного газа; 13 — болт; 16 — трубная решетка; 16 — прокладка паронитовая; 18 — основание испарителя; 19 — лапачопора; 20 — дренаж); б — с нижними трубными решетками (1 — основание испарителя; 2 — трубная решетка; 3 — корпус испарителя; 4 — крышка испарителя; 5 — прокладка паронитовая; 6 — крепление крышки; 7 — колпак).

ние подогрева паров сжиженного газа, что снижает вероятность конденсатообразования в подземных газопроводах при использовании сжиженного газа с повышенным содержанием бутанов.

К недостаткам их следует отнести сложность изготовления и обеспечения надлежащей плотности межтрубного пространства; необходимость в большом количестве дефицитной стальной арматуры и КИП; сложность обслуживания в естественных условиях; необходимость в тепловой изоляции при наружной установке; возможность разрушения теплообменных труб в результате замерзания в них воды в зимний период и опасность проникновения

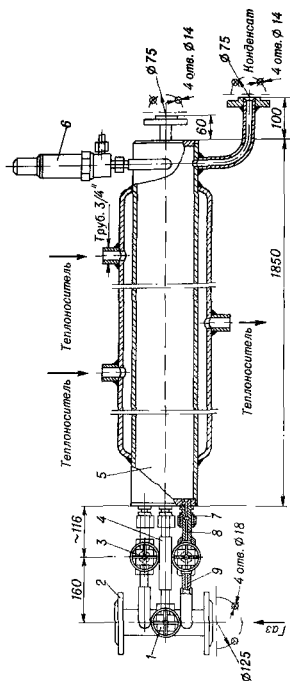
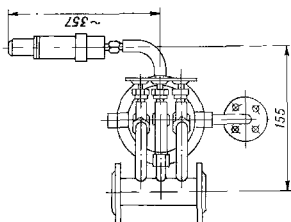


Рис. 11.5. Форсуночный испаритель испарительной способностью 200 кг/ч.

1 — вентиль запорный угловой цапковый; 2 — фланец цапковый; 3 — вентиль запорный цапковый; 4 — трубка соединительная; 6 — камера испарительная; 6 — клапан предохранительный; 7 — форсунка; 8 — ниппель соединительный; 9 — прокладка паровитая.



сжиженного газа в теплотрусу или котельную, что может привести к тяжелым последствиям.

Пленочные испарители. К ним относятся горизонтальные испарители, тонкая пленка испаряемого продукта в которых создается путем его разбрызгивания на поверхность теплообмена с помощью форсунок, и вертикальные испарители, в которых испаряемый продукт тонкой пленкой распределяется с помощью специальных оросительных устройств. Рассматриваемые испарители характеризуются значительно большим коэффициентом теплопередачи [в среднем 464,0—498,8 Вт/(м²·°C)] по сравнению с трубчатыми [243,6—278 Вт/(м²·°C)]. В связи с этим пленочные испарители менее металлоемки и более компактны.

Форсуночный испаритель (рис. 11.5), разработанный Мосгазвипроектом, представляет собой теплообменный аппарат «труба в трубе». Во внутренней трубе в камере 5 идет интенсивное испарение сжиженного газа, куда он подается в распыленном состоянии. Для этой цели сжиженный газ подводится и разбрызгивается тремя форсунками 7: крайними диаметром по 25 мм и средней (центральной) диаметром 6 мм. Для управления форсунками установлены запорные угловые вентили. В целях поддержания более равномерной температуры по длине испарителя теплоноситель (горячая вода, водяной пар) подается в две точки, а конденсат или охлажденная вода отводится из одной точки. Для защиты испарителя при повышении давления сверх допустимого со стороны выхода испарившегося сжиженного газа устанавливается предохранительный клапан 6.

Испаритель, рассчитанный на давление 1,6 МПа, имеет испарительную способность 200 кг/ч. При необходимости несколько испарителей фланцем 2 можно присоединять к коллектору, и тогда установка будет иметь испарительную способность 400, 600, 800 или 1000 кг/ч, т. е. к одному коллектору можно присоединять два-четыре и даже пять испарителей описанного вида.

Преимуществами форсуночных испарителей (перед другими типами испарителей) являются простота конструкции; удобство обслуживания и регулирования испарительной способности; малая масса и небольшие размеры. Расход металла на единицу испарительной способности 5—10 кг на 1 м³/ч по паровой фазе. К недостаткам этих испарителей относятся отсутствие естественной автоматизации процесса испарения, которой обладают змеевиковые и трубчатые испарители, что может вызвать скачки давления при газоснабжении потребителей, имеющих неравномерный расход газа; прекращение пленочного режима испарения в зимний период, когда давление в расходных резервуарах (особенно при большом содержании бутанов в сжиженном газе) мало, что может привести к падению испарительной способности испарителей и нарушению нормального газоснабжения потребителей.

Таким образом, форсуночные испарители могут быть рекомендованы в основном для газоснабжения промышленных потребителей с равномерным отбором газа.

Вертикальный пленочный испаритель (рис. 11.6) с площадью поверхности нагрева около 0,3 м² и средней испарительной способностью 100 кг/ч разработан МИНГ им. И. М. Губкина. Корпус 1 испарителя изготовлен из трубы с внутренним диаметром 125 мм и толщиной стенки 8 мм. По всей длине (750 мм) корпус обогревается горячей водой или паром, протекающим через рубашку 2 испарителя, изготовленную из трубы с внутренним диаметром 200 мм и толщиной стенки 5 мм. Сжиженный газ поступает на испарение по вертикальной трубе 9, на которой закреплены каплеотбойники 8. Из трубы сжиженный газ попадает в специальный ороситель 7, где распределяется

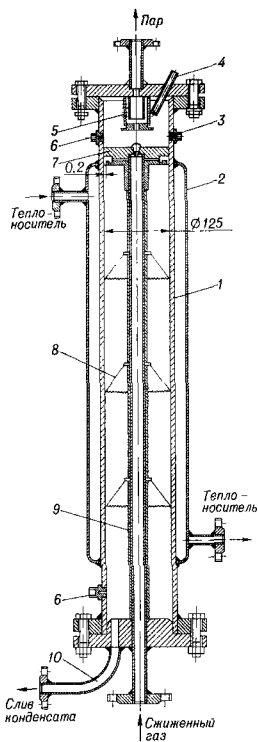


Рис. 11.6. Вертикальный пленочный испаритель с испарительной способностью 100 кг/ч.

тонкой пленкой и стекает вниз по внутренней стенке корпуса испарителя. Образовавшиеся пары свободно проходят через отверстия в каплеотбойниках и оросителе и скапливаются в верхней камере испарителя, откуда, пройдя сепаратор 5, отводятся к потребителю. Неиспарившийся продукт сливается через трубу 10, приваренную к нижнему днущу испарителя. Указатель уровня крепится к штуцерам 6, а манометр и предохранительный клапан прикрепляются к штуцеру 3. В крышку испарителя вмонтирован патрон 4 для термометра.

Вертикальный пленочный испаритель характеризуется большим коэффициентом теплопередачи, благодаря чему он обладает меньшими габаритными размерами при той же испарительной способности. Кроме того, положительными качествами этого испарителя являются отсутствие большого количества сжиженного газа в корпусе испарителя, благодаря чему он быстро выходит на рабочий режим; безопасность в работе, так как в нем не замерзает конденсат на выходе из паровой рубашки. К недостаткам вертикального пленочного испарителя следует отнести большую высоту, вызывающую значительные неудобства при установке и обслуживании, а также то, что испаритель может

использоваться только в специальном помещении, оборудованном отоплением и приточно-вытяжной вентиляцией.

Существенным недостатком всех испарителей, работающих на горячей воде или водяном паре, является их зависимость от внешних источников теплоты (котельных и тепловых сетей), которые в летний период, как правило, не функционируют. Это

обстоятельство создает трудности в организации нормального газоснабжения жилых массивов и приводит к необходимости применения электрических испарителей.

Электрические испарители. На рис. 11.7 показан малогабаритный испаритель типа ИМЭ-10М, разработанный

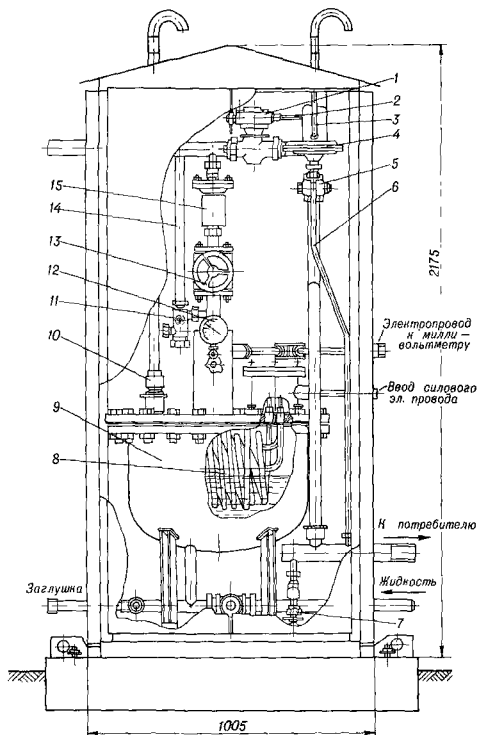


Рис. 11.7. Схема резервуарной установки с испарителем ИМЭ-10М.

1 — клапан-отсекатель предохранительный; 2, 6 — трубки импульсные; 3, 14 — спечи; 4 — регулятор давления; 5 — край запорный; 7 — вентиль запорный; 8 — электроннагреватель; 9 — корпус; 10 — клапан предохранительный; 11 — кнопка разгрузки; 12 — манометр; 13 — вентиль расходный; 15 — клапан-отсекатель.

ный Гипронигазом. Конструктивно он представляет собой стальной корпус, установленный в шкафу. Внутри корпуса находится электронагреватель. Газ из расходного резервуара под давлением собственных паров в виде жидкой фазы поступает по трубопроводу в корпус испарителя. Заполняя корпус испарителя и соприкасаясь с электронагревателем, жидкая фаза газа интенсивно испаряется. Образовавшийся пар через регулятор давления по расходному трубопроводу направляется потребителю. При прекращении отбора газа жидкая фаза из испарителя вытесняется назад в резервуар через подводящий трубопровод (вследствие повышения давления в испарителе).

Электронагреватель испарителя подключается кабелем к электросети через шкаф, оснащенный автоматикой. Автоматический контроль за работой электронагревателя осуществляется милливольтметром по температуре паровой фазы на выходе из испарителя не более 70 °С. Милливольтметр работоспособен при положительной температуре окружающего воздуха и, следовательно, его необходимо устанавливать в отапливаемых помещениях. Питание регулирующего устройства милливольтметра осуществляется от сети переменного тока через электрический шкаф испарителя, который размещается на территории резервуарной установки. При отключении электроэнергии или отборе газа, превышающем допустимую испарительную способность испарителя (30 кг/ч), уровень жидкой фазы газа в испарителе будет подниматься, а клапан-отсекатель, установленный в обвязке испарителя, прекратит подачу газа, что предотвратит попадание жидкой фазы к потребителю. Открывается клапан только вручную: нажатием кнопки на байпасной линии газопровода. В случае отключения электроэнергии или срабатывания клапана-отсекателя для бесперебойного снабжения потребителя газом следует в технологической схеме резервуарной установки предусматривать автоматическое переключение естественного испарения. С этой целью регулятор давления газа на головке подземного резервуара должен настраиваться на давление 2500 Па, а регулятор давления газа в обвязке испарителя — на давление 3600 Па.

Техническая характеристика испарителя ИМЭ-10М

Испарительная способность, кг/ч:	
по бутану	20
по пропану	30
Избыточное рабочее давление, МПа	1
Номинальное напряжение, В	220
Мощность электронагревателя, кВт	5
Исполнение электронагревателя	Взрывозащищенное
Масса, кг	550

Преимуществами испарителя типа ИМЭ-10М (перед электрическим испарителем типа РЭП) являются отсутствие фракционного испарения смеси углеводородных газов, что делает его при-

годным для испарения газа с повышенным содержанием бутанов, и наличие развитой поверхности нагрева, повышающей надежность работы электронагревателя. К недостаткам этого испарителя следует отнести малую единичную испарительную способность по паровой фазе (всего 24—30 кг/ч), сложность в установке автоматики регулирования температурного режима, а также необходимость в устройстве параллельного узла регулирования давления газа.

Гипронегазом совместно с Саратовским политехническим институтом разработан надземный электрический испаритель с промежуточным теплоносителем типа ИЭПТ-10. Этот испаритель по номинальной испарительной способности соответствует испарителям типа РЭП, но свободен от всех перечисленных выше недостатков последних. Испаритель ИЭПТ-10 (рис. 11.8) только по двум таким показателям, как надежность работы термоэлектронагревателя (применяется без доработки и всегда погружен в жидкость) и оперативность монтажа на групповой установке (необходимость присоединения только трубы подачи жидкой фазы испарителя к трубке 10 на головке управления подземного резервуара), имеет бесспорные

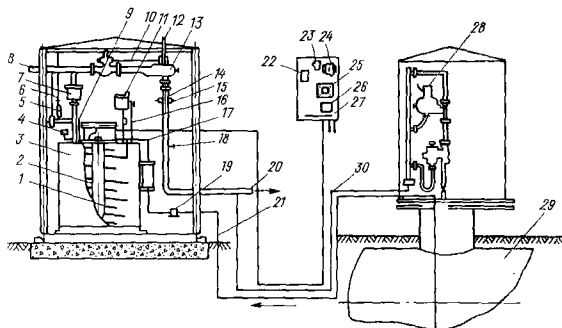


Рис. 11.8. Принципиальная схема и обвязка электрического испарителя ИЭПТ-10 с промежуточным теплоносителем.

1 — амевик испарительный; 2 — электронагреватель ТЭН; 3 — сосуд с промежуточным теплоносителем; 4 — манометр; 5 — клапан предохранительный сбросной; 6 — свеча; 7 — поплавковый клапан-отсекатель; 8 — трубопровод обвязки двух испарителей по паровой фазе высокого давления; 9 — термометр контрольный; 10 — импульсная трубка; 11 — расширительный бачок; 12 — клапан-отсекатель ЛЕН4-О/А; 13 — регуляторы давления газа типа РД-32М; 14 — импульсная трубка; 15 — край газовый низкого давления; 16 — трубка для залива промежуточного теплоносителя; 17 — температурное реле; 18 — кран; 19 — фильтр; 20 — трубопровод паровой фазы; 21 — то же, жидкой фазы; 22 — магнитный пускатель; 23 — промежуточное реле; 24 — переключатель; 25 — предохранитель; 26 — амперметр; 27 — электрошкаф; 28 — регулятор давления газа РД-32М; 29 — подземный расходный резервуар; 30 — трубопровод байпасный паровой фазы низкого давления.

преимущества по сравнению с ранее разработанными испарителями типа РЭП.

Конструктивная схема ИЭПТ-10 состоит из следующих основных узлов и коммуникаций: сосуда 3, заполненного промежуточным теплоносителем; электронагревателя 2 с концами, выведенными во взрывозащищенную коробку; испарительного змеевика 1, выполненного из бесшовной трубы размером $22 \times 3,5$; подводящего трубопровода жидкой фазы 21 и трубопровода паровой фазы низкого давления 20; температурного реле 17 и электрошкафа 27. Жидкая фаза газа под давлением собственных паров поступает по трубопроводу 21 из расходного подземного резервуара 29 в испарительный змеевик, где испаряется за счет теплоты, получаемой от электронагревателя 2 через промежуточный теплоноситель. Температура промежуточного теплоносителя, определяющая испарительную способность испарителя, контролируется автоматически температурным реле 17 типа ТУДЭ и устанавливается специальным регулирующим винтом на головке реле. Паровая фаза газа через поплавковый клапан-отсекатель 7 (предназначенный для защиты потребителя от попадания жидкой фазы) и регулятор давления газа 13 направляется к потребителю по газопроводу 20.

Для обеспечения бесперебойного снабжения газом потребителя в случае срабатывания клапана-отсекателя или временного отключения электроэнергии технологической схемой обвязки предусмотрена возможность автоматического подключения естественного испарения от подземного резервуара 29 по трубопроводу 30. С этой же целью регулятор давления газа 28 на головке резервуара настраивается на давлении 2500 Па, а регулятор давления 12 на испарителе — на давление 3600 Па.

Техническая характеристика испарителя ИЭПТ-10

Номинальная испарительная способность, кг/ч:	
по бутану	24
по пропану	36
Исполнение электронагревателя	Взрывозащищенное
Мощность электронагревателя, кВт	5
Габаритные размеры, мм	1055×775×1570
Масса, кг	290

Электрический испаритель с промежуточным теплоносителем типа «Торпедо» (испарительной способностью от 60 до 660 кг/ч) выпускает западногерманская фирма «Финеман» (г. Гамбург). Поступающая в испаритель (рис. 11.9) жидкая фаза переходит в парофазное состояние в испарительном регистре из бесшовных труб, который погружен в промежуточный теплоноситель с температурой $70-80^\circ\text{C}$. Теплоноситель — незамерзающая жидкость на основе этиленгликоля. Регулирование температуры теплоносителя — двухпозиционное. Включение и выключение электронагревателя — автоматическое

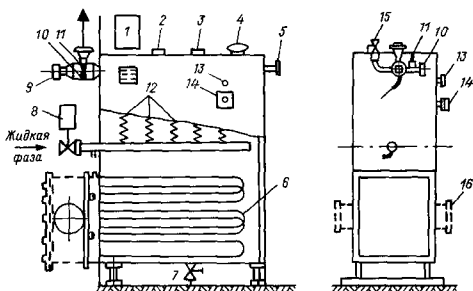


Рис. 11.9. Принципиальная схема западногерманского проточного электрического испарителя типа «Торпедо».

1 — пульт управления; 2 — вентиляционный патрубок; 3 — дымоходный патрубок; 4 — указатель уровня; 5 — переливной край; 6 — электронагреватель; 7 — сливной край; 8 — электромагнитный клапан; 9 — двухпозиционный терморегулятор паровой фазы; 10 — термометр паровой фазы; 11 — манометр; 12 — регистр испарения; 13 — термометр теплоносителя; 14 — термостат теплоносителя; 15 — предохранительный клапан; 16 — патрубок для удаления шлака.

(от электроконтактного термометра термостата) при достижении установленных значений температуры теплоносителя (нижний предел $+65$, верхний $+80$ °С).

Испарители типа «Торпедо» оснащены системой защиты от попадания жидкой фазы в расходный трубопровод, а также от избыточной температуры паровой фазы (во избежание повреждения регулятора давления). Система состоит из электромагнитного клапана жидкой фазы 8 и двухпозиционного стержневого терморегулятора температуры 9 в паровой фазе. Электромагнитный клапан закрывает доступ жидкой фазы в испаритель при снижении температуры газа на выходе из него (ниже $+40$ или достижения $+80$ °С). Кроме того, электромагнитный клапан автоматически закрывается при аварийном отключении электроэнергии. Повторное открытие клапана происходит только после достижения чувствительным элементом двухпозиционного терморегулятора 9 нижнего предела температуры ($+40$ °С), т. е. после соответствующего прогрета промежуточного теплоносителя.

Испарители типа «Торпедо» широко применяют за рубежом в составе установок для производства пропан-бутановоздушных смесей. В частности, такими испарителями оснащены инжекторные установки газовоздушных смесей австрийской фирмы «Комбуста».

Испаритель типа «Торпедо» с испарительной способностью $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ проходил испытания в Гипронингазе. В качестве теплоносителя применялась незамерзающая жидкость на основе этиленгликоля (антифриз). В процессе эксплуатации теплоноситель должен периодически (1 раз в год) меняться с одновременной очисткой нагревательных и испарительных установок.

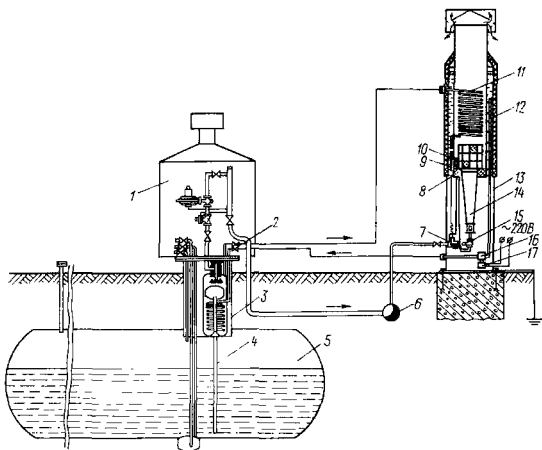


Рис. 11.10. Малогабаритный проточный погружной испаритель с промежуточным теплоносителем.

1 — редукционная головка резервуара; 2 — вентили (\varnothing 20 мм) на входной и выходной линиях теплоносителя; 3 — малогабаритный проточный испаритель; 4 — патрубок для отбора жидкой фазы; 5 — подземный резервуар сжиженных газов вместимостью 2,5 или 5 м³; 6 — подземный газопровод низкого давления (дворовый); 7 — блок автоматики терморегулирования и безопасности горения; 8 — термopapa; 9 — датчик температуры теплоносителя; 10 — запальная горелка; 11 — змеевиковый теплообменник; 12 — патрубок для отбора горячего теплоносителя; 13 — автоматический газовый подогреватель; 14 — газовая горелка инфракрасного излучения типа «Фонарь»; 15 — электромагнитный клапан; 16 — центробежный насос с подачей 1,3–1,8 м³/ч; 17 — однофазный электродвигатель мощностью 0,4 кВт.

Рассматриваемые испарители выпускаются с испарительной способностью 60, 100, 200, 300, 400, 500, 600 кг/ч. Преимуществами их являются независимость от внешнего источника тепловой энергии, малая удельная металлоемкость (от 3,8 до 1,8 кг на 1 м³/ч испарительной способности) и высокая эксплуатационная надежность при низких температурах наружного воздуха. К недостаткам испарителей типа «Торпедо» следует отнести большую установленную электрическую мощность; прекращение газоснабжения при превышении расчетной испарительной способности в результате автоматической отсечки газа; необходимость установки испарителя в специальном помещении с приточно-вытяжной вентиляцией и отоплением; необходимость в частой смене теплоносителя и регулярной очистке поверхностей нагрева, усложняющих эксплуатацию испарителей.

Малогабаритный проточный погружной испаритель с промежуточным теплоносителем (МПИ). Разработан инженером И. А. Карпюком (рис. 11.10). Конструктивно — это проточный испаритель, установленный внутри горловины резервуара. Такое решение требует лишь незначительных изменений серийно выпускаемых редуцированных головок. Малогабаритный змеевиковый испаритель, изготовленный из стандартного 50-литрового баллона, крепится к верхнему фланцу редуциционной головки, а к испарителю — патрубок для отбора жидкой фазы. Теплоносителем для регазификации жидкой фазы служат нагретые в газовом автоматическом подогревателе минеральное масло или антифриз.

Подогреватель представляет собой сварную конструкцию типа «труба в трубе», в которой устанавливаются змеевиковый теплообменник и газовую горелку инфракрасного излучения типа «Фонарь». Подогреватель подключается к газопроводу низкого давления и устанавливается на расстоянии 10 м от групповой резервуарной установки. Подача теплоносителя от подогревателя к испарителю осуществляется центробежным насосом. Испаритель оборудован автоматикой.

Техническая характеристика испарителя МПИ

Общая испарительная способность, кг/ч	До 100
Рабочее давление:	
перед регулятором давления, МПа	0,1
после регулятора давления, кПа	3,5
Тип испарителя	Змеевиковый погружной теплообменник
Теплоноситель	Трансформаторное масло или антифриз
Температура теплоносителя, °С:	
на входе в испаритель	Не более 80
на выходе из испарителя	30
Способ подогрева теплоносителя	Огневой
Номинальная тепловая мощность рабочей горелки, кВт	24
Расход сжиженного газа на собственные нужды, % от испарительной способности испарителя	1,4—2,0
КПД подогревателя, %, не менее	75
Объем теплоносителя (без учета объема трубопроводов), л, не более	100
Подача циркуляционного насоса, м ³ /ч	1,3—1,8
Установленная мощность однофазного электронагревателя, кВт	0,4
Номинальное напряжение переменного тока, В	120
D_y газопровода, мм:	
паровой фазы	50
жидкой фазы	20
Габаритные размеры, мм:	
высота	1100
диаметр	300
ширина	370
Масса, кг:	
подогревателя	300
испарителей	Не более 60
общая	430

В результате отбора паровой фазы потребителем давление внутри испарителя понизится, и за счет образовавшейся разности давления жидкая фаза через открытый патрубок поступит в корпус испарителя. При отсутствии подачи теплоносителя жидкая фаза постепенно заполнит пространство испарителя, поплавки всплывут и закроют нижний клапан, что предотвратит поступление жидкой фазы в редуцирующую головку и далее к потребителю. Одновременно с этим откроется верхний клапан, соединяющий патрубок паровой фазы с паровым пространством резервуара, и паровая фаза, образующаяся за счет естественного испарения из всего объема жидкой фазы, будет продолжать поступать к потребителю.

При подаче теплоносителя змеевик подогреет сжиженный газ, находящийся в корпусе испарителя, в результате чего давление в испарителе начнет повышаться и часть жидкой фазы из испарителя вытеснится обратно в резервуар. При понижении уровня жидкости поплавки опустятся и дадут возможность клапанной системе под действием собственного веса занять нижнее положение, при котором патрубок паровой фазы соединен с испарителем, и доступ паровой фазы непосредственно из резервуара прекращается. Таким образом, паровая фаза, образующаяся при испарении сжиженного газа за счет теплоты, полученной от змеевикового теплообменника, будет непрерывно поступать к потребителю. Испарившееся количество жидкого газа непрерывно пополняется за счет притока в испаритель из резервуара через патрубок. При прекращении отбора газа потребителем давление в корпусе испарителя сравняется с давлением в расходном резервуаре, и вся жидкая фаза из него уйдет обратно в расходный резервуар. При этом неиспарившиеся фракции, которые при работающем испарителе накапливаются постепенно в корпусе испарителя, вытесняются в резервуар. Таким образом, испаритель обеспечивает нефракционное испарение сжиженного газа при подаче горячего теплоносителя, а в случае прекращения подачи теплоносителя (аварийное отключение, наладка, ремонт газового подогревателя) — автоматическое переключение на работу без испарителя и непрерывность подачи газа к потребителю.

К преимуществам данного испарителя необходимо отнести простоту технологической схемы, более низкие капитальные и эксплуатационные расходы, отсутствие сбросного предохранительного клапана высокого давления на испарителе и необходимости в строительстве специального отапливаемого помещения, возможность применения незамерзающих жидкостей, независимость работы от внешних источников теплоты и т. д. Недостатки испарителя — возможность снятия с производства или замены ряда комплектующих изделий, что может повлечь за собой изменение конструкции, уменьшение испарительной способности при отсутствии подачи электроэнергии, использование морально устаревших приборов автоматики.

При непрерывном росте потребления газа, особенно в сельскохозяйственном производстве, целесообразно изыскивать пути снижения затрат на строительство испарительных установок и оплату расходов, связанных с испарением сжиженных газов. Возможность применения в системах газоснабжения газовых испарителей, использующих в качестве теплоносителя продукты сгорания испаряемого газа, будет способствовать снижению перечисленных выше затрат.

Огневой испаритель прямого обогрева типа ИГПО-15. Разработан Гипронигазом. Конструктивно он выполнен в виде отдельного шкафа, в котором установлены теплообменник, газогорелочное устройство, автоматика регулирования и безопасности (рис. 11.11).

Теплообменник состоит из змеевика, топочной части и кожуха. Змеевик выполнен в виде трубы из термостойкой стали и насажен на топочную цилиндрическую камеру. Он вварен в трубу, пересекающую топочный тракт, служащую выходным

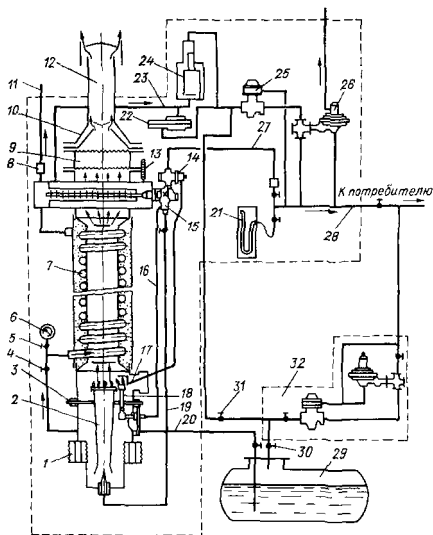


Рис. 11.11. Схема резервуарной установки с испарителем ИГПО-15.

участком вмеевика, емкостью для размещения в ней чувствительного элемента терморегулятора 15, соединением линии отвода паровой фазы 23 и сбросного предохранительного клапана 8, а также для установки термометра 13. Теплообменник крепится к опорной плите 3 шкафа-испарителя. С нижней стороны плиты находится воздушная коробка 1 с рабочей 2 и запальной 18 горелками. К верхней фланцевой опоре топочной части теплообменника прикреплен пламенекрогаситель 9 с тягопрерывателем 10 и дымовой трубой 12. Теплообменник и соединенные с ним узлы образуют воздушный, топочный и дымовой тракты испарителя. В воздушный тракт воздух засасывается из окружающей среды через двойной ряд защитных сеток, выполняющих роль пламенекрогасителя.

Автоматика регулирования температуры перегрева паровой фазы включает в себя терморегулятор дилатометрического ряда, рабочую горелку, трубу подвода газа 19 от терморегулятора к рабочей горелке. В автоматику контроля процесса горения входят запальная горелка, термopара 17, электромагнитный клапан 14 и труба подвода газа 16 к запальной горелке, установленной около рабочей горелки и служащей для нагрева рабочего спая термopары и розжига рабочей горелки.

Электромагнитный клапан является двухпозиционным прибором «открыт — закрыт» и устанавливается первым по ходу газа после газового крана на линии подачи от редуцирующего узла к горелкам испарителя. Линия подвода жидкой фазы газа 20 предназначена для соединения испарителя с расходным резервуаром. На этой линии устанавливаются вентиль 4, манометр 6 и вентиль 5 для отключения манометра. На линии отвода паровой фазы установлены предохранительный поплавковый клапан 24 и узел разгрузки 22 этого клапана. Поплавковый клапан служит для предотвращения попадания жидкой фазы газа из испарителя в трубопровод потребителя. При нормальной работе испарителя поплавковый клапан открыт, и из теплообменника в редуцирующий узел поступает паровая фаза. В аварийных ситуациях (потухание запальной горелки, превышение паспортной испарительной способности испарителя, нарушение условий теплообмена и работы основной горелки) жидкая фаза, попадая в камеру, поднимает поплавок и перекрывает клапанное отверстие, прекращая доступ жидкой фазы к потребителю. Узел разгрузки предназначен для открытия поплавкового клапана. Регулирующий узел предназначен для снижения давления паровой фазы газа, поступающего из теплообменника.

Редуцирующий узел состоит из предохранительного запорного клапана 25 (ПКК-40М), являющегося исполнительным прибором, регулятора давления газа низкого давления 26 (РД-32М), отводного трубопровода 28, манометра 21. Подача газа к рабочей и запальной горелкам испарителя происходит по трубопроводу 27, соединенному с отводной линией редуцирующего узла. Предохран-

нительный сбросной клапан предназначен для защиты испарителя от превышения допустимого давления. Установлен клапан в сбросной (свеча) трубе 11.

Работа испарительной установки осуществляется следующим образом: сжиженный газ (жидкая фаза) поступает под давлением собственных паров из расходного резервуара 29 в эвевик теплообменника, в котором происходит испарение жидкой фазы и перегрев паровой фазы до заданной температуры. Температура перегрева паровой фазы газа регулируется терморегулятором двухпозиционного действия, осуществляющим работу рабочей горелки при постоянно работающей валальной горелке. Работа испарителя рассчитана на температуру окружающей среды от -40 до $+30$ °С. При температуре окружающей среды выше $+30$ °С необходимо открыть вентили 30 и 31 доступа паровой фазы газа из расходного резервуара. При компоновке испарителя с резервуаром, имеющим редуцированную головку 32, возможно поступление паровой фазы газа в трубопровод потребителя непосредственно из резервуара (когда испаритель не работает). Такая компоновка значительно повышает надежность работы системы газоснабжения.

Техническая характеристика испарителя ИГПО-15

Рабочее давление, кПа:	
до регулятора давления	100—1000
после регулятора давления	3,6
Испарительная способность, м ³ /ч	До 15
Пределы перегрева паровой фазы, °С:	
верхний	Не более 60
нижний	Не менее 45

Основными преимуществами огневого испарителя прямого обогрева являются полная независимость от внешних источников энергии, сравнительно небольшая удельная металлоемкость (15 кг на 1 м³/ч испарительной способности по паровой фазе) и отсутствие необходимости в специальном помещении для его размещения. К недостаткам этого испарителя следует отнести низкую единичную испарительную способность по паровой фазе, низкую эксплуатационную надежность из-за возможной конденсации влаги на холодных поверхностях нагрева, засорение пламенскропательных сеток и неустойчивую работу инжекционной горелки с $\alpha_1 < 1$.

Регазификаторы с комбинированной схемой испарения. Электрический испаритель-приставка к подземным резервуарам (рис. 11.12) состоит из корпуса 4, жестко соединенного трубопроводом с двумя глубинными вентилями 5, и автоматики безопасности и регулирования, установленной в шкафу, аналогичном по конструкции электрошкафу от погружного испарителя типа РЭП. Корпус испарителя представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд с плоским дном и заглушкой. На заглушке уста-

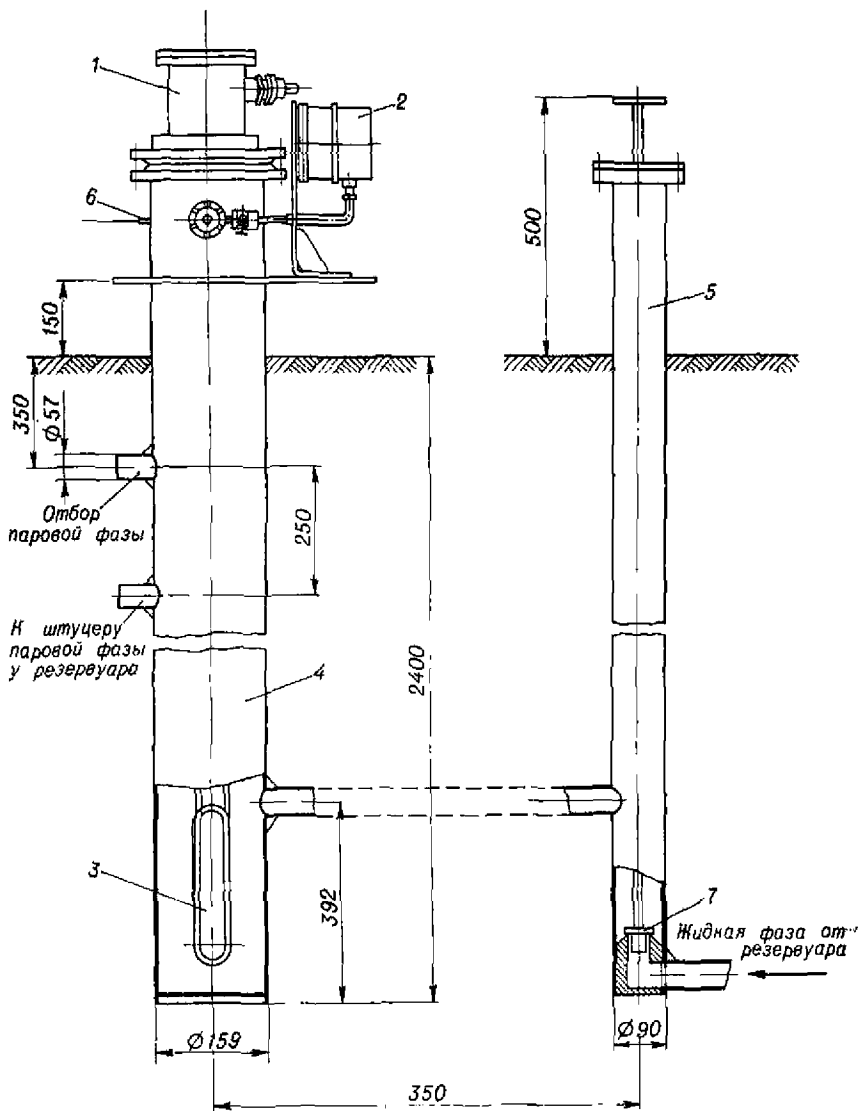


Рис. 11.12. Испаритель-приставка с погружным электронагревателем.

1 — коробка взрывозащитная; 2 — манометр сигнализирующий; 3 — электронагреватель трубчатый; 4 — корпус; 5 — вентиль глубинный; 6 — патрубок для предохранительного клапана; 7 — клапан тарельчатого типа.

новлен электронагреватель 3, а на корпусе — сбросной предохранительный клапан. Глубинный вентиль 5 состоит из корпуса, выполненного из трубы, съемного шпинделя и клапана 7 тарельчатого типа и служит для отключения испарителя от

подземного резервуара при ремонтах и профилактических осмотрах. Корпус испарителя-приставки соединен технологической обвязкой с подземными расходными резервуарами по жидкой и паровой фазам высокого давления. Отбор газа осуществляют через арматурную головку на подземном резервуаре.

Испарение сжиженного газа в электрическом испарителе-приставке происходит за счет теплоты, выделяемой электронагревателем типа ТЭН-2 и поступающей из грунта. При изменении расхода газа давление в испарителе автоматически регулируется электроконтактным манометром, который через промежуточное реле замыкает или размыкает цепь электронагревателя при достижении соответственно нижнего или верхнего заданных пределов давления. Нагретые в испарителе-приставке пары сжиженного газа от электронагревателя поднимаются вверх, поступая затем в трубопроводы. В связи с тем, что пары в трубопроводах перегреты, а при движении к резервуару они охлаждаются, создается давление между корпусом испарителя и расходным резервуаром, из-за чего часть паров, охлаждаясь, возвращается в резервуар. За счет этого в резервуаре поддерживается требуемое давление.

При отборе газа, равном номинальной испарительной способности аппарата, все пары после испарителя поступают к потребителю. В этом случае испаритель работает по проточной схеме. Когда отбор пропан-бутанов потребителем меньше номинальной испарительной способности аппарата, часть паров возвращается в резервуар, поддерживая в нем требуемое давление. При отборе газа больше номинальной испарительной способности испарителя пары поступают как из испарителя, так и из резервуара, испарение в котором происходит за счет теплоты окружающего грунта с фракционным испарением газа.

Высота испарителя выбрана таким образом, чтобы активная часть электронагревателя находилась не выше уровня нижней образующей подземного резервуара, что обеспечивает его контакт с жидкостью при незначительном остаточном количестве в расходном резервуаре сжиженного газа.

Техническая характеристика испарителя-приставки

Номинальная испарительная способность, кг/ч:	
по пропану	24
по бутану	36
Рабочее давление, МПа	До 1,0
Рабочая температура, °С	-40 ÷ +45
Исполнение	Взрывозащищенное
Мощность электронагревателя, кВт	5
Номинальное напряжение, В	220
Тип прибора, регулирующего работу электронагревателя	Манометр ЭКМ-III
Объем корпуса испарителя, л	48,5

Габаритные размеры, мм:

длина	690
ширина	910
высота	2918

Масса, кг 242

Преимуществами электрических испарителей-приставок являются сравнительная простота конструкции; отсутствие дополнительного узла редуцирования газа; поддержание в резервуаре-хранилище необходимого для нормальной работы давления газа; малые потери теплоты в окружающую среду; продолжение газоснабжения потребителей при отборе газа, превышающем номинальную испарительную способность испарителя; удобство обслуживания. К недостаткам следует отнести малую единичную испарительную способность по паровой фазе; низкую эксплуатационную надежность из-за перегорания электронагревателей при длительной работе на максимальных нагрузках (аналогично испарителям типа РЭП); большую установленную электрическую мощность, что ограничивает возможность их применения в районах с напряженным балансом электроснабжения.

11.4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ГАЗОСНАБЖЕНИЮ С ЕСТЕСТВЕННЫМ ИСПАРЕНИЕМ

Имеющийся значительный опыт эксплуатации газового хозяйства в ряде республик СССР, исходя как из экономических и эксплуатационных показателей, так и главным образом из надежности и непрерывности газоснабжения, показывает возможность использования подземных или надземных установок при естественном испарении, когда они могут обеспечивать расчетную потребность в газе и при непостоянной теплоте сгорания.

На основании изложенного для индивидуальных баллонных установок можно констатировать следующее.

1. Шкафные газобаллонные установки с баллонами вместимостью 50 л для круглогодичного газоснабжения вновь строящихся объектов допустимы в исключительных, технически обоснованных случаях. Как правило, такие установки не должны закладываться во вновь разрабатываемые проекты. Шкафные баллонные установки применимы для сезонного газоснабжения, а также в теплых климатических районах страны, при этом расчетная наружная температура должна быть не менее 8 °С. При расчетных температурах ниже указанных для шкафных установок необходимо использовать пропан-бутановую смесь с содержанием пропана не менее 80%.

2. Необходимо пересмотреть схему газоснабжения на базе сжиженных газов, отдав предпочтительно баллонам вместимостью 27 л, устанавливаемым внутри квартир и обеспечивающим широкое применение бутанов и пропан-бутановых фракций.

Применение баллонов вместимостью 27 л позволяет обеспечить надежность газоснабжения благодаря полному использованию содержащегося в баллоне газа и наличию резервного баллона; увеличивать ресурсы сжиженного газа в стране в результате пользования бутаном; сокращать или доводить до минимума остатки газа в баллонах, что значительно упрощает процесс их иаполнения на ГНС; потребителям индивидуальных газобаллонных установок получать дополнительную экономию за счет более полного использования всего содержащегося в баллонах газа; автоматизировать процесс наполнения этих баллонов в результате унификации запорного устройства (клапан КБ) и габаритных размеров баллонов; уменьшать стоимость установки, ее монтажа и металлоемкость; снижать трудоемкость обслуживания этих установок; увеличивать маневренность при локальном газоснабжении в отдельных конкретных случаях, так как допускается возможность доставки этих баллонов силами потребителя от мелких баз-складов или квартальных обменных пунктов на 50—100 баллонов, что широко практикуется в Киргизской ССР, а также других республиках и районах страны. Опыт широкого применения бутанов и пропан-бутановых фракций на севере Казахской ССР, а также в других республиках и районах страны, где газификация осуществлена в основном на использовании баллонов вместимостью 27 л, полностью подтверждает вышесказанное: значительное повышение безопасности эксплуатации за счет уменьшения рабочего давления в баллонах в связи с использованием сжиженного газа с повышенным содержанием бутанов (до 60%) при прочих равных условиях.

Допускаемая «Правилами безопасности в газовом хозяйстве» Госгортехнадзора СССР установка 1 баллона вместимостью 50 л в помещении не может быть рекомендована как типовое решение из-за неизбежности перерывов в газоснабжении при замене баллона (оформление заказа, очередность замены). Применять такую установку следует только в исключительных, технически обоснованных случаях.

Для индивидуальных групповых резервуарных установок с естественным испарением можно рекомендовать следующее.

1. При проектировании систем газоснабжения от резервуарных установок подземные газопроводы низкого давления следует прокладывать в грунте на глубине не выше глубины заложения осевой линии резервуара: для резервуаров вместимостью 2,5 м³ не выше 1,1 м, для резервуаров вместимостью 5 м³ не выше 1,3 м до поверхности грунта.

2. Разводка надземных газопроводов по лестничным клеткам здания должна устраиваться с применением утепленных цокольных вводов.

3. На газопроводах в наиболее низких точках, но не ближе 2—3 м от зданий необходимо устанавливать конденсатосборники,

соответствующие диаметру газопровода и устанавливаемые ниже глубины промерзания грунта.

4. Для подземных газопроводов следует принимать уклоны не менее 0,002 в сторону конденсатосборников, для надземных — не менее 0,003 в сторону ввода газопровода в здание.

5. При использовании для газоснабжения надземных резервуарных установок с естественным испарением газопроводы допускается прокладывать надземно или подземно в зоне промерзания грунта без применения тепловых спутников.

11.5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ГАЗОСНАБЖЕНИЮ С ИСКУССТВЕННЫМ ИСПАРЕНИЕМ

Испарительные установки следует предусматривать в тех случаях, когда подземные или надземные резервуарные установки при естественном испарении не могут обеспечить расчетную потребность в газе; при необходимости по условиям технологического процесса обеспечения подачи газа постоянного состава (постоянной теплоты сгорания, постоянной плотности); при поставке газов с повышенным содержанием бутанов (до 60% по массе); для обеспечения надежности газоснабжения при резко переменном режиме потребления газа. На основании изложенного можно рекомендовать следующее.

1. Проектирование и эксплуатацию групповых резервуарных установок следует осуществлять в соответствии с требованиями действующих «Правил безопасности в газовом хозяйстве» и «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» Госгортехнадзора СССР, СНиП 2.04.08—87 Госстроя СССР, «Сборника руководящих указаний по использованию сжиженных углеводородных газов» Мингазпрома СССР и других технических нормативных документов.

2. При проектировании установок с искусственным испарением число квартир, газифицируемых от одной установки, рекомендуется определять в зависимости от этажности застройки и климатических условий района расположения потребителей по табл. 11.7.

ТАБЛИЦА 11.7

Число квартир в зависимости от этажности застройки
в климатических условиях района расположения потребителей

Климатическая зона	Этажность застройки					
	1	2	3	4	5	6
Умеренно теплая	420	840	1380	1600	1920	3100
Умеренно холодная	340	710	1180	1350	1640	2700
Холодная	300	640	1050	1100	1460	2400
Очень холодная	180	420	720	800	1000	1500

Стоимость тепловой энергии, расходуемой на испарение газа
в резервуарных установках, оснащенных испарителями

Вид теплоносителя	Тип испарителя	Стоимость тепловой энергии в расчете на 1000 квартир, руб./год	
		Квартиры оборудованы газовыми плитами	Квартиры оборудованы газовыми плитами и проточными водонагревателями
Продукты сгорания сжиженного газа	Огневой ИГПО Малогабаритный погрузной МПИ	130	236
		161 + 51 на электроэнергию (привод насоса)	288 + 51 на электроэнергию (привод насоса)
Горячая вода или водяной пар Электроэнергия	Форсуночный	161	288
	Кожухотрубный	161	288
	Погружной электрический испаритель-приставка ИП-04	567	1016
	Малогабаритный электрический ИМЭ-10М	711	1273
	Регазификатор электрический погружной РЭП	567	1016

3. Выбор оптимального варианта резервуарной установки сжиженного газа с искусственным испарением должен производиться по минимуму приведенных затрат при технико-экономическом сравнении установок с различными типами испарителей (рис. 11.13 и 11.14, где ступеньки на графиках отражают число установленных испарителей).

4. Установки с огневыми, электрическими и грунтовыми испарителями целесообразно применять для микрорайонов с числом квартир до 1200, в которых установлены газовые плиты. Микрорайоны с числом квартир более 1200 рекомендуется газифицировать от установок с форсуночными испарителями.

5. При наличии в квартирах газовых плит и водонагревателей установки с огневыми, электрическими и грунтовыми испарителями рекомендуется применять для газоснабжения объектов с числом квартир до 300. Газоснабжение жилых объектов с числом квартир более 300 целесообразно осуществлять от форсуночных испарителей.

6. При равнозначных затратах на строительство и эксплуатацию различных типов испарителей при проектировании предпочтение следует отдавать проточным, так как в этом случае капитальные затраты на прокладку газопроводов будут меньше.

7. При равенстве приведенных затрат на резервуарные установки с различным типом испарителей, когда речь идет о выборе наиболее дешевого источника тепловой энергии, следует при-

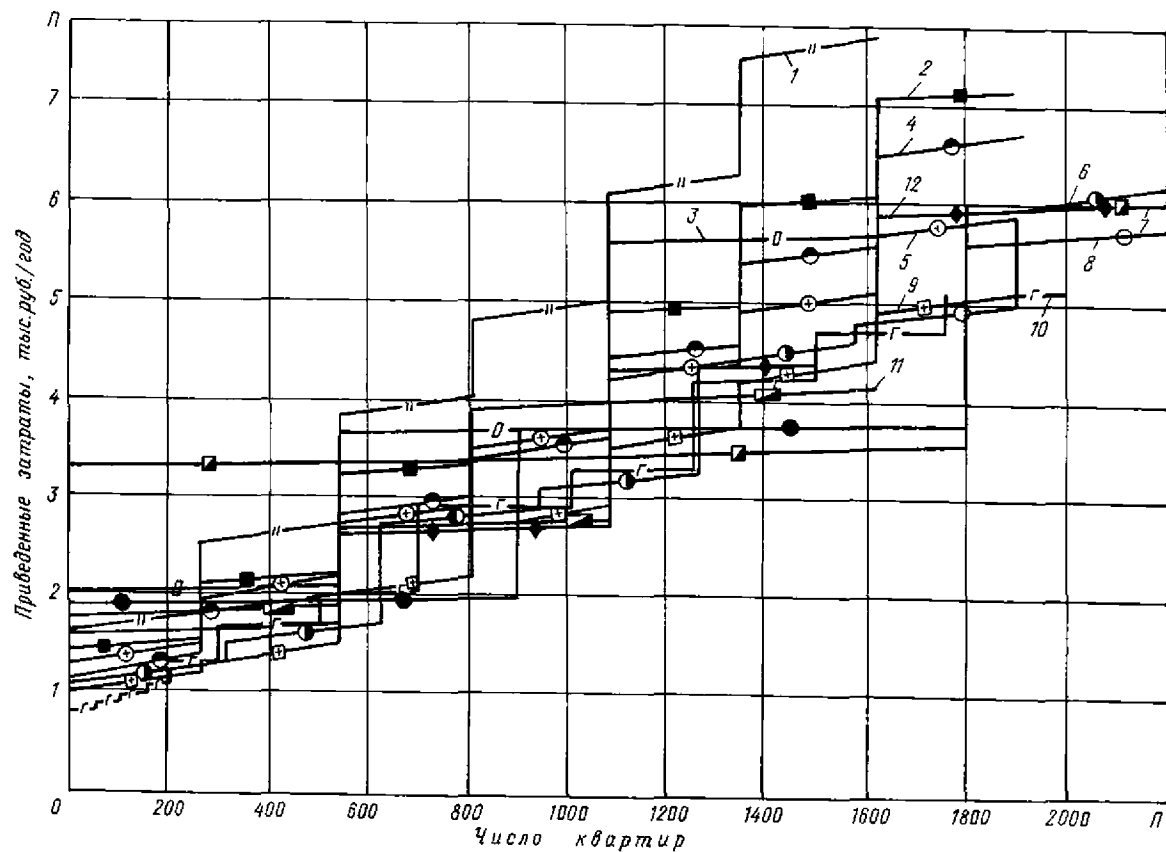
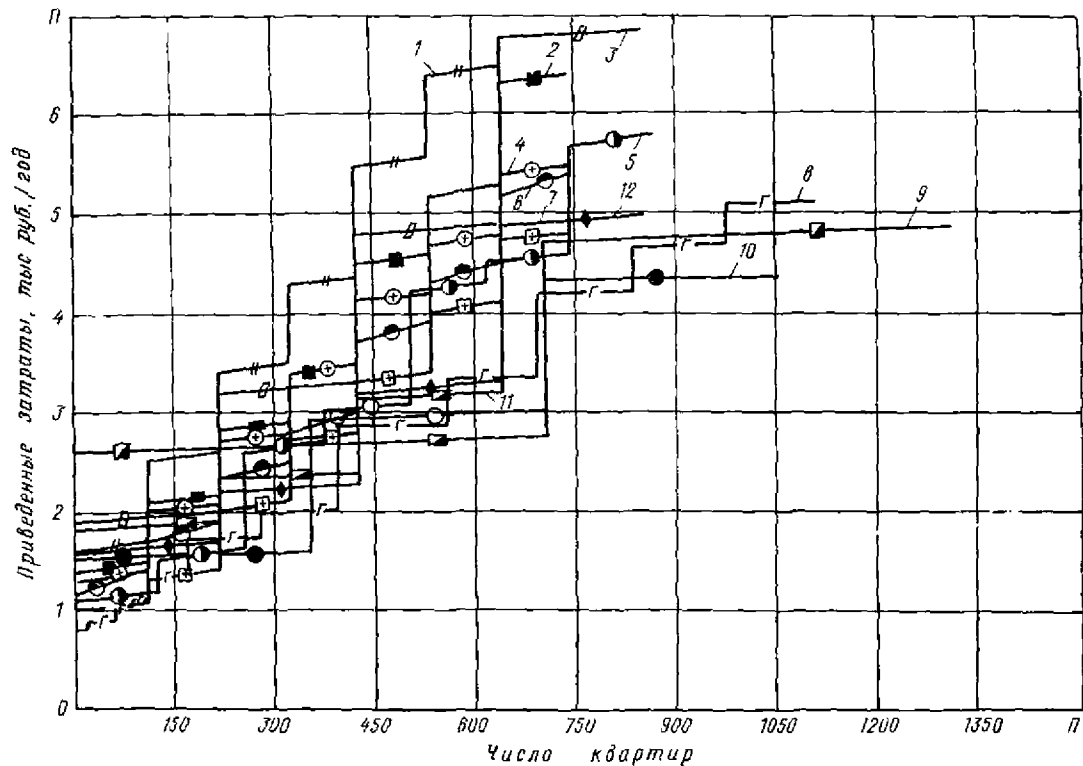


Рис. 11.13. Приведенные затраты на резервуарные установки с испарителями различного типа при газоснабжении квартир, оборудованных газовыми плитами.

Испарители: 1 — малогабаритный электрический ИМЭ; 2—3 — газовые (2 — ИГПО-15, 3 — ИГПО-30); 4 — электрический с промежуточным теплоносителем ИЭПТ; 5 — регазификатор электрический погружной РЭП с резервуарами вместимостью 5 м³; 6 — испаритель-приставка ИП; 7 — форсуночный испарительной способностью 100 м³/ч; 8 — кожухотрубный испарительной способностью 100 кг/ч; 9 — регазификатор РЭП, размещенный на арматурной головке резервуара; 10 — грунтоый; 11 — форсуночный с испарительной способностью 30 м³/ч; 12 — малогабаритный погружной МПИ (конструкция Карлюка).

Рис. 11.14. Приведенные затраты на резервуарные установки с испарителями различного типа при газоснабжении квартир, оборудованных газовыми плитами и проточными водонагревателями.

Испарители: 1 — малогабаритный электрический ИМЭ; 2—3 — огневые (2 — ИГПО-15, 3 — ИГПО-30); 4 — регазификатор электрический погружной РЭП с резервуарами вместимостью 5 м³; 5 — испаритель-приставка ИП; 6 — электрический с промежуточным теплоносителем ИЭПТ-10; 7 — регазификатор РЭП, размещенный на арматурной головке резервуара; 8 — грунтовый; 9 — форсуночный испарительной способностью 100 м³/ч; 10 — кожухотрубный испарительной способностью 100 кг/ч; 11 — форсуночный испарительной способностью 30 м³/ч; 12 — малогабаритный погружной ИПИ (конструкции Карпяка).



**Стоимость тепловой энергии, расходуемой на испарение газа,
в резервуарных установках, оснащенных испарителями
в комплекте с регазификаторами РЭП**

Вид теплоносителя	Тип испарителя в комплекте с регазификатором РЭП	Стоимость тепловой энергии в расчете на 1000 квартир, руб./год (из них на электро-энергию)	
		Квартиры оборудованы газовыми плитами	Квартиры оборудованы газовыми плитами и проточными водонагревателями
Горячая вода или водяной пар и электроэнергия Продукты сгорания газа и электроэнергия	Форсуночный 30 м ³ /ч	444 (283)	797 (509)
	Форсуночный 100 м ³ /ч	246 (85)	441 (153)
	Кожухотрубный	331 (171)	595 (153)
	Огневой ИГПО-15	696 (567)	1255 (1019)
	Огневой ИГПО-30	414 (283)	745 (509)
Электроэнергия	Электрический ИМЭ-10М	1278 (567)	2292 (1019)

держиваться такой последовательности в выборе вида теплоносителя (табл. 11.8): продукты сгорания сжиженного газа (огневые испарители ИГПО, малогабаритные испарители МПИ); горячая вода или водяной пар (форсуночные, кожухотрубные испарители), рекомендуемые к применению на объектах, где возможно бесперебойное круглогодичное снабжение теплоносителем, в противном случае в летний период возможны перебои

газоснабжении потребителя; электроэнергия (электрические циркуляционные насосы, малогабаритные электрические испарители, электрические испарители-приставки). В табл. 11.9 приведена стоимость тепловой энергии, расходуемой на испарение газа в резервуарных установках, оснащенных испарителями в комплекте с регазификаторами РЭП. Установка регазификаторов предусмотрена для создания в подземных резервуарах давления газа, необходимого для подъема жидкой фазы из резервуара к испарительному устройству.

8. При выборе вида теплоносителя следует учитывать, что электрические испарители допускается применять только для газоснабжения жилого фонда при отсутствии круглогодично работающих централизованных источников теплоснабжения.

9. Использование электрической энергии на технологические нужды испарения сжиженного газа следует согласовывать с районными энергетическими управлениями Минэнерго СССР.

10. Тип испарительных установок необходимо выбирать в зависимости от климатических условий в соответствии с табл. 11.10.

11. В очень холодных и холодных климатических зонах необходимо использовать проточные испарители сжиженного газа, устанавливая их, а также шкаф автоматики от электрических испарителей в отапливаемом помещении или в утепленном (отапливаемом) шкафу.

12. В умеренно теплых климатических зонах экономически целесообразнее использовать грунтовые испарители.

13. На земельных участках с пучинистыми и просадочными грунтами, в районах с расчетной сейсмичностью более 6 баллов и на подрабатываемых территориях (районы горных выработок) следует применять установки с верхней обвязкой резервуаров

Характеристика климатических зон по [] ставкам сжиженного углеводородного газа

Климатическая зона	Усредненная расчетная температура наружного воздуха (средняя температура наиболее холодной пятидневки), °С	Усредненная абсолютная температура наружного воздуха, °С	Усредненная минимальная температура грунта на глубине		минимальная температура на глубине 0,3 м	Рекомендуемое количество пропана, поставляемое на ГНС (кроме поставок на заправку кухонных баллонов), %		Рекомендуемый тип испарителя сжиженного газа
			под оголенной поверхностью	в резервуаре		Зима	Лето	
Очень холодная	-45,0	-53,5	-8,0		5,0	93	Не менее 70	ИГПО, МПИ; ИП, ИМЭ; испарители с горячей водой или водяным паром в качестве теплоносителя То же То же и РЭП Грунтовые и те же, что в умеренно холодной зоне
Холодная	-35,5	-48,0	-2,3		-0,7	Не менее 85	» » 60	
Умеренно холодная	-27,0	-43,0	-2,0		+1,5	» » 75	» » 50	
Умеренно теплая	-19,0	-32,0	+3,0		+4,0	» » 70	» » 40	

Примечание. При разбивке на климатические зоны учитывались минимальная температура грунта на глубине заложения резервуаров и газопроводов.

температура наружного воздуха, температура самой холодной пятидневки, мини-

Химический состав газа в зимний период

Климатическая зона	Усредненная минимальная температура грунта, °С, на глубине 1,1—1,3 м под оголенной поверхностью	Марка газа, при использовании которой требуется поддавливание в резервуаре
Очень холодная	—8,0	БТ, СПБТЛ при содержании пропана менее 45%
Холодная	—2,3	БТ при содержании пропана менее 30%
Умеренно холодная	—2,0	То же, не менее 28%
Умеренно теплая	+3,0	То же, менее 18%

по паровой и жидкой фазам. Для данных условий могут быть рекомендованы все типы надземных испарителей, а также регазификаторы типа РЭП, расположенные непосредственно на редукционных головках (в данном случае применение погружных электрических испарителей-приставок типа ИП недопустимо). На участках с пучинистыми грунтами и в сейсмических районах при устройстве оснований под резервуары должны предусматриваться мероприятия, направленные на уменьшение воздействия сил морозного пучения грунтов, и учитываться требования СНиП II—7—81 по проектированию зданий и сооружений в сейсмических районах. В просадочных грунтах и на подрабатываемых территориях резервуары следует устанавливать на основания, исключающие неблагоприятное влияние деформации земного массива, окружающего резервуар.

14. Грунтовые испарители проточного типа, выполненные в виде змеевика из гладких стальных труб и уложенные в грунт ниже глубины промерзания, не следует применять в районах с возможной деформацией земного массива (подрабатываемые территории, просадочные грунты, районы с расчетной сейсмичностью более 6 баллов и т. д.).

15. При отсутствии круглогодичного теплоснабжения от котельных или ТЭЦ и наличии трудностей с подачей электроэнергии рекомендуется применять огневые испарители.

16. В районах многолетней мерзлоты рекомендуется использовать резервуарные установки, расположенные в надземных отапливаемых помещениях с резервуарами типа РС-1600, оборудованными испарителями.

17. С целью обеспечения надежной работы надземных испарителей, т. е. для подъема жидкой фазы из подземного резервуара к испарительному устройству, для преодоления гидравлических сопротивлений коммуникаций, арматуры и для стабильной работы регулятора давления необходимо поддерживать в подземных резервуарах избыточное давление не менее 0,1 МПа.

18. При использовании надземных испарителей, работающих на сжиженном газе с большим содержанием бутанов в климатических районах с отрицательными температурами грунта на оси расположения резервуаров, для обеспечения необходимого давления газа в них следует каждую группу резервуаров оснащать электрическим погружным испарителем типа ИП или РЭП.

19. Химический состав газа (марка газа), при использовании которого в зимний период требуется поддавливание в резервуарах для создания в них избыточного давления, обеспечивающего надежную работу испарительных установок, приведен в табл. 11.11.

ГАЗОВЫЕ ГОРЕЛКИ

Газовая горелка (горелка) — устройство, обеспечивающее подачу определенного количества горючего газа и окислителя (воздуха или кислорода), создание условий смешения их, транспортировку образовавшейся смеси к месту сжигания и сгорание газа. Есть горелки, у которых к месту сгорания подается только газ или газ и воздух, но без их предварительного смешения внутри горелки.

Требования, предъявляемые к горелкам:

- создание условий для полного сгорания газа с минимальными избытком воздуха и выходом вредных веществ в продуктах сгорания;

- обеспечение необходимой теплопередачи и максимального использования теплоты газового топлива;

- наличие пределов регулирования, не меньших чем требуемое изменение тепловой мощности агрегата;

- отсутствие сильного шума, уровень которого не должен превышать 85 дБ;

- простота конструкции, удобство ремонта и безопасность в эксплуатации;

- возможность применения автоматики регулирования и безопасности;

- соответствие современным требованиям промышленной эстетики.

Горелки должны проходить государственные испытания, соответствующие СТ СЭВ 621—83 (Горелки газовые промышленные общего назначения. Методы испытаний), и изготавливаться на специализированных заводах по межведомственным нормам и техническим условиям к ним.

12.1. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЕЛОК

Тепловая мощность Q , кДж/ч, — количество теплоты, выделяющейся при полном сгорании часового расхода газа, проходящего через горелку:

$$Q = Q_{\text{н}} V_{\text{г}}, \quad (12.1)$$

где Q_n — выходящая теплота сгорания газа, кДж/м³; V_r — расход газа, м³/ч.

Различают номинальную, максимальную и минимальную тепловую мощность горелок. Номинальная тепловая мощность — максимально достигнутая мощность при длительной работе горелки с минимальным коэффициентом избытка воздуха и при допустимой по установленным нормам химической неполноте сгорания. Минимальная тепловая мощность определяет тот нижний предел работы горелки с коэффициентом избытка воздуха, равным 1,1, при котором горелка работает устойчиво. Максимальная тепловая мощность составляет 0,9 от мощности, соответствующей верхнему пределу работы горелки. Нижний и верхний пределы работы горелки определяются в результате испытаний по отрыву, проскоку пламени, устойчивому горению газа в тепловом агрегате и полноте сгорания. Коэффициенты избытка воздуха, равные 1,1 и 0,9, предусматривают необходимость полной надежности работы горелок в пределах от минимальной до максимальной тепловой мощности.

Коэффициент предельного регулирования $K_{п.р}$ по тепловой мощности (диапазон устойчивой работы горелки) — отношение максимальной тепловой мощности горелки к минимальной. Этот параметр определяет, в каких пределах может изменяться тепловая мощность горелки при устойчивой и безопасной ее работе. При выборе горелок для тепловых агрегатов необходимо, чтобы ее коэффициент предельного регулирования был равен допустимому изменению тепловой мощности агрегата или больше него.

Коэффициент рабочего регулирования $K_{р.р}$ — отношение номинальной тепловой мощности горелки к минимальной.

Давление газа и воздуха перед горелкой p , Па, подразделяется на номинальное, максимальное и минимальное. Номинальное соответствует номинальной тепловой мощности, максимальное и минимальное соответственно максимальной и минимальной тепловой мощности горелки.

Удельная металлоемкость m , кг/кВт, — отношение массы горелки к ее номинальной тепловой мощности. Этот показатель позволяет для однотипных горелок выбирать наименее металлоемкие (при прочих одинаковых технических показателях).

Шумовая характеристика — уровень звукового давления, создаваемого при работе горелки в зависимости от спектра частот. Уровень шума горелок, работающих во всем допустимом диапазоне изменения расхода, не должен превышать 85 дБ на расстоянии 1 м от горелки и на высоте 1,5 м от пола.

Номинальная относительная длина факела — расстояние по оси факела от выходного сечения горелки, измеренное при работе с номинальной тепловой мощностью в калибрах выходного сечения до точки, где концентрация CO_2 при

коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1$ составляет 95% от максимального значения.

Давление (разрежение) в камере сгорания (Па) — давление (разрежение) в камере сгорания в зоне выходного сечения горелки при номинальной тепловой мощности.

Коэффициент избытка первичного воздуха α_1 показывает, какая часть воздуха от теоретически необходимого для сгорания газа подается в горелку предварительно (до пламени).

Коэффициент избытка вторичного воздуха α_2 показывает, какая часть воздуха от теоретически необходимого для сгорания газа подается непосредственно к пламени из окружающего пространства.

Объемный коэффициент инжекции, или кратность инжекции, λ показывает отношение объемного количества подсосываемого горелкой первичного воздуха к объемному расходу газа.

К дополнительным характеристикам, уточняющим основные параметры, относятся диаметр газового сопла и выходного отверстия горелки, допустимые температуры газа и воздуха, теплота сгорания и плотность сжигаемого газа, угол раскрытия факела, способ стабилизации горения, интенсивность крутки, геометрические размеры горелки и др.

Приведенные выше термины и определения приняты в соответствии с требованиями ГОСТ 17356—71*.

12.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРЕЛОК

В соответствии с ГОСТ 21204—83* по способу подачи воздуха и коэффициенту избытка первичного воздуха α_1 горелки могут быть разделены на диффузионные ($\alpha_1 = 0$), инжекционные ($\alpha_1 > 1$ и $\alpha_1 < 1$), с принудительной подачей воздуха (дутьевые). Приведенная классификация, не являясь исчерпывающей, удобна своей простотой и привычностью, а также тем, что она характеризует основные признаки распространенных горелок.

Диффузионные горелки (рис. 12.1, а). Это — наиболее простые устройства, представляющие собой трубу с просверленными отверстиями. Газ вытекает из отверстий, а необходимый для горения воздух (в качестве вторичного) притекает полностью из окружающей среды. На диффузионных горелках процессы смешения газа с воздухом и горение совершаются параллельно на выходе газа из горелки.

Особенности диффузионных горелок:

- 1) обеспечение сжигания газа по диффузионному принципу;
- 2) длинное пламя со сравнительно невысокой температурой (при использовании в качестве топлива углеводородных газов пламя желто-белого цвета. В верхней части факела появляются сажистые частицы — копоть);

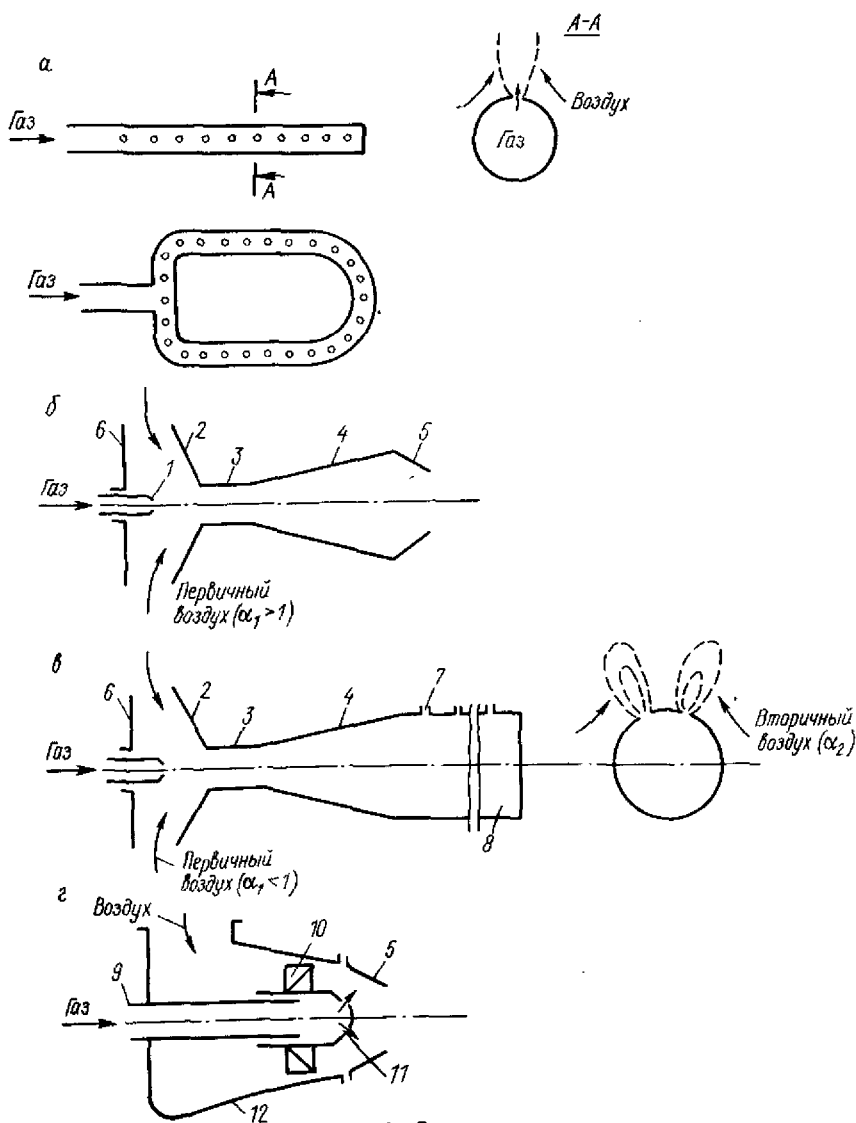


Рис. 12.1. Схемы горелок.

а — диффузионная; б-в — инжекционные: б — $\alpha_1 > 1$, в — с $\alpha_1 < 1$; г — с принудительной подачей воздуха; 1 — сопло; 2 — инжектор; 3 — горловина; 4 — диффузор; 5 — насадок; 6 — воздушная заслонка; 7 — огневые отверстия; 8 — коллектор; 9 — газораспределительное устройство; 10 — запиратель; 11 — отверстия для выхода газа; 12 — корпус.

3) наличие в продуктах сгорания несгоревших частиц топлива (химическая неполнота сгорания, или химический недожог, особенно при сжигании высококалорийных газов);

4) необходимость иметь большой объем топочной камеры.

Достоинствами горелок этого типа являются малогабаритность и простота конструкции, удобство и безопасность эксплуатации, высокая устойчивость пламени без проскока и отрыва, высокая степень черноты пламени, широкий диапазон регулирования тепловой мощности и др. К недостаткам горелок относятся повышенный по сравнению с другими видами горелок коэффициент избытка воздуха, ухудшение условий догорания газа и выделение при сжигании углеводородных газов продуктов неполного сгорания.

Диффузионные горелки применяют для сжигания искусственных газов (сланцевый, коксовый, водяной, генераторный и др.), причем на сжигание 1 м³ горючего газа требуется небольшое количество воздуха. Как правило, это горелки с небольшими расходами газа. Кроме того, в горелках этого типа можно сжигать природные и сжиженные углеводородные газы на производствах, где требуется длинный светящийся (коптящий) факел с равномерной температурой по его длине: печи мартеновские, цементные, стекловаренные, печи для получения газовой сажи и др. В отдельных случаях они незаменимы, например в высокотемпературных плавильных печах, где требуется растянутый факел с высокой степенью черноты. А это возможно при подогреве воздуха, необходимого для горения, до 1000—1100 °С, т. е. до температуры, превышающей температуру самовоспламенения газозадушной смеси. Предварительное смешение газа с воздухом в таких условиях неосуществимо.

Диффузионные газовые горелки для сжигания природных и сжиженных углеводородных газов в настоящее время широко не применяют из-за того, что для полного сжигания газа они требуют большого количества воздуха.

Инжекционные горелки. Это — горелки, у которых необходимый для горения воздух поступает полностью ($\alpha_1 > 1$) или частично ($\alpha_1 < 1$) в качестве первичного, а подача его осуществляется за счет кинетической энергии струи газа, вытекающей из сопла. У этих горелок процессы смешения газа с воздухом и горения полностью или частично разделены. Инжекционные горелки обеспечивают хорошее смешение газа с воздухом. В зависимости от коэффициента избытка первичного воздуха α_1 они делятся на две группы: с $\alpha_1 > 1$ и $\alpha_1 < 1$.

Инжекционные горелки с $\alpha_1 > 1$ (рис. 12.1, б). Газ, вытекая из сопла с большой скоростью за счет кинетической энергии струи, засасывает в инжектор из окружающего пространства воздух в количестве, необходимом для полного сгорания газа. Интенсивное смешение газа с воздухом осуществляется в горловине и завершается в диффузоре, в котором одновременно проис-

ходит повышение статического давления за счет плавного снижения скорости газозвдушного потока. Выравнивание скоростей происходит в конфузормм огневом насадке, где на выходе скорость смеси за счет повышения статического давления доводится до обеспечивающей устойчивую работу горелки в заданном диапазоне регулирования ее тепловой мощности. Количество поступающего воздуха в горелку может изменяться при помощи регулятора первичного воздуха, обычно имеющего вид шайбы, вращающейся на резьбовой поверхности сошла. При полностью открытом регуляторе коэффициент избытка первичного воздуха в основном зависит от отношения диаметров горловины и сопла. Инжекционные горелки с $\alpha_1 > 1$ не требуют подвода вторичного воздуха ($\alpha_2 = 0$); обеспечивают сжигание газа по кинетическому принципу; имеют короткое пламя с высокой температурой; обеспечивают в рабочем диапазоне автоматичность соотношения газ — воздух, т. е. постоянство α_1 независимо от изменения давления газа; создают возможность работы в топках с небольшим противодавлением (до 20 Па), что позволяет их устанавливать в камерных нагревательных печах; обладают низкой устойчивостью к проскоку и отрыву пламени. Требуют применения стабилизаторов пламени.

Диапазон устойчивой работы инжекционных горелок с $\alpha_1 > 1$ определяется исходя из следующего условия: минимальная тепловая мощность Q_{min} достигается при расходе газа, который создает скорость выхода газозвдушной смеси из насадка горелки, равную скорости распространения пламени или несколько превышающую ее, т. е. предотвращающую проскок пламени. Таким образом, во всем рабочем режиме горелки имеет место отрыв пламени, для предотвращения которого их оснащают стабилизаторами пламени, обеспечивающими постоянное поджигание вытекающей из насадка газозвдушной смеси. Конфигурация смесителя горелки (диффузор, горловина и конфузор — по типу трубы Вентури) обеспечивает хорошее смешение газа с воздухом и создание до горения однородной газозвдушной смеси, что позволяет полностью сжигать газ с минимальными избытками воздуха ($\alpha_1 = 1,02 \div 1,05$).

Розжиг большинства инжекционных горелок с $\alpha_1 > 1$ осуществляют с прикрытым регулятором первичного воздуха, так как для предотвращения проскока пламени во время пуска газа приходится переходить на режим, когда скорость распространения пламени будет превышать скорость газозвдушной смеси в насадке. Для того чтобы исключить проскок пламени во время розжига, уменьшают подачу воздуха, что делает первичную смесь негорючей. В пусковой период, протекающий очень быстро, дожигание горючего газа происходит за счет вторичного воздуха, после чего регулятор первичного воздуха полностью открывается.

Инжекционные горелки с $\alpha_1 > 1$, как правило, работают на среднем давлении газа (10—90 кПа). Максимальное давление ограничивается верхним пределом докритических скоростей истечения,

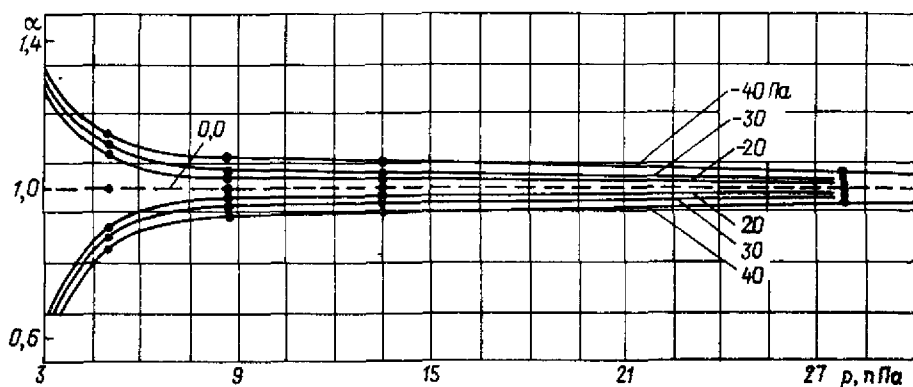


Рис. 12.2. Зависимость коэффициента избытка инжектируемого воздуха от разрежения, противодавления в топке и давления газа перед соплом.

который для природного газа достигается при давлении 90 кПа. При докритических скоростях истечения газа из сопла горелки постоянство коэффициента α_1 сохраняется, если давление в топке равно атмосферному или давлению инжектируемого воздуха. Если же топка, в которой установлена горелка, работает под разрежением или давлением, превышающим атмосферное, количество инжектируемого воздуха соответственно увеличивается или уменьшается.

Количественное влияние разрежения и противодавления в топке на коэффициент избытка инжектируемого воздуха в зависимости от давления газа перед соплом показано на рис. 12.2. Исследования проводились на инжекционной горелке, выдающей газоздушную смесь в специальную камеру, в которой искусственно создавались разрежения и противодавления в пределах $0 \div -40$ и $0 \div 40$ Па. Горелка была рассчитана и отрегулирована на $\alpha_1 = 1,0$ при давлении в топке, равном атмосферному. Положение кривых показывает, что влияние разрежения и противодавления сказывается на коэффициенте избытка воздуха тем больше, чем больше отклоняется давление в топке от атмосферного и чем меньше давление газа перед соплом. По этой причине такие горелки, как правило, применяют в топках, если давление укладывается в пределы ± 20 Па относительно атмосферного и если при минимальной тепловой мощности давление газа перед соплом составляет не менее 5 кПа. В том случае, если разрежение в топке превышает указанное значение и ведет к нецелесообразному избытку воздуха, горелки оборудуют уравнительными камерами, поддерживающими давление инжектируемого воздуха на уровне, близком к разрежению в топке. При закритических режимах истечения газа (давление природного газа перед соплом > 90 кПа) горелки не обладают свойствами автоматического пропорционирования и α_1 снижается при повышении давления газа перед соплом.

Устойчивость пламени на инжекционных горелках достигается при отрыве применением стабилизаторов горения в виде огнеупорных туннелей, кольцевых зажигательных поясков или тел плохобтекаемой формы, а при проскоке — значительной скоростью выхода газозадушной смеси. Наиболее распространены стабилизаторы горения в виде цилиндрических туннелей с внезапно расширяющимся сечением. Стабилизирующее действие таких туннелей рассмотрено в гл. 8 (см. подраздел 8.9).

Туннели изготавливают из огнеупорных материалов, пригодных для длительной работы при температуре 1450—1500 °С и стойких к резким колебаниям температур, что имеет место при каждом включении и выключении горелок. Обычно туннели делают набивными и изготавливают по шаблону из материала следующего состава, %: порошок хромистого железняка 45, порошок из обожженного магнезита 45, огнеупорная глина 10. Полученную массу разбавляют водой до густого тестообразного состояния. Перед применением в огнеупорную массу добавляют 2—3% жидкого стекла, после чего смесь тщательно перемешивают. Толщина слоя набивной массы должна быть не менее 25 мм.

Туннели, выполненные из указанного материала, обеспечивают достаточно высокую стойкость: после 2 лет работы при температуре около 1400 °С они не оплавившись и не растрескались. Туннели без хромистого железняка дают многочисленные трещины, а набивки из хромистого железняка, но без магнезита размягчаются. Набивка туннелей может выполняться и из других материалов, %: порошка хромомгнезита 70 и огнеупорной глины 30. Применять туннели из обычной набивки или кирпича недопустимо, так как они, как правило, оплавляются очень быстро. При выборе материалов для туннелей необходимо учитывать, что наличие в них оксида железа или других примесей, снижающих температуру размягчения и увеличивающих теплопроводность материала, ухудшает качество туннеля и приводит к его оплавлению.

Для удобства извлечения деревянного шаблона (после набивки туннеля) его делают с расширением 3÷4° в сторону выхода продуктов сгорания. При массовой потребности в туннелях их выполняют из заблаговременно изготовленных горелочных камней. При сборке туннелей горелочные камни укладывают, тщательно подгоняя поверхности, при толщине швов 0,5—1,0 мм. Уступы и неровности на внутренней поверхности туннелей недопустимы.

В зависимости от условий установки инжекционные горелки изготавливаются с прямыми и угловыми смесителями. Последние применяют в тех случаях, когда прямые смесители непригодны или неудобны в эксплуатации из-за их значительной длины. К недостаткам угловых смесителей относятся: 1) большое сопротивление, приводящее к уменьшению коэффициента инжекции на 1—3% (в зависимости от угла поворота) относительно прямых

смесителей равнозначных характеристик. Несколько снижается для угловых смесителей и устойчивость пламени по отношению к проскоку.

Инжекционные горелки с $\alpha_1 > 1$ устанавливают на промышленных и коммунальных теплоагрегатах (нагревательные и термические камерные печи, сушилки, чугунные секционные отопительные котлы, хлебопекарные и кондитерские печи, каменки бань и др.). Широко применяют инжекционные горелки с максимальным расходом газа до $100 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для больших расходов эти горелки становятся громоздкими и металлоемкими и применение их, компоновка на теплоагрегатах усложняются.

Инжекционные горелки с $\alpha_1 < 1$ (рис. 12.1, в). Выбор значения α_1 для этих горелок зависит от диапазона устойчивой работы их, который определяется по режиму работы теплоагрегата. В подавляющем большинстве инжекционные горелки с $\alpha_1 < 1$ работают на низком давлении газа (до 2 кПа). При этих условиях энергия струи газа, вытекающей из сопла в инжектор, недостаточна, чтобы обеспечить большую выходную скорость газозвушной смеси в насадке горелки или в огневых отверстиях, превышающую скорость распространения пламени. Поэтому максимальная тепловая мощность этих горелок, как правило, определяется скоростью отрыва пламени, т. е. скоростью выхода газозвушной смеси принимается равной или меньшей скорости распространения пламени. А так как горелки должны иметь достаточно широкий диапазон изменения тепловой мощности, приходится выбирать такое значение α_1 , чтобы первичная газозвушная смесь была не горючая. Тогда проскок пламени при уменьшении расхода будет отсутствовать.

Известно, что для природного газа при $\alpha_1 < 0,59$ газозвушная смесь не горючая. Следует иметь в виду, что уменьшать α_1 можно только до определенного предела, который для углеводородных газов определяется по следующей зависимости:

$$\alpha_1 > 0,75 (m + n/4)^{0,5} \cdot d_k^{0,25}, \quad (12.2)$$

где m — число углеродных атомов в молекуле газа или среднее их число в сложном газе; n — то же, водородных атомов; d_k — диаметр огневых каналов в коллекторе горелки, м.

Для природного газа $\alpha_{\text{min}} = 0,4$. Если α_1 принимается меньше этого значения, то горение приближается к диффузионному и имеет место выделение продуктов неполного сгорания газа.

Инжекционные горелки с $\alpha_1 < 1$ обладают следующими особенностями: 1) требуют организованного подвода вторичного воздуха; 2) точки, где устанавливают эти горелки, должны иметь разрежение; 3) обеспечивают сжигание газа по промежуточному принципу, т. е. начало горения кинетическое, а окончание диффузионное; 4) имеют большую, чем горелки с $\alpha_1 > 1$, длину и меньшую температуру пламени; 5) имеют большую устойчивость

к отрыву и проскоку пламени, что, как правило, не вызывает необходимости применять стабилизаторы пламени.

Полное сгорание газа в этих горелках можно обеспечить только при подаче вторичного воздуха, при этом общий коэффициент избытка воздуха должен быть не менее $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = 1,15 \div 1,20$.

Инжекционные горелки могут иметь различные насадки. Это могут быть многофакельные коллекторы с большим числом огневых отверстий, которые обеспечивают распределенную передачу теплоты обогреваемым поверхностям, или одно большое отверстие либо по оси потока смеси, либо под углом, которое формирует один факел.

Инжекционные горелки с $\alpha_1 < 1$ применяют весьма широко в бытовых газовых плитах, в проточных и емкостных водонагревателях, в ресторанных плитах, в секционных маленьких отопительных котлах, отопительных печах, в лабораторной практике и т. д.

Горелки с принудительной подачей воздуха. Воздух, необходимый для горения, нагнетается в горелки принудительно вентилятором, воздуходувкой или компрессором. Газ из газопровода подается (рис. 12.1, з) в газораспределительное устройство, а из него через сопла вытекает в закрученный поток воздуха. Здесь происходит смешение газа с воздухом. Подготовленная газозодушная смесь выдвигается через насадок к месту сжигания. Эти горелки, как и инжекционные горелки с $\alpha_1 > 1$, оснащены стабилизаторами пламени. К особенностям горелок этого типа относятся: 1) возможность создавать горелки на любые расходы газа; 2) возможность использовать теплоту предварительно подогретого (подаваемого для горения) воздуха; 3) возможность обеспечить сжигание газа как по кинетическому, так и по промежуточному принципу (в зависимости от вида смесителя); 4) возможность работать при любом давлении в топке; 5) необходимость устанавливать клапан блокировки, отключающий подачу газа при прекращении подачи воздуха; 6) наличие воздухопроводов (кроме газопроводов) в системе обвязочных коммуникаций теплоагрегата; 7) необходимость в рабочем режиме регулирования соотношения расходов газа и воздуха для поддержания заданного коэффициента избытка воздуха; 8) меньшая удельная металлоемкость по сравнению с инжекционными горелками; 9) обладание, как правило, большим коэффициентом предельного регулирования.

Смешение газа с воздухом зависит от конструкции как самой горелки, так и ее смесителя. Имеются горелки с хорошим предварительным смешением газа с воздухом. Такие горелки обеспечивают горение газа, близкое к кинетическому, и имеют в топке короткое пламя с высокой температурой. Для получения более длинного пламени применяют внешнее смешение газа с воздухом, иногда переносимое в топочное устройство.

Регулировать длину пламени можно, изменив качество смешения газа с воздухом. Чтобы сократить длину пламени, надо обеспечить хорошее предварительное смешение. Это достигается за

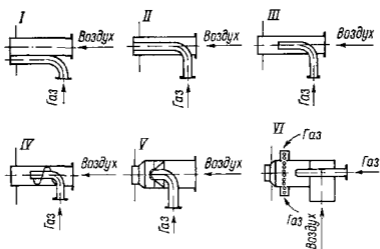


Рис. 12.3. Схемы горелок с принудительной подачей воздуха.

счет удлинения участка смешения; увеличения разности скоростей газа и воздуха, а также поверхности соприкосновения газовых струй с воздушным потоком; направления потоков газа и воздуха под углом; выдачи газовых струй в закрученный поток воздуха.

На рис. 12.3 приведены различные схемы горелок с принудительной подачей воздуха. По схеме I газ и воздух к месту сгорания подаются раздельно, параллельными широкими потоками примерно с равными скоростями. Смешение происходит крайне медленно. Горение близко к диффузионному. Пламя длинное, при сжигании углеводородных газов светящееся, имеет невысокую температуру. В схеме II поверхность соприкосновения потоков газа и воздуха увеличена за счет подачи газа внутри воздушного потока (горелка типа «труба в трубе»). Длина пламени сокращается. Еще большее сокращение длины пламени достигается, если обеспечить некоторое предварительное смешение газа с воздухом (схема III). Улучшение предварительного смешения газа с воздухом достигается установкой в горелке завихрителя, закручивающего поток воздуха (схема IV). Для увеличения площади соприкосновения газа с воздухом вместо одного крупного газовыпускного отверстия делают много мелких под углом к предварительно закрученному потоку воздуха (схема V). Это приводит к образованию более равномерной газозвушной смеси, что обеспечивает горение, близкое к кинетическому, а также короткое пламя с высокой температурой. Смешение можно еще более улучшить, если газ в закрученный поток воздуха подавать не только с центра, но и с периферии (схема VI), обеспечивая равномерное распределение газовых струй в сносящем потоке воздуха. Закручивание воздушного потока может осуществляться лопаточным направляющим аппаратом, улиткой, тангенциальным подводом к горелке и др.

Горелки с принудительной подачей воздуха (иногда их еще называют дутьевыми или двухпроводными) в зависимости от конструкции работают на газе низкого или среднего давления. Их применяют в основном для промышленных теплоагрегатов: котлов, печей, сушилок и др. Горелки этого типа позволяют использовать теплоту отработанных дымовых газов за счет подогрева в теплообменниках (рекуператорах, регенераторах и др.) воздуха, подаваемого для горения, что позволяет повысить КПД теплоагрегатов.

Недостатками рассматриваемых горелок являются: значительные затраты электроэнергии на дутьевые вентиляторы; усложнение инженерных коммуникаций теплоагрегата из-за наличия воздуховодов, устройств регулирования соотношения газ—воздух и клапанов, отсекающих подачу газа к горелкам при остановке вентилятора.

12.3. КОНСТРУКЦИИ ГОРЕЛОК

12.3.1. ИНЖЕКЦИОННЫЕ ГОРЕЛКИ С $\alpha_1 > 1$

Горелки В и ВП конструкции Стальпроекта. Предназначены для сжигания природного и коксового газа, а также их смесей с нагревательных и термических печах, а также в теплоагрегатах, где нецелесообразна принудительная подача воздуха. Горелки (рис. 12.4) изготавливаются 14 типоразмеров (табл. 12.1): В — прямым смесителем, ВП — с угловым смесителем, с диаметром насадка $d_y = 15 \div 100$ мм. Горелки с $d_y = 15 \div 75$ мм выпускают водоохлаждаемыми насадками и крепят при помощи фланца непосредственно к фронтовому листу печи. Горелки с $d_y = 86 \div 100$ мм имеют водоохлаждаемый огневой насадок, разъемный корпус и специальный кронштейн для крепления к металлоконструкциям каркаса печи.

Охлаждение насадка проточной водой приводит к повышению устойчивости пламени в отношении проскока и расширяет эксплуатационные пределы регулирования. Для поддержания примерно равного коэффициента избытка первичного воздуха на горелках с прямыми и угловыми смесителями последние имеют сопла меньших размеров, так как у угловых гидравлическое сопротивление больше и соответственно меньше номинальная мощность.

Выбор типа горелок осуществляется (по табл. 12.1) в зависимости от вида горючего газа, номинальной тепловой мощности, расхода газа и давления. При отклонении исходных данных от табличных можно пользоваться кривыми зависимостей расхода различных газов от давления для горелки с диаметром огневого насадка $d_y = 100$ мм (рис. 12.5). Для других размеров горелок расход газа определяется путем умножения значения V_g , взятого по графику, на коэффициент K , приведенный в табл. 12.2.

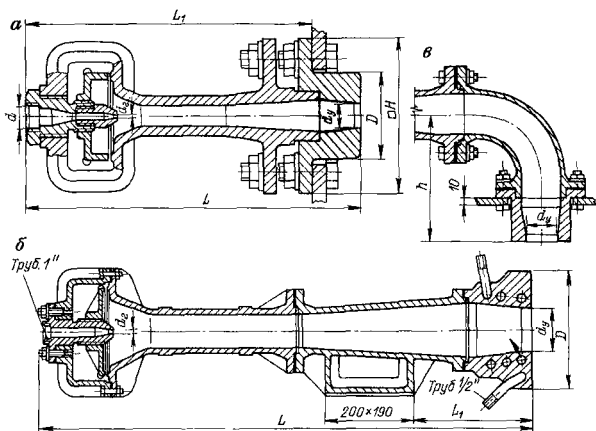


Рис. 12.4. Инжекционные горелки В и ВП конструкции Стальпроекта.
а — типа В-15-75; б — типа В-86-100; в — типа ВП.

Все горелки В и ВП конструкции Стальпроекта рассчитаны на $\alpha_1 = 1,05$, имеют коэффициент рабочего регулирования $K_{р.р} = 3$ и предназначены для топок, в которых давление укладывается в пределы ± 20 Па. Для обеспечения устойчивой работы горелки без отрыва пламени она должна оснащаться стабилизатором в виде керамического туннеля (горелочного камня).

Горелки ИУ $d_{н.г}/d_{г.С}$ и ИУ $d_{н.г}/d_{г.ПС}$ конструкции Стальпроекта с кольцевыми стабилизаторами (рис. 12.6). Предназна-

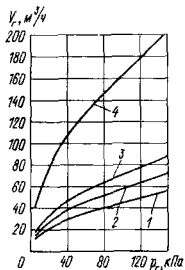


Рис. 12.5. Кривые расхода различных газов V_g в зависимости от давления газа перед горелкой p_g с диаметром огневого насадка $d_y = 100$ мм.

Газы: 1 — природный (с $Q_H = 35$ МДж/м³); 2-3 — смешанный природно-коксовый (2 — с $Q_H = 30,2$ МДж/м³, 3 — с $Q_H = 26,9$ МДж/м³); 4 — коксовый (с $Q_H = 17,1$ МДж/м³).

Основные характеристики горелок В и ВП конструкции Стальпроекта

Тип горелки	Номинальные		Размеры, мм						Масса, кг
	тепловая мощность, кВт (при $Q_H = 34,5$ МДж/м ³ и $\rho = 0,7$ кг/м ³)	расход газа, м ³ /ч (при $p = 80$ кПа)	L	L ₁	d _г	H	b	D	
В-15/ВП-15	13,0/11,9	1,37/1,25	220	195	1,1/1,1	120	125	60	5,0/8,4
В-18/ВП-18	19,0/17,2	2,0/1,8	250	225	1,4/1,35				5,3/8,5
В-21/ВП-21	27,6/24,8	2,9/2,6	275	250	1,6/1,55				5,6/9,0
В-24/ВП-24	33,3/30,4	3,5/3,2	300	260	1,8/1,8	140	156	80	9,0/13,5
В-28/ВП-28	45,7/41,5	4,8/4,3	335	295	2,1/2,1				9,5/14,0
В-32/ВП-32	69,5/63,7	7,3/6,7	375	335	2,5/2,4				9,8/14,8
В-37/ВП-37	93,0/79,0	9,8/8,4	440	385	2,8/2,7	160	193	100	14,3/21,8
В-42/ВП-42	120,0/109,0	12,6/11,4	490	435	3,2/3,1				14,8/22,8
В-48/ВП-48	156,0/142,0	16,4/14,9	545	475	3,7/3,55	180	280/300	120	21,0/31,0
В-56/ВП-56	214,0/192,0	22,4/20,3	625	555	4,3/4,1				26,0/37,0
В-65/ВП-65	272,0/261,0	28,5/27,4	700	600	5,0/4,8	210	493/543	140	33,5/49,0
В-75/ВП-75	392,0/350,0	40,1/37,0	800	700	5,7/5,4				35,2/51,2
В-86/ВП-86	503,0/455,0	52,9/48,0	960	185	6,6/6,3	145	338	220	64,0/78,0
В-100/ВП-100	690,0/620,0	71,4/65,0	1095	255	7,7/7,4	150	386	260	62,0/97,2

Примечания. 1. Номинальное давление газа $p_{ном}$, кПа: природного (с $Q_H = 34,5$ МДж/м³) — 80, коксового (с $Q_H = 17,1$ МДж/м³) — 40, смешанного (природный + коксовый; с $Q_H = 26,9$ и 30,3 МДж/м³) — соответственно 60 и 70. Горелки могут работать на СУГ с $p_{ном} = 250$ кПа. 2. Число в шифре горелки — диаметр устья насадка, мм. 3. Диаметр d для горелок В-15—В-48 Труб. 1/2", для горелок В-56—В-75 — Труб. 3/4".

ТАБЛИЦА 12.2

Значения поправочного коэффициента к графику зависимости расхода газа от давления (рис. 12.5)

Диаметр огневого на- садка d_y , мм	Поправочный коэффициент K	Диаметр огневого на- садки d_y , мм	Поправочный коэффициент K
15	0,0225	42	0,176
18	0,0324	48	0,230
21	0,0441	56	0,314
24	0,0576	65	0,422
28	0,0784	76	0,562
32	0,1020	86	0,740
37	0,1370	100	1,000

чены для сжигания сжиженного, природного и коксового газов, а также их смесей с $Q_H = 17 \div 105$ МДж/м³ в различных нагревательных устройствах.

Применение горелок с кольцевыми стабилизаторами в виде устойчивого огневого кольца целесообразно, когда по местным условиям выполнение стабилизаторов в виде керамического туннеля затруднительно или невозможно. Для организации этого кольца часть газозоудшной смеси ответвляется через боковые каналы в огневом насадке в кольцевое пространство, что приводит к формированию по периферии основного потока спокойного стабильного пламени, не срывающегося при эксплуатационно необходимых форсировках горелки. Это периферийное пламя и служит надежным источником поджигания основного потока, вылетающего из огневой насадки с большой скоростью.

Основные характеристики рассматриваемых горелок приведены в табл. 12.3.

Горелки ИГК конструкции Мосгазниипроекта. Предназначены для сжигания природного газа в топках чугунных секционных котлов и других теплоагрегатов, работающих под разрежением 10—20 Па. Недостатками рассмотренных инжекционных горелок являются сравнительно небольшой диапазон регулирования, в особенности для горелок крупных размеров, и необходимость оборудования огневых насадков таких горелок водоохлаждаемыми камерами. Стремление расширить диапазон эксплуатационного регулирования тепловых мощностей привело к созданию горелок, оборудованных пластинчатыми стабилизаторами (рис. 12.7) на выходе из диффузора. Стабилизатор представляет собой квадратную решетку, изготовленную из стальных пластин, стянутых болтами. Устойчивость горения в отношении проскока достигается за счет малых размеров щелей между пластинами (предельная ширина), мм: для природного газа 1,5; для пропана, бутана и их смесей 1,2, а в отношении отрыва — наличием стяжных болтов, создающих обратные токи горячей газозоудшной смеси.

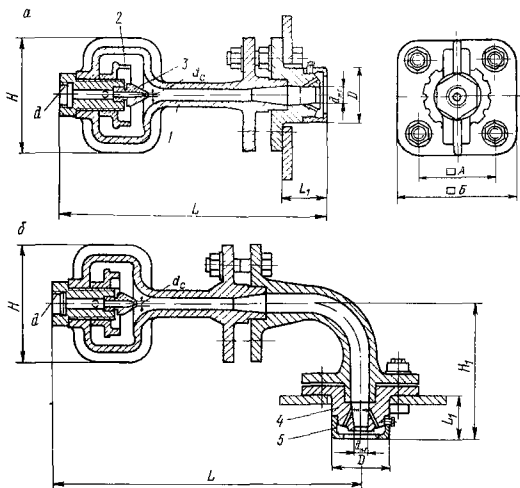


Рис. 12.6. Инжекционные горелки ИУ $d_{пл.г}/d_{гС}$ и ИУ $d_{пл.г}/d_{гПС}$ конструкции Стальпроекта с кольцевыми стабилизаторами.

a — с прямым смесителем; b — с угловым смесителем; 1 — корпус-смеситель; 2 — шайба воздушная; 3 — сопло; 4 — насадок; 5 — стабилизатор кольцевой.

Достоинствами инжекционных горелок с пластинчатыми стабилизаторами горения являются широкий диапазон регулирования (по давлению от 5 до 70 кПа), возможность применения для сравнительно больших расходов газа без охлаждения огневого насадка проточной водой и отсутствие керамического туннеля. Горелки могут устойчиво работать и при давлении газа меньше 5 кПа. Это, однако, нецелесообразно, так как может приводить к непостоянству коэффициента избытка инжектируемого воздуха. К недостаткам горелок этого типа относится возможность применения только для теплоагрегатов, работающих под разрежением, и опасность для отключенных горелок перегрева и деформации стальных пластин за счет излучения раскаленной кладки или пламени работающих горелок. Для уменьшения нагрева стальных пластин воздушную шайбу на отключенной горелке оставляют открытой, чтобы через горелку поступал холодный воздух и охлаждал пластинки. Это приводит, однако, к повышению коэффициента избытка воздуха в работающей топке и некоторому уменьшению КПД установки.

Основные характеристики инжекционных универсальных горелок конструкции Стальпроекта с кольцевым стабилизатором

Тип горелки	Номинальные		Размеры, мм								Масса, кг
	тепловая мощность, кВт	расход природного газа (при $Q_H = 34,5 \text{ МДж/м}^3$), $\text{м}^3/\text{ч}$	L	L_1	D	B	A	H	H_1	d	

Горелки в прямом исполнении

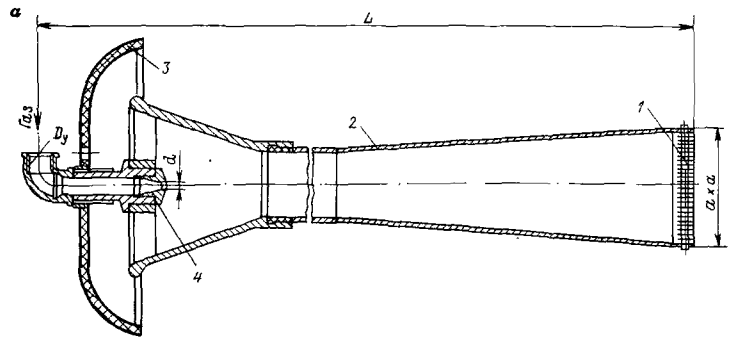
ИУ-15/ d_{rC}	16,8	1,76	250	}	41	55	110	70	110	—	}	$1/2''$	4,5					
ИУ-18/ d_{rC}	21,9	2,3	265										130	90	132	—	4,7	
ИУ-21/ d_{rC}	30	3,2	290										130	90	132	—	5,0	
ИУ-24/ d_{rC}	37	3,9	325	}	48	65	130	90	130	—	}	$1/2''$	7,0					
ИУ-28/ d_{rC}	52	5,5	345										50	72	132	—	7,0	
ИУ-32/ d_{rC}	67	7,1	380										58	72	132	—	9,0	
ИУ-37/ d_{rC}	85	8,9	450	}	65	78	150	110	160	—	}	$1/2''$	12,5					
ИУ-42/ d_{rC}	110	11,5	485										65	78	150	110	166	15,0
ИУ-48/ d_{rC}	145	15,3	560										87	92	160	120	216	19,9
ИУ-56/ d_{rC}	190	20,0	630	}	90	96	160	120	216	—	}	$3/4''$	20,0					
ИУ-65/ d_{rC}	245	25,8	720										110	135	180	140	215	35,0
ИУ-75/ d_{rC}	320	37,7	825										115	135	180	140	215	42,0
ИУ-86/ d_{rC}	410	43,2	935	}	131	145	200	150	270	—	}	$1''$	43,0					
ИУ-100/ d_{rC}	540	56,8	1100										155	210	170	270	—	56,0

Тип горелки	Номинальные		Размеры, мм								Масса, кг
	тепловая мощность, кВт	расход природного газа (при $Q_H = 34,5 \text{ МДж/м}^3$, м ³ /ч)	L	L ₁	D	B	A	H	H ₁	d	

Горелки поворотные

ИУ-15/д _г ПС	9,8	1,03	290	41	55	110	70	110	128	1/2"	7,6				
ИУ-18/д _г ПС	13,7	1,5	302								8,0				
ИУ-21/д _г ПС	20	2,1	327								7,9				
ИУ-24/д _г ПС	29	3,1	376	48	65	130	90	132	11,3						
ИУ-28/д _г ПС	41	4,3	393						60		164	11,2			
ИУ-32/д _г ПС	59	6,2	420	58	72	150	190	189	166		13,0				
ИУ-37/д _г ПС	78	8,2	500						65		190	16,8			
ИУ-42/д _г ПС	100	10,5	535	87	92	160	120	166	230		18,5				
ИУ-48/д _г ПС	130	13,7	610								90	96	216	250	22,0
ИУ-56/д _г ПС	170	17,9	676								90	96	216	250	22,1
ИУ-65/д _г ПС	230	24,2	770	115	125	180	140	215	297	3/4"	44,0				
ИУ-75/д _г ПС	300	31,6	885								307	49,0			
ИУ-86/д _г ПС	400	42,1	990	131	155	200	150	270	343		1"	56,0			
ИУ-100/д _г ПС	540	56,8	1180							383		74,0			

Примечание. Номинальные давления газа, кПа: СУГ 250, природного 80, коксового 40, смешанных (коксовый + природный) 70 (при $Q_H = 30,3 \text{ МДж/м}^3$) и 60 (при $Q_H = 26,9 \text{ МДж/м}^3$); $\alpha_1 = 1,08$; $K_p \cdot p = 3$.



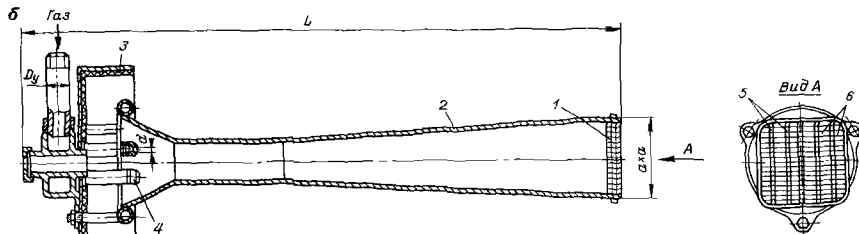
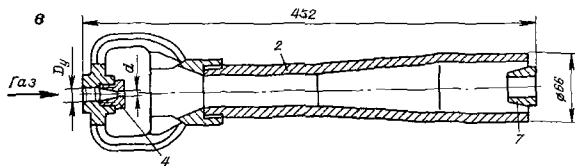


Рис. 12.7. Инжекционные горелки ИГК конструкции МосгазНИИпроект.

a—*б* — с пластинчатым стабилизатором (*a* — односопловая, *б* — четырехсопловая); *в* — с конусным стабилизатором односопловая; *1* — пластинчатый стабилизатор; *2* — смеситель; *3* — воздушная заслонка; *4* — сопло; *5* — стержни, предотвращающие отрыв; *6* — пластины, предохраняющие от проскака; *7* — конусный стабилизатор.



Основные характеристики горелок

Тип горелки	Номинальные			Коэффициент избытка первичного воздуха при номинальном режиме
	тепловая мощность, кВт	расход природного газа, м ³ /ч (с $Q_H = 34,5$ кДж/м ³)	давление газа, кПа	
ИГК1-6	78	8,1	68	1,02
ИГК1-15	220	23,0	70	1,02
ИГК1-25	425	44,5	70	1,08
ИГК1-35	500	53,0	70	1,03
ИГК4-50	820	86,0	70	1,05
ИГК4-100	1570	165,0	70	1,04
ИГК4-150	2200	230,0	68	1,1

ИГК конструкции Мосгазниипроекта

Длина шкела, мм	Коэффициент рабочего регулирования	Размеры, мм				Масса, кг
		B	d	a	D_y	
116	3,0	452	3,0	—	15	3,6
230	4,0	650	4,3	93,2	15	6,6
700	4,0	930	6,0	118,0	20	10,0
1200	4,8	1000	6,8	134,0	20	12,0
1500	4,1	1180	4,4	154,0	25	13,6
1200	5,2	1472	6,2	200,0	40	28,6
500	5,4	1932	7,5	264,0	50	44,1

Зажигание горелок ИГК с пластинчатым стабилизатором возможно при полностью открытой воздушной заслонке. Коэффициент избытка первичного воздуха в рабочем диапазоне составляет 1,04—1,10.

Применение горелок ИГК в топках даже с небольшим противодавлением приводит к перегреву и короблению пластинчатых стабилизаторов, поэтому они не рекомендуются для высокотемпературных печей. Техническая характеристика горелок ИГК приведена в табл. 12.4. Горелки ИГК1-15, ИГК1-25 и ИГК-135 (рис. 12.7, а) имеют одно сопло, а горелки ИГК-450, ИГК4-100 и ИГК4-150 (рис. 12.7, б) — четыре сопла.

Горелки БИГ конструкции Ленгипроинжпроект и Промэнергогаза. Блочные инжекционные горелки среднего давления с периферийной выдачей газа (типа БИГ) (рис. 12.8) по результатам государственных испытаний рекомендованы для котлов и других агрегатов, работающих под разрежением 5—30 Па.

Все рассмотренные выше горелки имеют значительные габаритные размеры при сравнительно небольшом расходе газа и создают шум, возрастающий с увеличением их размеров и повышением давления газа. При этом наименьший шум создают горелки с пластинчатыми стабилизаторами, в особенности при оборудовании их специальной регулировочной шайбой со звукопоглощающей прокладкой.

Стремление сократить длину горелок, уменьшить звуковое давление и увеличить диапазон эксплуатационного регулирования привело к появлению инжекционных блочных горелок, в которых один смеситель заменяется несколькими меньшего размера.

Горелка состоит из нескольких цилиндрических инжекционных смесителей, объединенных в один блок общим газораспределительным коллектором (газовой камерой). Подвод газа в каждый смеситель (рис. 12.8, а и узел А) осуществляется четырьмя перифе-

рийными соплами, выполненными в виде косых сверлений в стенках смесителей под углом 25° к их оси. При этом несколько возрастают аэродинамические потери в смесителе, но одновременно на более коротком пути выравниваются поля концентраций газ—воздух и увеличиваются (по сравнению с осесимметричным подводом газа) скорости смеси по периферии смесителей. Это позволяет несколько сократить длину смесителей и заметно повысить стабильность горения в отношении проскока пламени.

Исследования показали, что выравнивание полей концентраций в смесителях с четырьмя периферийными соплами происходит на длине, равной 5,5—6 диаметрам смесителей, а с осесимметричными соплами — на длине, равной 7—7,5 диаметрам. Дальнейшее увеличение числа сопел нецелесообразно, так как длина смесителей уменьшается незначительно.

Достоинством периферийного подвода газа является и то, что при этом осуществляется осевой вход инжектируемого воздуха при минимальных аэродинамических сопротивлениях и обеспечивается удобный визуальный осмотр пламени в туннеле и топке в период эксплуатации. Так как габаритные размеры смесителей незначительны, то установка таких горелок производится в стенках топки (рис. 12.8, а). Это обеспечивает компактность газового оборудования тепловых агрегатов, а при установке на боковых стенках котлов не загромождает проходов между ними.

Форма коллектора в зависимости от условий размещения горелок и расхода газа принята продольной одио- (рис. 12.8, в), двух- и трехрядной прямоугольной (рис. 12.8, б, в) или круглой. Прямоугольная форма позволяет компоновать горелки из нескольких блоков в зависимости от необходимого расхода газа.

Технические характеристики горелки БИГ приведены в табл. 12.5, а расходные характеристики — на рис. 12.9.

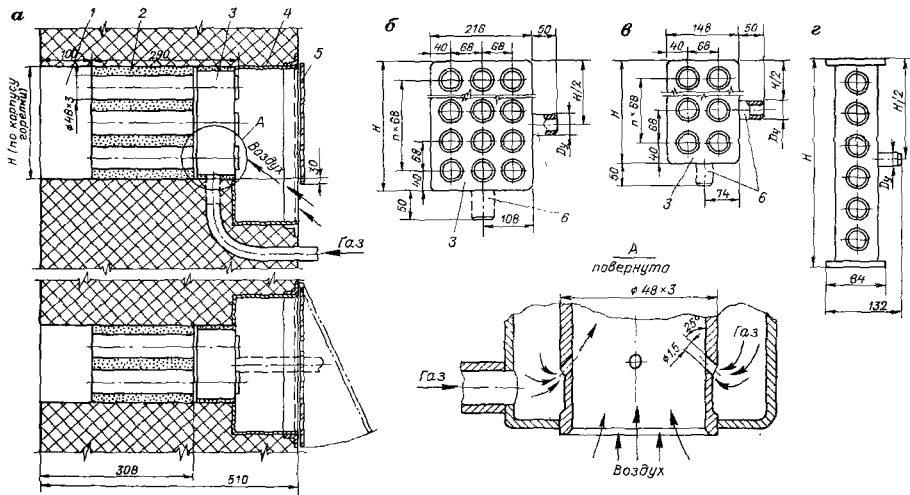


Рис. 12.8. Иижекционные горелки БИГ конструкция Промэнергогаза.

а — схема установки горелки в кладке котла; б—г — горелки: б — трехрядная, в — двухрядная, г — однорядная; 1 — керамический стабилизирующий туннель; 2 — набивка из огнеупорной массы между элементами-смесителями; 3 — горелка; 4 — шумопоглощающая прокладка; 5 — шторка из прозрачного материала; 6 — подводящий газопровод.

ТАБЛИЦА 12.5

Основные характеристики горелок БИГ

Тип горелки	Номинальные			Коэффициент рабочего регулирования	Основные размеры, мм		Масса, кг
	тепловая мощность, кВт	давление, кПа	расход газа, м ³ /ч		H	Dy	
БИГ-1-1	96	80	9,7	3,5	70	15	1,4
БИГ-1-11	1035	80	106,7	3,5	762	40	14,7
БИГ-1-14	1342	80	135,8	3,5	966	40	18,8
БИГ-1-16	1534	80	155,2	3,5	1102	40	21,5
БИГ-1-18	1726	80	174,6	3,5	1238	50	24,0
БИГ-1-22	2110	80	213,4	3,5	1510	50	29,2
БИГ-2-6	577	80	58,2	3,5	218	20	7,7
БИГ-2-8	766	80	77,6	3,5	286	20	10,0
БИГ-2-10	959	80	97,0	3,5	354	40	12,5
БИГ-2-12	1150	80	116,4	3,5	422	40	14,7
БИГ-2-14	1342	80	135,8	3,5	490	40	17,0
БИГ-2-16	1534	80	155,2	3,5	558	40	19,4
БИГ-3-21	2013	80	203,7	3,5	490	50	24,6
БИГ-3-24	2302	80	232,8	3,5	558	50	28,1

Примечания. 1. Для всех горелок α_1 (при номинальном давлении) равен 1,02, а номинальная длина пламени 1500 мм. 2. В обозначении горелок первая цифра — размещение горелок (1 — в один ряд, 2 — в два ряда, 3 — в три ряда), вторая цифра — число смесителей.

Стабилизация пламени обеспечивается прямоугольным керамическим туннелем длиной 100 мм. Горелки БИГ не имеют воздушных заслонок и обеспечивают полное сгорание газа в рабочем режиме при $\alpha_1 = 1,02 \div 1,05$. Наблюдение за горением газа и розжиг горелок можно осуществлять через открытые торцы смесителей горелки.

Горелки инфракрасного излучения (ГИИ). Для сушки, нагрева материалов и изделий, отопления некоторых зданий и сооружений широко применяются горелки нижекреционные (излучающие), обеспечивающие качественное сжигание газового топлива и эффективное использование его. К излучающим горелкам можно отнести газовые горелки инфракрасного излучения, радиационные трубы, темные излучатели, радиационные чашеобразные, плоско-пламенные горелки и др. Создано много конструкций излучающих горелок различной тепловой мощности и назначения. Они успешно применяются в промышленности и сельском хозяйстве, на транспорте и в строительстве.

Наиболее широкое применение получили горелки инфракрасного излучения (ГИИ). Их особенности:

1) газ сгорает без видимого факела на излучающей насадке, которая нагреваясь, служит источником инфракрасного излучения;

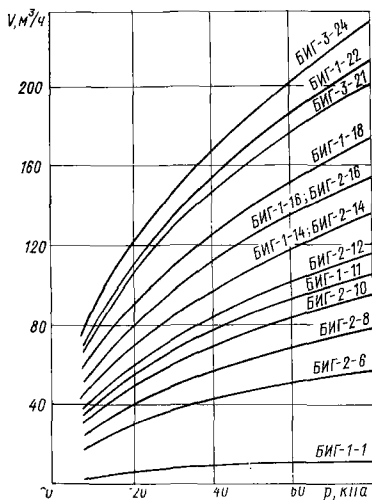


Рис. 12.9. Расходные характеристики горелок БИГ при $\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$ и $t = 0^\circ\text{C}$.

2) первичный воздух должен подаваться в количестве, необходимом для полного сжигания газа;

3) проскок пламени наступает от повышения тепловой мощности сверх установленных пределов;

4) большая полнота сгорания газового топлива по сравнению с факельными горелками;

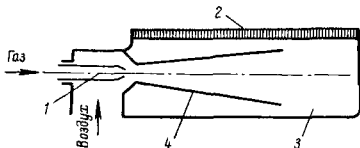
5) передача теплоты происходит в основном (40—60%) за счет излучения;

6) содержание оксидов азота в продуктах сгорания значительно ниже по сравнению с факельными горелками.

ГИИ работают удовлетворительно только при $\alpha_1 = 1,05-1,10$. Незначительные отклонения его от указанных значений резко ухудшают работу горелок. При увеличении α_1 (до 1,25—1,40) падает температура насадка и понижается количество теплоты, передаваемое излучением. При дальнейшем увеличении α_1 насадка становится темной и газ горит вытянутым неустойчивым факелом. При уменьшении α_1 фронт пламени становится сплошным, появляются длинные желтые языки, насадок темнеет и количество теплоты, передаваемое излучением, резко уменьшается.

Рис. 12.10. Схема газовой горелки инфракрасного излучения.

1 — сопло; 2 — насадок;
3 — распределительная камера;
4 — инжекционный смеситель.



Газ, вытекая из сопла (рис. 12.10), инжектирует воздух в количестве, достаточном для его полного сжигания ($\alpha_1 = 1,05 \div 1,10$). В инжекционном смесителе газ тщательно перемешивается с воздухом. Затем подготовленная газовоздушная смесь поступает в распределительную камеру, из которой проходит через насадок и сгорает на ее поверхности. Горение происходит на поверхности насадка, который накаляется до $800\text{--}900^\circ\text{C}$ и посылает инфракрасные лучи.

По типу излучающего насадка ГИИ можно разделить на три группы: 1) керамические; 2) металлокерамические и 3) металлические. Керамические насадки могут состоять из перфорированных или пористых керамических плиток. Металлокерамические насадки имеют дополнительно металлическую сетку из жаростойкой стали, расположенную в $8\text{--}12$ мм над керамическими плитками. Применение сетки дает возможность повысить количество теплоты, передаваемой излучением, улучшить равномерность нагрева насадка и полноту сгорания газа, а также несколько повысить ветроустойчивость. Металлический насадок представляет собой набор жаростойких металлических сеток или перфорированных плит из жаростойкого чугуна.

Керамический перфорированный насадок склеивается из отдельных плиток размером $65 \times 45 \times 12$ мм на огнеупорной замазке. На каждой плитке имеется большое число цилиндрических или конических каналов. Диаметры каналов могут быть 1,75; 1,55; 1,35; 1,20; 1,00; 0,8 и 0,65 мм. Живое сечение плиток в зависимости от диаметра каналов колеблется от 45 до 18%.

Существует несколько составов керамических масс для изготовления перфорированных плиток. Материалы для приготовления плиток предварительно высушивают, измельчают, затем смешивают в пропорциях, указанных в табл. 12.6, и добавляют воду. Подготовленную массу обезвоживают на фильтр-прессах до конечной влажности $25\text{--}30\%$. После выдержки массы в течение $20\text{--}25$ ч из нее изготавливают перфорированные плитки на специальных прессах с игольчатыми пуансонами необходимого размера. Далее плитки сушат и обжигают при температуре $950\text{--}1200^\circ\text{C}$ (в зависимости от типа массы). Выгорающие добавки применяют для уменьшения плотности и создания пористости (снижения теплопроводности).

Для склеивания плиток применяют замазки двух составов, %:

1) шамотный порошок 85 и цемент марки 500 (состав замешивается

Состав масс, %, для изготовления перфорированных керамических плиток

Компонент	Тип массы					
	I	II	III	IV	V	VI
Глины:						
часовьярская	55	10	40	—	45	55
латненская	—	—	—	65	30	30
Тальк	30	—	20	30	—	—
Каолин сырой	—	60	25	—	—	—
Шамот каолиновый	—	30	—	—	20	—
Диатомит	—	—	—	—	—	—
Оксиды:						
хрома	5	—	5	5	5	5
железа	—	—	—	—	—	—
Асбест	10	—	10	—	—	10
Выгорающие добавки сверх 100%:						
древесные опилки	10	—	10	—	—	—
древесный уголь	—	20	—	—	—	—
лигнин	—	—	—	50	20	15

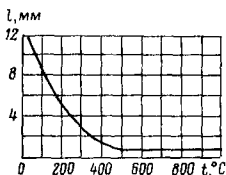
на жидком стекле) 15; 2) керамическая мука 70 и жидкое стекло 30.

Гидравлическое сопротивление перфорированных плиток зависит от диаметра каналов и колеблется в пределах $\Delta p = 1 \div 8$ Па. Это позволяет создавать инжекционные горелки низкого давления, работающие с коэффициентом избытка первичного воздуха $\alpha_1 = 1,05 \div 1,10$.

Принцип действия керамического перфорированного насадка следующий. Газовоздушная смесь из распределительной камеры проходит через отверстия плиток и сгорает у наружной поверхности насадка. Отрыв пламени предотвращается малой скоростью газовоздушной смеси в каналах плитки, а проскок пламени — размерами каналов, которые меньше критических. От плоского факела, состоящего из множества коротких пламен с синеватым оттенком, наружная поверхность насадка разогревается. Через 40—50 с после зажигания горелки температура поверхности насадка достигает 800—900 °С. Это обеспечивает дополнительную стабилизацию фронта горения. После разогрева горение идет без видимого пламени. При нормальной эксплуатации горелки, когда температура насадка не превышает 900—920 °С, горение происходит над поверхностью плиток.

На рис. 12.11 показано распределение температур по толщине плитки (по оси ординат отложено расстояние l от излучающей поверхности в глубь плитки). Благодаря малой теплопроводности материала, из которого изготовлены плитки, температура плитки (с увеличением ее толщины) резко падает. Только на расстоянии 1,0—1,5 мм от излучающей поверхности температура уменьшается

Рис. 12.11. Распределение температуры по толщине перфорированной керамической плитки.



незначительно. При дальнейшем увеличении толщины плитки температура резко падает, не превышая на тыльной стороне плитки 150—50 °С. Это обеспечивает надежную работу горелки.

При увеличении тепловой мощности более чем на 550 Вт температура поверхности плитки превышает 920 °С, газоздушная смесь внутри каналов подогревается до температуры воспламенения и зона горения перемещается в каналы. Температура наружной поверхности плиток уменьшается. При дальнейшем разогреве плитки горение все больше продвигается в глубь каналов и наступает проскок пламени в распределительную коробку горелки. В результате этого либо горелка может погаснуть, либо горение может перенестись к соплу, то и другое недопустимо.

Описанные выше перфорированные керамические плитки имеют плоскую поверхность. Кроме того, применяют керамические плитки с ребристой или холмистой излучающими поверхностями. Плитки с ребристой поверхностью и малым диаметром каналов (рис. 12.12) дают возможность повысить температуру излучающей поверхности насадка ГИИ до 1350—1400 °С без проскока пламени при установке в замкнутом объеме, т. е. при наличии обратного излучения. При установке в открытом пространстве температура на излучающей поверхности достигает 1200 °С. Для изготовления высокотемпературных плиток ВНИИГаз рекомендует следующие составы керамических масс:

Состав I, % по массе:		
глинозем технический		80
глина часовьярская		20
Состав II, % (по объему):		
глинозем необожженный		32,5
» обожженный		32,5
глина часовьярская		20
тальк		15

Для повышения пористости и пластичности в приготовленную керамическую массу обоих составов добавляют (сверх 100%) древесный уголь (20%), порошковый бентонит (50%) и машинное масло (0,5%). Влажность рабочей массы 30%. Режим обжига: до 700 °С со скоростью подъема температуры 100 °С/ч; от 700 до 1350 °С — 50 °С/ч, выдержка в течение 4 ч при 1350—1380 °С и охлаждение до 400 °С за 4 ч. При режиме выдержки 1350—1380 °С в печь подается воздух для выгорания древесного угля.

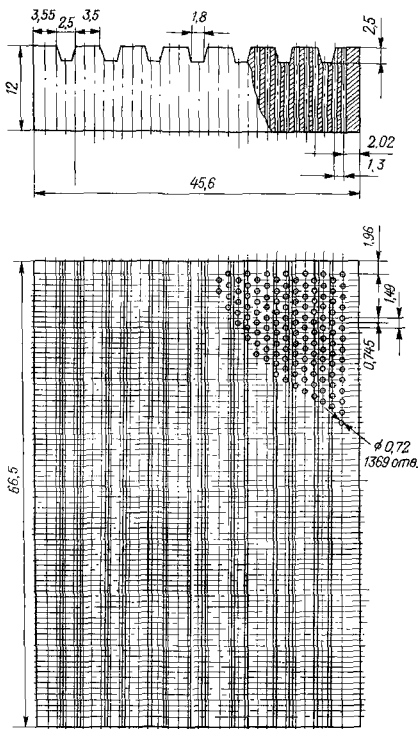


Рис. 12.12. Ребристая перфорированная керамическая плитка для высокотемпературных ГИИ.

Другой разновидностью керамического насадка ГИИ являются пористые керамические плитки, которые могут быть либо склеены из отдельных плиток, либо изготовлены на заводе цельными в виде плоских плит прямоугольной или круглой формы, а также в виде цилиндров (труб), полусфер и т. п. Такая возможность обеспечивается простотой конструкции пресс-форм. Толщина плиток, как правило, 20—30 мм. Плитки склеивают замазкой, состоящей из

порошкообразного шамота, разведенного на жидком стекле до образования густой массы. Склеенные насадки сушатся при температуре 70—100 °С в течение 6 ч.

В отличие от перфорированных, пористые керамические насадки имеют большее гидравлическое сопротивление, поэтому при низком давлении газа невозможно получить $\alpha_1 \geq 1$. В связи с этим пористые керамические насадки применяют для газовых горелок среднего давления или с принудительной подачей воздуха.

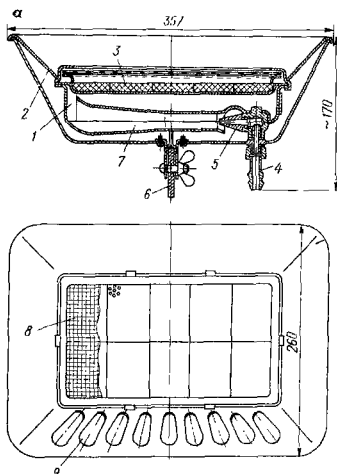
Газовоздушная смесь из распределительной камеры ГИИ проходит через систему узких искривленных каналов (пор) и сгорает у наружной поверхности пористого насадка, образуя большое число отдельных коротких пламен. При разогреве насадка на некоторую глубину пламена становятся незаметными, поверхность нагревается до 850—1000 °С и становится интенсивным источником инфракрасного излучения.

Металлокерамические насадки имеют дополнительно к обычному керамическому (перфорированному или пористому) насадку металлическую сетку, расположенную в 8—12 мм над керамической плиткой и полностью ее перекрывающую. Сетка интенсифицирует процесс сжигания газа, способствует выравниванию температуры поверхности излучающей керамики, обеспечивает дополнительную стабилизацию горения и повышает температуру керамики на 50—100 °С. При работе горелки металлическая сетка раскаляется и служит вторичным излучателем, что увеличивает коэффициент излучения горелки. Так как сетка нагревается до 800—900 °С, она изготавливается из жаростойкой хромоникелевой стали. Рекомендуются металлические сетки из жаростойкой стальной проволоки диаметром 1,1—1,3 мм с размерами квадратной ячейки 2,3—2,5 мм.

Металлические сетки снижают устойчивость горелки к пробою пламени, для предотвращения которого несколько уменьшают номинальные удельные расходы газа для горелок с металлокерамической насадкой (по сравнению с керамической). Сетка уменьшает влияние внешних потоков воздуха и способствует более стабильной работе горелки. Большинство серийно изготавливаемых ГИИ выпускают с металлокерамическими насадками. Существенным недостатком керамических и металлокерамических насадков является хрупкость плиток.

Широко распространенные металлические насадки, лишенные этого недостатка, представляют собой жаростойкие металлические сетки, между которыми сгорает газовоздушная смесь. Сетки раскаляются до 800—900 °С и являются источником инфракрасного излучения. К металлическим насадкам также относятся плиты из перфорированного жаростойкого чугуна.

Принцип работы сетчатых насадков состоит в том, что пламя стабилизируется между двумя сетками. Перемещение зоны горения на поверхность верхней сетки или же проскок пламени через нижнюю сетку приводят к нерабочим режимам. Поэтому верхнюю



сетку берут с размерами ячеек, обеспечивающими просок пламени (2×2 ; 3×3 ; 5×5 мм), а нижнюю — с размерами ячеек меньше критических, предотвращающих просок пламени ($0,35 \times 0,35 \div 1,2 \times 1,2$ мм). Для изготовления насадок используются тканые сетки с квадратными ячейками из нихромовой проволоки Н80Х20 или 1Х18Н9Т.

Температура сетчатого металлического насадка $800\text{--}950^\circ\text{C}$; гидравлическое сопротивление их невелико (до 10 Па). Это дает возможность создавать инжекционные горелки низкого давления, работающие с $\alpha_1 = 1,05 \div 1,10$.

Ниже рассмотрены некоторые типы ГИИ, применяемые в различных отраслях народного хозяйства. Так, ветроустойчивые горелки ГИИВ-1 и ГИИВ-2 предназначены для отопления, тепловой обработки и сушки различных материалов. Горелка ГИИВ-1 (рис. 12.13, а) состоит из корпуса, инжекционного смесителя 7, насадка 3, сопла 5, рефлектора 2 и кронштейна 6. Корпус горелки изготовлен из двух штампованных частей, соединенных контактной сваркой. В сборе он образует инжекционный смеситель 7 и распределительную камеру 1. В корпусе установлена крестовина, в которой на резьбе укрепляются сопло 5 и штуцер для подвода газа 4. Насадок 3 склеен из десяти перфорированных керамических плиток размером $65 \times 45 \times 12$ мм. Каждая плетка имеет 1350 цилиндрических каналов диаметром 1 мм. Живое сечение ее 36%. Насадок устанавливается в рамке, соединенной с корпусом.

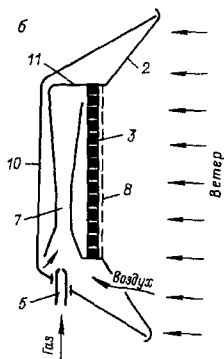


Рис. 12.13. Газовая ветроустойчивая горелка инфракрасного излучения ГИИВ-1.

а — конструктивная схема; *б* — принципиальная схема; 1 — газовая распределительная камера; 2 — рефлектор; 3 — насадок из перфорированных керамических плиток; 4 — штуцер для подвода газа; 5 — сопло; 6 — кронштейн для крепления горелки; 7 — инжекционный смеситель; 8 — сетка из жаростойкой стали; 9 — отверстия для подачи воздуха; 10 — дополнительный кожух; 11 — корпус горелки.

Над насадком монтируется сетка 8 из жаростойкой стали. Кронштейн 6 предназначен для крепления горелки.

Подводимый к штуцеру газ вытекает из сопла 5 и инжектирует в смеситель воздух с $\alpha_1 = 1,05$. Воздух в корпус горелки поступает через отверстия 9. Предварительно подготовленная газовоздушная смесь попадает в распределительную камеру, проходит через насадок и сгорает на его поверхности, накаляя последний до 800—900 °С. Сетка из жаропрочной стали также раскаляется и обеспечивает более равномерный нагрев керамики, некоторое повышение температуры поверхности плиток и увеличивает мощность радиации.

Для защиты от ветра горелка оборудована специальным кожухом. Погасание горелок на ветру вызывается двумя причинами: 1) давлением, создаваемым ветром перед насадком и приводящим к уменьшению α_1 и, следовательно, к факельному неустойчивому горению; 2) конвективным теплосъемом холодными потоками воздуха, вызывающим потемнение насадка и нарушение стабилизации горения. Обе эти причины действуют одновременно. Степень воздействия их на горелку зависит от силы ветра.

На рис. 12.13, б дана принципиальная схема горелки ГИИВ-1, поясняющая работу устройства для защиты от ветра. Воздух, необходимый для сгорания газа, подсасывается инжектором через отверстия в рефлекторе, размер которых выбирается так, чтобы давление в самом кожухе и перед рефлектором поддерживалось практически одинаковым. Сила ветра, преобразуясь в статическое давление, воздействует на насадок и одновременно через отверстия в рефлекторе на инжектор. Это создает постоянный перепад давлений на насадке горелки независимо от силы ветра и позволяет

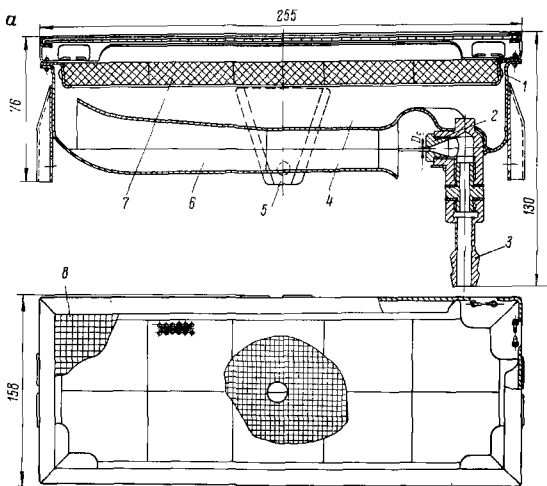


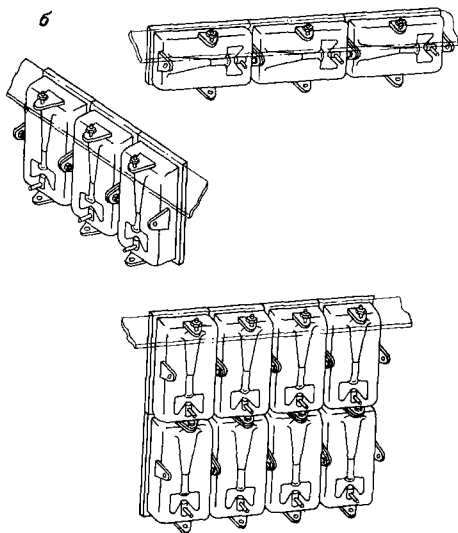
Рис. 12.14. Блочная инъекционная горелка

a — конструктивная схема; *б* — схема компоновки панелей (блоков) из горелок ГИИБл
 1 — штуцер для подвода газа; 2 — распределительная камера; 3 — крошштейн; 4 — инжек
 ток; 5 — сетка из

сохранять неизменным коэффициент инжекции, что обеспечивает качественное сжигание газа. Расположение отверстий для подачи воздуха к инжектору в нижней части рефлектора позволяет исключить влияние удаляемых продуктов сгорания на работу горелки.

Ветрозащитный кожух исключает первую из указанных выше причин погасания горелок. Могут быть и другие пути повышения ветроустойчивости горелок. Так, увеличение гидравлического сопротивления насадка способствует ветроустойчивости горелки, но при этом возникает необходимость использовать газ среднего давления. Вторую причину погасания горелок на ветру надо устранять за счет повышения температуры поверхности насадка.

Горелка ГИИБ-1 работает устойчиво при скорости ветра до 5,5 м/с и тепловой мощности 1,98—3,72 кВт (при сжигании природного газа) и 1,98—2,91 кВт (при сжигании СУГ). При большой скорости ветра резко сказывается влияние конвективного тепло-



ка инфракрасного излучения ГИИБл.
и их крепления к металлическим конструкциям; 1 — корпус; 2 — газовое сопло; 3 —
циклонный смеситель; 7 — излучающий насадок из перфорированных керамических пля-
жаростойкой стали.

сьема потоком воздуха. Горелки ГИИБ-1 могут быть установлены в помещении и на открытом воздухе.

Промышленность выпускала горелки ГИИБ-2 и «Марс», которые по устройству, принципу работы и области применения аналогичны горелке ГИИБ-1. Тепловая мощность ГИИБ-2 5,1—9,3 кВт (на природном газе) и 4,7—8,1 кВт (на сжиженном). Излучающий насадок ее склеен из 20 керамических плиток размером $65 \times 45 \times 12$ мм. Горелки ГИИБ-1 и ГИИБ-2 работают на низком давлении, Па: для природного газа 600—2000, для сжиженного — 1500—4000.

Для сушки и тепловой обработки материалов широко применялись горелки ГИИБл (рис. 12.14, а). Тепловая мощность ее при работе на природном газе 1,98—3,72 кВт. Насадок горелки, как и у ГИИБ-1, склеен из 10 перфорированных плиток. Горелка проста по конструкции и технологична в производстве. ГИИБл

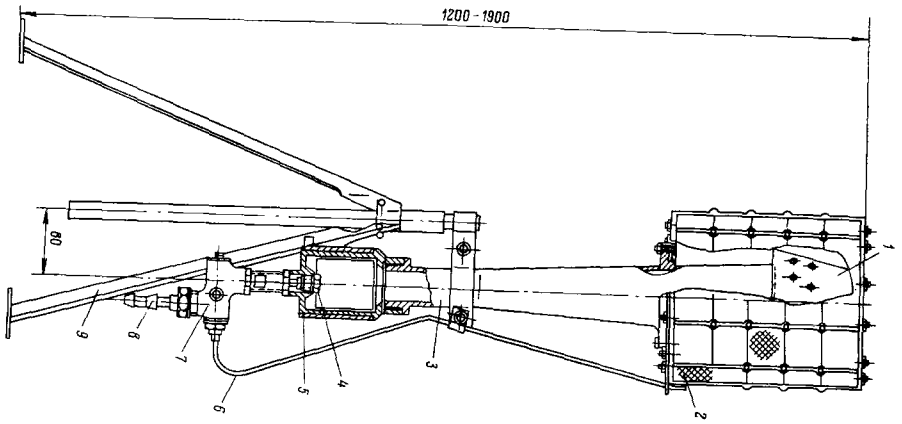


Рис. 12.15. Газовая горелка инфракрасного излучения ГК-1-38 типа «фонарь»,
1 — рассекаТЕЛЬ; 2 — насадок из перфорированных керамических плиток; 3 — инжек-
ционный смеситель; 4 — сопло; 5 — регулировочная шайба; 6 — терморпара типа ХК;
7 — электромагнитный клапан; 8 — штуцер для подвода газа; 9 — подставка.

могут собираться в панели (блоки) из нескольких горелок (рис. 12.14, б). На каждой горелке имеются четыре кронштейна, при помощи которых они на болтах М6×25 могут соединяться между собой или крепиться к металлическим конструкциям, что дает возможность применять эти горелки для различных целей.

К недостаткам ГИИ с керамическими и металлокерамическими насадками относится их чувствительность к динамическим нагрузкам. Слабым звеном является излучающая керамика, склеенная огнеупорным раствором из отдельных плиток.

Вибростойчивая блочная горелка ВИГ-1 обладает повышенной надежностью крепления керамики, способной выдержать небольшие вибрационные и ударные нагрузки. Каждая плитка излучающего насадка горелки вклеена в индивидуальный металлический держатель. Держатели смонтированы в пластину, которая прикрепляется к корпусу горелки. Горелки ВИГ-1 можно применять на передвижных установках и в местах, где горелки могут подвергнуться ударным нагрузкам. Эти горелки также позволяют компоновать панели (блоки) инфракрасного излучения различных форм и размеров, аналогично показанной на рис. 12.14, б. По форме, размерам, тепловой мощности ВИГ-1 идентична ГИИБл. Горелки ГИИВ-1, ГИИВ-2, «Марс», ГИИБл, ВИГ-1 и другие разработаны СКБ «Газприборавтоматика». Гипронигаз (г. Саратов) также является разработчиком многих конструкций ГИИ.

Горелка ГК-1-38 типа «фонарь» (рис. 12.15) состоит из насадка, инжекционного смесителя, сопла, подставки и узлов автоматики безопасности. Насадок цилиндрической формы склеен по металлическому каркасу из 50 перфорированных керамических плиток. Подставка, входящая в комплект горелки, служит для вертикальной установки последней на разной высоте. Горелка снабжена автоматикой безопасности, выполняющей функцию контроля горения. Хромель-копелевая терморпара устанавливается возле насадка. При работе горелки керамический насадок раскаляется и за счет излучения нагревает терморпару, в которой создается ТЭДС. Электрический ток по проводам подается к электромагнитному клапану, который и открывает проход газа к горелке. При погасании пламени терморпара охлаждается, ток в цепи пропадает и соленоидный вентиль отключает подачу газа. При розжиге горелки необходимо нажать на кнопку электромагнитного клапана, который при этом откроет подачу газа к горелке. Через 30—60 с (после разогрева насадка) кнопку можно опустить, так как клапан остается открытым под действием ТЭДС нагретой терморпары.

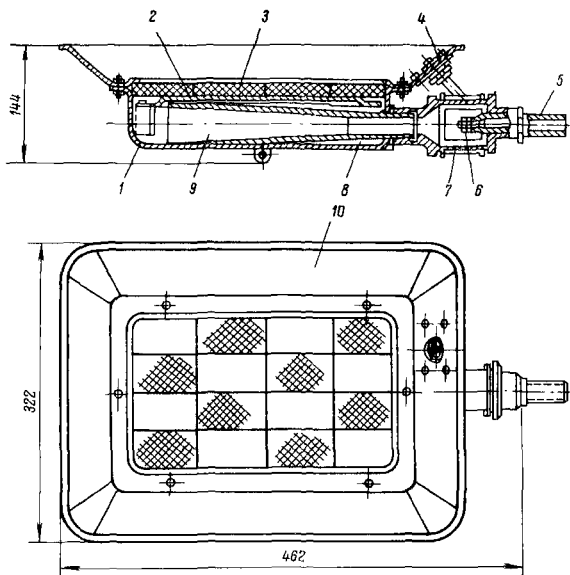


Рис. 12.16. Газовая горелка инфракрасного излучения ГИИ-19А.

1 — штампованный металлический корпус; 2 — рассекатель; 3 — насадок из перфорированных керамических плиток; 4 — электронная свеча; 5 — штуцер для подвода газа; 6 — сопло; 7 — регулировочная шайба; 8 — распределительная камера; 9 — инжекционный смеситель; 10 — рефлектор.

Предназначена горелка для ускоренной сушки штукатурки и прогрева стен в строящихся или ремонтируемых помещениях, а также для других видов тепловой обработки различных материалов.

Ранее выпускаемая Саратовским заводом газовой аппаратуры (ныне «Газавтоматика») горелка ГИИ-19А (рис. 12.16) состоит из штампованного металлического корпуса, насадка, склеенного из 12 перфорированных керамических плиток, инжекционного смесителя, газового сопла, регулировочной шайбы первичного воздуха, рассекателя и рефлектора. Насадок вмонтирован в корпус на огнеупорной замазке. Горелка работает на природном и сжиженном газе низкого давления и применяется для отопления помещений, технологической сушки и т. д.

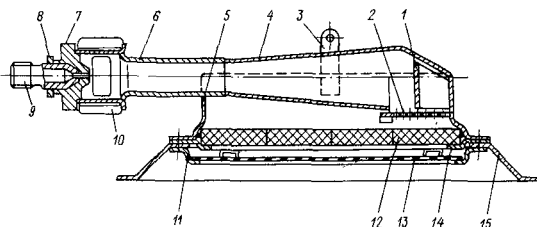


Рис. 12.17. Горелка КГ-27У-1.

1 — рассекатель; 2 — распределитель; 3 — ушко; 4 — корпус; 5 — смеситель; 6 — инжектор; 7 — сопло; 8 — контргайка; 9 — штуцер; 10 — регулировочная шайба; 11 — рамка верхняя; 12 — насадок из перфорированных керамических плиток; 13 — сетка-экран из жаростойкой стали; 14 — рамка нижняя; 15 — рефлектор.

Горелка КГ-27У-1 (рис. 12.17) имеет штампованный корпус и излучающий насадок, состоящий из 16 перфорированных плиток с диаметром каналов 1,55 мм и жаростойкой стальной сетки. Номинальная тепловая мощность 6,4 (при работе на природном газе) и 5,2 кВт (при работе на сжиженном газе).

Горелки инфракрасного излучения «Звездочка» и «Унифицированная» (рис. 12.18) разработаны ДНПО «Газоаппарат» и выпускаются серийно Казанским заводом газовой аппаратуры (табл. 12.7).

Газовая горелка «Звездочка» предназначена для обогрева людей, отдельных предметов и тепловой обработки материалов. Она может устанавливаться только в вентилируемых помещениях. Для отопления горелку «Звездочка» целесообразно использовать в низ-

ТАБЛИЦА 12.7

Основные характеристики горелок инфракрасного излучения «Унифицированной» и «Звездочка»

Показатели	Горелка «Унифицированная»			Горелка «Звездочка»	
	сжиженный газ	природный газ		сжиженный газ	природный газ
Номинальная тепловая мощность, кВт	3,72	3,49	4,48	1,92	
Номинальное давление газа, кПа	3,0	1,3	2,0	3,0	1,3
Коэффициент избытка воздуха при номинальном режиме		1,05			
Коэффициент рабочего регулирования	1,2	1,14	1,29	1,74	1,56
Диаметр газового сопла d , мм	1,05	1,67	1,60	0,8	1,4

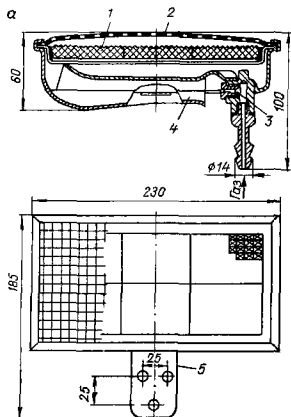
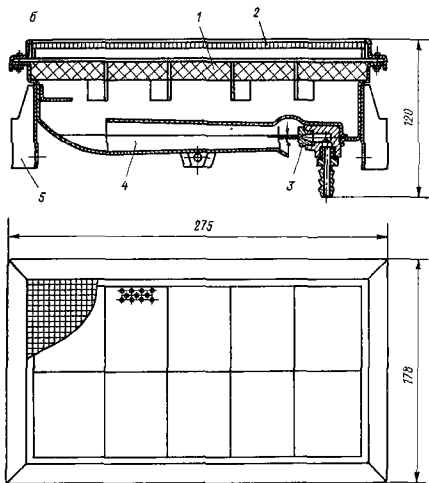


Рис. 12.18. Горелки инфракрасного излучения «Звездочка» (а) и «Унифицированная» (б).

1 — налучатель керамический; 2 — сетка-экран; 3 — сопло; 4 — смесь-мель; 5 — кронштейн.



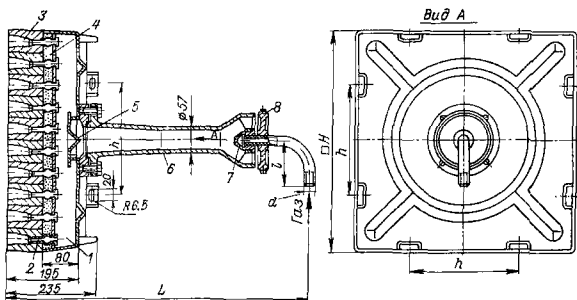


Рис. 12.19. Горелка беспламенная панельная ГБПШ конструкции ВНИИнефтемаша.

1 — распределительная камера; 2 — металлическая трубка; 3 — туннель; 4 — изоляционный слой; 5 — рассекатель; 6 — смеситель; 7 — сопло; 8 — воздушная заслонка (шибер).

ких помещениях (до 3 м), т. е. там, где неприменимы более мощные горелки. Насадок ее склеен из шести керамических перфорированных плиток. «Звездочка» имеет специальные кронштейны для установки и крепления.

Горелка «Унифицированная» предназначена для тепловой обработки различных материалов и изделий, для локального обогрева рабочих мест и оборудования, а также для отопления производственных и коммунально-бытовых вентилируемых помещений. Горелка имеет кронштейны для крепления к металлическим конструкциям, а также для соединения горелок между собой в излучающую панель. Для повышения виброустойчивости излучающий насадок ее смонтирован из склеенных попарно в торце керамических перфорированных плиток, опирающихся на отбортовку в корпусе горелки. Дополнительные продольные и поперечные накладочки предотвращают выпадение плиток из корпуса горелки даже в случае разрушения склеивающей массы. Для удобства ремонта рамка сетки сделана съемной на винтах.

Горелки беспламенные панельные ГБПШ конструкции ВНИИнефтемаша (рис. 12.19). Предназначены для сжигания природного газа в трубчатых печах нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, газовой и других отраслей промышленности, где требуется равномерный нагрев больших поверхностей. Принцип работы горелки следующий. Газ по подводящему трубопроводу поступает к соплу горелки и, вылетая с большой скоростью из него, подсасывает в инжектор воздух, необходимый для полного сгорания газа ($\alpha_1 = 1,04 \div 1,05$). В инжекционном смесителе газ тщательно перемешивается с воздухом, после чего газозвудушная

Основные технические характеристики горелок ГБШ конструкции ВНИИнефтемаша

Показатели	ГБШ-45	ГБШ-65	ГБШ-120	ГБШ-140	ГБШ-200	ГБШ-280
Номинальная тепловая мощность, кВт	52,4	98,9	133,5	186	219	308
Номинальное давление газа, кПа		190		155	150	145
Номинальный расход газа (с $Q_n = 33,6$ МДж/м ³), м ³ /ч	5,6	10,6	14,3	20	23,5	33
Коэффициент избытка воздуха α при номинальном режиме		1,04		1,05		1,04
Коэффициент рабочего регулирования	2		1,9		3,5	3,3
Размеры, мм:						
L			740			945
l			110			153
H	500	500	605	500	605	500
h	250	250	300	250	300	250
d			Труб. 1/2"			Труб. 1"
d_1 (диаметр сопла)	—	—	2,3	2,7	4,1	4,5
Масса, кг	27,5	28,3	35,5	28,7	36,3	38,4

смесь попадает в распределительную камеру, откуда направляется по металлическим трубкам в туннели со скоростью, намного превышающей скорость распространения пламени. Чтобы избежать неравномерного снижения концентрации газа, после смесителя устанавливают рассекатель. После выхода из трубок газовоздушная смесь сгорает в керамических огнеупорных туннелях, которые служат стабилизаторами горения. За счет теплоты уходящих газов и передатки теплоты от раскаленных туннелей вся поверхность излучающей панели нагревается до 900—1100 °С. Горелки ГБШ изготавливает новочеркасский завод «Нефтемаш». Технические характеристики этих горелок приведены в табл. 12.8, расходные характеристики их — на рис. 12.20.

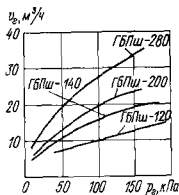


Рис. 12.20. Расходные характеристики горелок ГБШ.

12.3.2. ИНЖЕКЦИОННЫЕ ГОРЕЛКИ С $\alpha_1 < 1$

По принципу работы эти горелки аналогичны рассмотренным выше инжекционным горелкам с $\alpha_1 > 1$. Различие заключается только в том, что горелки с $\alpha_1 < 1$ (с частичной инжекцией) требуют подвода в зону горения дополнительного воздуха.

Воздух, инжектируемый в смесителя горелок, называется первичным, а дополнительный воздух, поступающий к пламени из окружающей атмосферы, — вторичным. Частичная инжекция первичного воздуха обеспечивает устойчивость пламени в отношении отрыва и проскока в сравнительно широком диапазоне изменения тепловой мощности без применения искусственных стабилизаторов горения. Обычно инжекционные горелки с $\alpha_1 < 1$ работают в условиях атмосферного давления или разрежения в точке до 20 Па. Это приводит к сохранению коэффициента избытка первичного воздуха α_1 на сравнительно постоянном уровне

при изменении тепловой мощности от необходимого в практике минимума до ее предельных значений. В том случае, когда огневая часть горелки размещается в точке, находящейся под большим разрежением, инжектор горелки оборудуется равновесной камерой, поддерживающей давление воздуха перед ним, равное давлению в точке.

Горелки с частичной инжекцией, как правило, работают на газе низкого давления и широко применяются в бытовых газовых аппаратах и тепловых установках общественного питания и коммунально-бытового назначения.

На рис. 12.21 приведена простейшая инжекционная горелка Бунзена с $\alpha_1 < 1$, предназначенная для химических, физических и других лабораторий. К газопроводу она присоединена резиновым шлангом диаметром 8—10 мм. Первичный воздух в смеситель горелки поступает через приоткрытую шайбу за счет инжекции струи газа, вытекающего из сопла. Вторичный

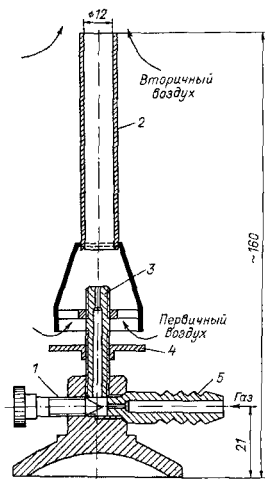


Рис. 12.21. Инжекционная горелка Бунзена для лабораторных нужд.

1 — винт для регулирования расхода газа; 2 — смесительная трубка; 3 — сопло; 4 — шайба для регулирования расхода первичного воздуха; 5 — штуцер для присоединения резинового шланга.

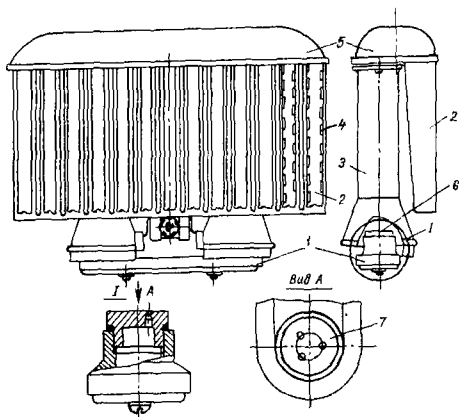


Рис. 12.22. Инжекционная горелка для проточных водонагревателей.
 1 — крышки; 2 — распределительные трубки; 3 — смеситель; 4 — огненные щели; 5 — распределительный коллектор; 6 — диск с тремя соплами; 7 — сопло.

воздух поступает из окружающей атмосферы за счет диффузии и инжектирующего действия струи газозвушной смеси, вытекающей из смесителя. Оптимальная тепловая мощность горелки 1,3 кВт. Диаметры сопел и давление для природного газа соответственно 1 мм и 1300 Па, а для СУГ 0,65 мм и 3000 Па.

Горелки для бытовых газовых плит рассмотрены в гл. 9. На рис. 12.22 приведена оригинальная инжекционная горелка, широко применяемая в проточных водонагревателях. Особенность ее — наличие двух смесителей, присоединенных к общему распределительному коллектору. Газ в каждый смеситель подают через три сопла, что обеспечивает образование однородной газозвушной смеси на коротком пути. Распределитель отливает из алюминиевого сплава СИЛ-2; он имеет 13 трубок со щелевыми отверстиями вдоль оси каждой трубки в два ряда. Щели для выхода газозвушной смеси образованы за счет вырезов в стальных штампованных пластинах, вставляемых в верхнюю часть литых трубок. Стальная поверхность распределительных трубок обеспечивает необходимую термостойкость горелки, работающей в условиях высокого теплового напряжения топочного объема водонагревателя.

Горелка предназначена для сжигания природных и сжиженных углеводородных газов с коэффициентом избытка первичного воздуха $\alpha_1 \approx 0,6$. Устойчивость горения в отношении трыва достиг-

нута за счет малых скоростей вылета смеси и взаимного поджигающего действия пламени, а в отношении проскока — докритическим сечением щелей, ширина которых 1,2 мм.

Техническая характеристика горелки для проточных водонагревателей

Номинальная тепловая мощность, кВт	20,9
Номинальное давление, Па	1300/3000
Расход газа, м ³ /ч	2,1/1,2
Диаметр сопел, мм	1,7/1,0

Эти горелки кроме проточных водонагревателей могут применяться в кипятильниках, дистилляторах, варочных котлах, стиральных машинах и других установках с близкой тепловой мощностью. По этому же типу могут быть сконструированы горелки как на большие, так и на меньшие тепловые мощности.

На рис. 12.23 показаны две инжекционные газовые горелки конструкции Мосгазниипроекта, применяющиеся в автоматических газовых водонагревателях с емкостью по воде 80 и 120 л (АГВ-80 и АГВ-120). Обе горелки изготавливаются литыми из чугуна и предназначены для сжигания как природного, так и сжиженного углеводородного газов. Горелки могут использоваться также и для любых других установок, если они достаточны по тепловой мощности и пригодны по габаритным размерам и форме.

Техническая характеристика инжекционных горелок для автоматических водонагревателей АГВ-80 и АГВ-120

	Горелка для АГВ-80	Горелка для АГВ-120
Номинальная тепловая мощность, кВт	7	14
Номинальное давление газа перед соплом, Па		1300/3000
Расход газа, м ³ /ч	0,7/0,28	1,4/0,55
Диаметр сопел, мм	2,4/1,4	3,2/2,1
Масса, кг	3,6	4,5

На рис. 12.24 показаны две инжекционные горелки конструкции Мосгазниипроекта в литом чугунном исполнении. Эти горелки предназначены преимущественно для отопительных секционных котлов типа ВНИИСТО-Мч, но могут применяться и для других тепловых установок. Основные характеристики и размеры этих горелок при сжигании природного газа приведены в табл. 12.9.

На рис. 12.25 приведена инжекционная многофакельная горелка с продольной формой коллектора конструкции Укрگیпринжпроекта (ныне Укрніннжпроект). Такие горелки изготавливают в литом чугунном исполнении. Они предназначены для секционных котлов с малой теплопроизводительностью и других тепловых установок с топками продольной формы. Основные характеристики распространенных типоразмеров этих горелок для природного газа приведены в табл. 12.10.

Горелки могут использоваться и для сжигания СУГ при условии сохранения номинальной тепловой мощности, повышения номинального давления газа до 3000 Па и соответственным уменьше-

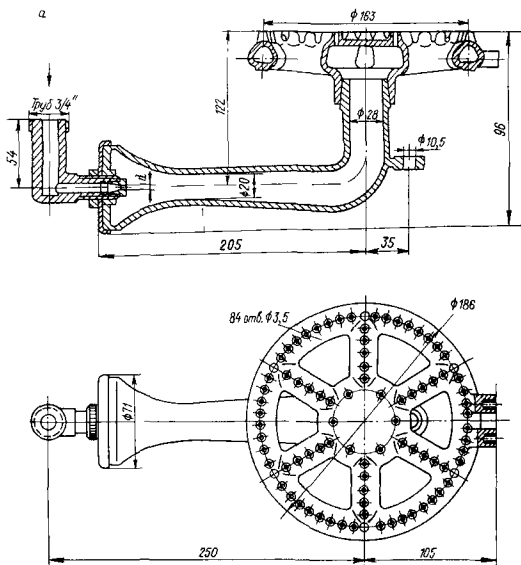
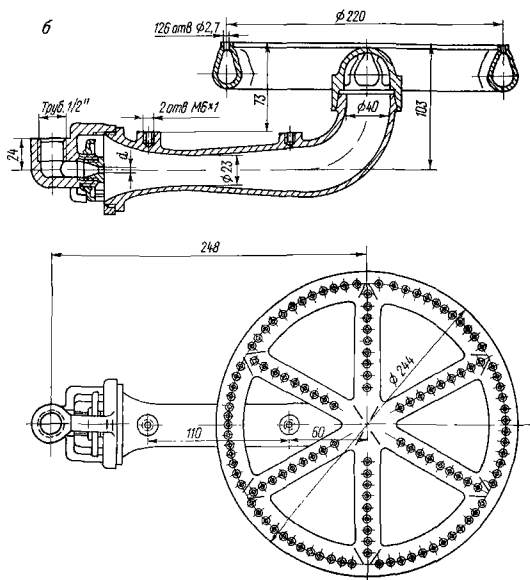


Рис. 12.23. Инжекционные горелки
а — для водонагревателя АГВ-80;

Характеристика инжекционных горелок для

Шифр горелок	Номинальная тепловая мощность, кВт	Природный газ			Сжиженный углеводород		
		Номинальный расход газа, м³/ч	Пределы регулирования		Диаметр сопла d, мм	Номинальный расход газа, м³/ч	Пределы по расходу, м³/ч
			по расходу, м³/ч	по давлению, Па			
305	13,8	1,4	0,27—1,6	50—1800	3,2	0,54	0,1—0,62
381	20,8	2,1	0,41—2,45	50—1800	4,0	0,8	0,14—0,92
2209	26,0	2,6	0,51—3,06	50—1800	4,5	1,0	0,18—1,15
2210	18,6	1,9	0,37—2,2	50—1800	3,8	0,73	0,13—0,8
2211	25,1	2,5	0,5—2,9	50—1800	4,3	0,98	0,18—1,1
2295	30,7	3,1	0,6—3,5	50—1800	4,8	1,2	0,22—1,4

Примечание. Номинальное давление природного и сжиженного углеводорода



для емкостных водонагревателей.
 б — для водонагревателя АГВ-120.

ТАБЛИЦА 12.9

секционных котлов типа ВНИСТО-Мч

газификация	Диаметр сопла d , мм	Размеры, мм						Число огневых каналов n	Масса, кг
		L	L_1	L_2	L_3	D_1	D_2		
по давлению, Па									
100—4000	2,1	470	360	305	180	30	60	98	7,0
100—4000	2,7	502	370	305	264	30	60	142	9,0
100—4000	8,0	580	410	345	338	30	60	146	14,5
100—4000	2,5	681	460	265	390	23	50	78	7,7
100—4000	2,8	840	620	440	470	26	58	110	9,4
100—4000	3,2	1005	790	600	550	35	68	178	14,8

ного газов соответственно 1300 и 3000 Па; $\alpha_1 = 0,5 \div 0,6$.

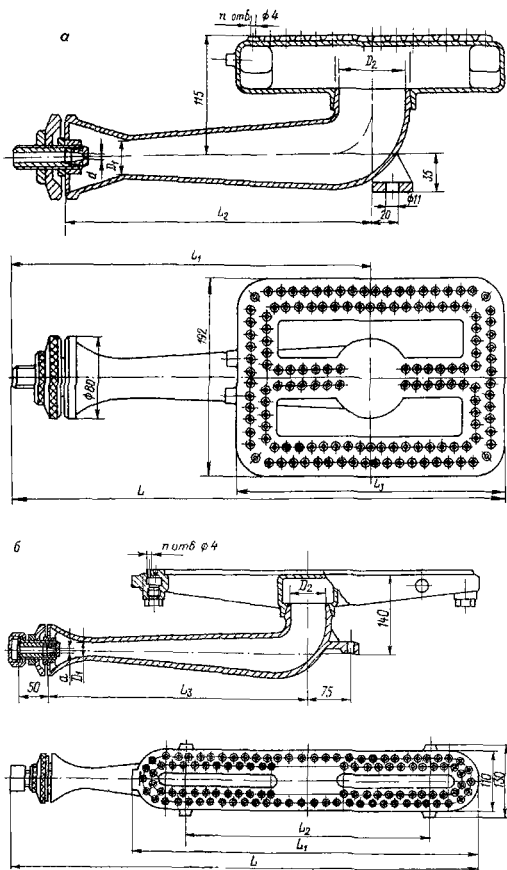


Рис. 12.24. Инжекционные горелки для чугунных секционных котлов ВНИИСТО-Мч.

Горелки для котлов с числом секций: а — 4, 5 и 6; б — 8, 10 и 12.

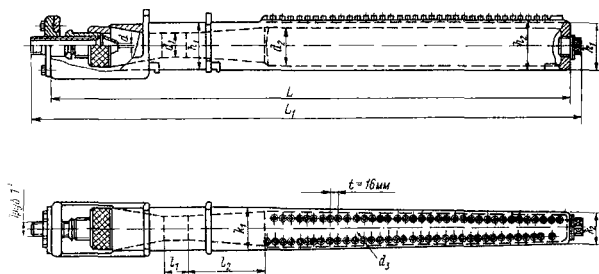


Рис. 12.25. Инжекционная многофакельная горелка в литом исполнении с коллектором удлиненной формы.

нин диаметров сопел. В том случае, когда горелки для работы на СУГ изготавливают индивидуально или небольшими партиями, их выполняют сварными из листовой стали и труб. Такая горелка конструкции Мосгазниипроекта приведена на рис. 12.26, а основные характеристики для природного газа — в табл. 12.11.

В сварных газовых горелках, изготавливаемых из стандартных труб, трудно выдержать расчетные размеры. Кроме того, сопротивление трения в таких горелках больше, чем в литых. Все это несколько ухудшает сгорание газа в сварных горелках. При неизбежности изготавливать сварные горелки следует добиваться *строгой соосности сопла и смесителя, плотной подгонки и качественной приварки стальных пластин, увеличивающих глубину огневых каналов, а также тщательной зачистки последних от образовавшихся при сверлении заусенцев.*

Горелки, показанные на рис. 12.25 и 12.26, имеют сравнительно небольшую тепловую мощность, поэтому они пригодны для секционных котлов с малой поверхностью нагрева.

Стремление использовать инжекционные горелки в современных котлах с большой поверхностью нагрева привело к созданию блочных конструкций с несколькими смесителями, присоединенными к одному газораспределительному коллектору. Устройство такой опытной горелки, предложенной Ленгипроинжпроект, показано на рис. 12.27. Газ в каждый из смесителей подается через три сопла, что выравнивает поля концентраций газ—воздух на коротком пути и сокращает высоту смесителей. Верхняя часть каждого смесителя перекрыта крышкой, и выход газовой смеси организован через несколько боковых прямоугольных щелей. Это приводит к созданию факела, напоминающего розетку с расширяющимися лепестками отдельных пламен, к каждому из

Характеристики инжекционных многофакельных горелок

Шифр горелки	Номинальные		Пределы регулирования		Диаметр сопла d , мм	Раз	
	тепловая мощность, кВт	расход газа, м ³ /ч	по расходу, м ³ /ч	по давлению, Па		d_1	d_2
ГИ-Н-6	49,4	5,0	2,6—5,7	350—1500	6,5	45	56
ГИ-Н-10	82,0	8,3	4,3—9,6	350—1500	8,4	51	70
ГИ-Н-13	104,8	10,6	5,5—12,2	350—1500	9,5	52	80
ГИ-Н-1,7	16,8	1,7	0,9—1,8	350—1500	3,8	30	—
ГИ-Н-2,5	24,6	2,5	1,3—2,7	350—1500	4,6	30	—
ГИ-Н-3,2	31,6	3,2	1,7—3,5	350—1500	5,2	46	—
ГИ-Н-3,8	37,6	3,8	2—4,1	350—1500	5,7	46	—
ГИ-Н-4,2	41,5	4,2	2,2—4,5	350—1500	6,0	46	—

Примечание. Номинальное давление природного газа 1300 Па; $\alpha_1 = 0,5 \div 0,6$.

которых обеспечивается свободный доступ вторичного воздуха. Достоинство такого факела заключается в том, что его форма приближается к форме шатровой топки секционного котла.

Для предотвращения чрезмерного разбавления газозвушной смеси в корне факела вторичным воздухом и для устранения влияния на устойчивость пламени спутного потока воздуха смесители оборудованы конусообразными кольцами, размещенными под щелями. Наличие этих колец обеспечивает высокую устойчивость пламен в отношении их отрыва. Устойчивость горения в отношении проскока достигнута за счет образования в смесителе первичной негорючей газозвушной смеси ($\alpha_1 = 0,4$).

Характеристики инжекционных многофакельных горелок

Шифр горелок	Номинальная тепловая мощность, кВт	Природный газ			Диаметр сопла, мм	Сжиженный угле	
		Номинальный расход газа, м ³ /ч	Пределы регулирования			Номинальный расход газа, м ³ /ч	Пределы р _в по расходу, м ³ /ч
			по расходу, м ³ /ч	по давлению, Па			
ГКС-2,5	18,7	1,9	0,37—2,2	50—1800	3,8	0,74	0,13—0,86
ГКС-3,5	23,7	2,4	0,47—2,8	50—1800	4,2	0,93	0,17—1,1
ГКС-1-3,5	23,7	2,4	0,47—2,8	50—1800	4,2	0,93	0,17—1,1
ГКС-4,5	27,7	2,8	0,55—3,3	50—1800	4,7	1,1	0,2—1,3
ГКС-5	32,6	3,3	0,64—3,9	50—1800	5,0	1,3	0,24—1,5
ГКС-6	46,5	4,7	0,92—5,5	50—1800	5,5	1,8	0,33—2,1
ГКС-8	51,4	5,2	1,0—6,0	50—1800	6,5	2,1	0,38—2,4
ГКС-10	60,2	6,1	1,2—7,2	50—1800	7,0	2,4	0,44—2,8

Примечание. Номинальное давление природного и сжиженного углеводород

ТАБЛИЦА 12.10

в литом исполнении для топок продольной формы

меры, мм									Число огневых каналов	Масса, кг
d_1	B_1	B_2	k_1	k_2	L	L_1	L_2	l_2		
6,5	78	93	70	54	759	812	70	115	44	26
6,5	95	110	84	54	1028	1084	50	160	70	30
5,5 (5,4)	100	115	94	74	1213	1298	50	220	96 (136)	31 (38)
5,0	—	—	—	—	—	540	—	—	22	5,5
5,0	—	—	—	—	—	540	—	—	22	5,5
5,5	—	—	—	—	—	825	—	—	29	8,2
5,5	—	—	—	—	—	825	—	—	29	8,2
5,5	—	—	—	—	—	825	—	—	29	8,2

Горелки конструкции Ленгипроинжпроекта предназначены для сжигания преимущественно природных газов низкого давления. Для этих газов применительно к секционным котлам диаметры смесителей могут быть приняты равными 48 и 60 мм; площади огневых щелей и окон для поступления первичного воздуха примерно одинаковы (~80% от площади смесителей). Расход природного газа ($Q_H = 35,6$ МДж/м³ и $\rho = 0,73$ кг/м³) на смеситель диаметром 48 мм при трех соплах диаметром 5 мм и давлении 1000 Па составляет 8,3, а на смеситель диаметром 60 мм при соплах диаметром 6,2 мм — 13 м³/ч. Число смесителей зависит от тепловой мощности горелки, определяемой поверхностью нагрева котла. Исследования работы

ТАБЛИЦА 12.11

в сварном исполнении для топок продольной формы

водородный газ		Размеры, мм							Число огневых каналов	Масса, кг
гулирования	Диаметр сопла, мм	D	D_1	D_2	L	L_1	L_2	d_1		
по давлению, Па										
100—4000	2,5	60	25	68	828	520	253	5,5	43	4,5
100—4000	2,8	75,5	30	86	1080	740	305	5,0	65	9,3
100—4000	2,8	75,5	30	86	890	550	305	6,0	46	7,6
100—4000	3,2	75,5	30	86	1315	975	305	5,0	88	11,5
100—4000	3,4	75,5	30	86	1490	1150	305	4,5	106	13,0
100—4000	3,7	—	—	—	1160	600	—	6,0	76	12,0
100—4000	4,4	—	—	—	1430	870	—	6,0	112	14,0
100—4000	4,7	—	—	—	1610	1050	—	6,0	134	17,0

ного газов соответственно 1300 и 3000 Па; $\alpha_1 = 0,4 \div 0,6$.

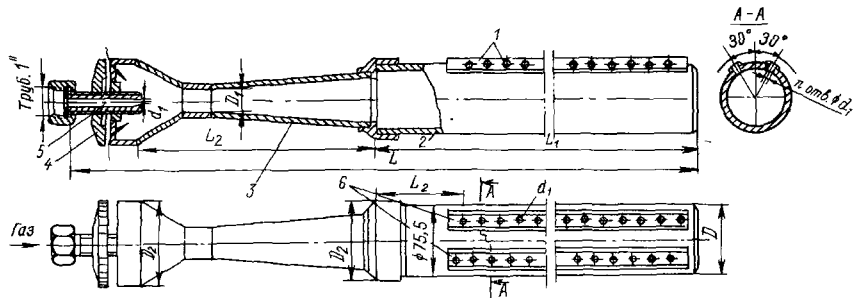


Рис. 12.26. Инжекционная многофакельная горелка в сварном исполнении с коллектором удлиненной формы.

1 — огневые каналы; 2 — распределительный коллектор; 3 — смеситель; 4 — шайба для регулирования первичного воздуха;
5 — сопло; 6 — приварные полосы.

Основные технические характеристики горелок ГГИ
конструкции Мосгазниипроекта

Показателя	ГГИ-2	ГГИ-4	ГГИ-6	ГГИ-10
Номинальная тепловая мощность, кВт	23,3	46,5	70	116
Номинальный расход газа, м ³ /ч	2,4/0,9	4,8/1,8	7,2/2,7	12,0/4,5
Номинальное давление газа, кПа	1,8/4,0	1,8/4,0	1,8/4,0	1,8/4,0
Коэффициент избытка первичного воздуха при номинальном режиме	0,5	0,5	0,5	0,5
Коэффициент рабочего регулирования	6	6	6	6
Размеры, мм:				
<i>L</i>	230	280	320	400
<i>l</i>	—	100	70	105
<i>H</i>	240	300	340	400
<i>h</i>	—	70	105	110
<i>A</i>	—	500	—	620
<i>a</i>	—	100	—	135
<i>d</i>	3,9/2,6	3,9/2,6	3,9/2,6	5,0/3,4
<i>D</i>	$\frac{3}{8}$ "	1"	$1\frac{1}{4}$ "	$1\frac{1}{2}$ "

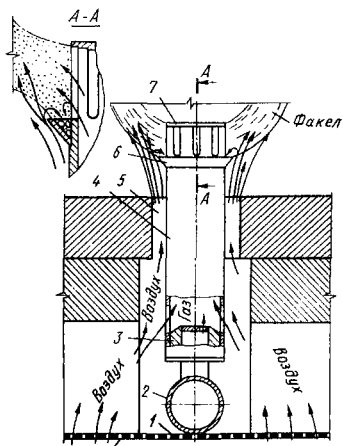
Примечание. В числителе приведены данные для природного газа ($Q_H = 34,9$ МДж/м³), в знаменателе — для сжиженного газа ($Q_H = 93,1$ МДж/м³).

этих горелок в секционных котлах показали, что при $\alpha_1 = 0,4$ возникают прозрачные пламена высотой до 600 мм.

Сгорание газозвоздушной смеси завершается в пределах топки без выноса пламен в газоходы котла. Эксплуатационные наблюдения показали также отсутствие как отложений сажи в газоходах и на наружных поверхностях секций, так и вибраций на распространенных типах котлов. Диапазон устойчивой работы горелок укладывается по давлению в пределы 100—2000 Па.

Рассмотренные горелки могут применяться для сжигания не только природных, но и других газов низкого и среднего давления при соответствующих изменениях размеров горелок. При этом особое внимание должно обращать на коэффициент избытка первичного воздуха в смеси, который должен быть на 10—15% меньше верхнего предела воспламеняемости и одновременно несколько больше предела возникновения желтых пламен.

Горелки газовые ижекционные типа ГГИ конструкции Мосгазниипроекта. Предназначены для сжигания природного и сжиженного газов в топках ресторанных плит, пищеварочных котлов, хлебопекарных печей, сушилок и других агрегатов, работающих под разрежением. Разработаны три газогорелочных блока: ГГИ-2 с одной горелкой, ГГИ-4 с двумя горелками, ГГИ-6 и ГГИ-10 с тремя горелками (рис. 12.28), основные технические характеристики которых приведены в табл. 12.12.



Особенность горелок ГГИ заключается в том, что насадок горелки размещен в специальном патрубке, через который за счет разрежения в топке подводится к факелу (устью горелки) из окружающей среды вторичный воздух, а регулирование подачи этого воздуха осуществляется поворотной заслонкой с отверстиями. Установка положения заслонки определяется при наладке и зависит от разрежения в топке. Устойчивость горения на этих горелках обеспечивается подачей первичной газозвушной смеси с $\alpha_1 = 0,5$, т. е. негорючей, что предотвращает проскок, а отрыв пламени не может быть, так как при максимальной тепловой мощности скорость вылета газозвушной смеси из насадки не превышает скорости распространения пламени. Горелки смонтированы на фронтальной плите вместе с подводящими газопроводами, крапями устройством для зажигания и наблюдения за горением.

Горелки инжекционные ИА конструкции Стальпроекта. Изготавливаются Уфалейским заводом по ремонту металлургического оборудования. Горелки ИА (рис. 12.29) предназначены для сжигания природного и смешанного ($Q_{\text{н}} = 75 \text{ МДж/м}^3$) газов в колпачковых печах на предприятиях металлургической промышленности и других тепловых установках (табл. 12.13). Горелки работают на среднем давлении газа с α_1 до 0,6. Подача воздуха регулируется с помощью воздушной заслонки, перекрывающей отверстия инжектора. Вторичный воздух, необходимый для полного сжигания газа, поступает через зазор между насадком и горелочным туннелем. В насадке имеется решетка, стабилизирующая пламя.

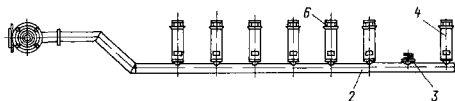
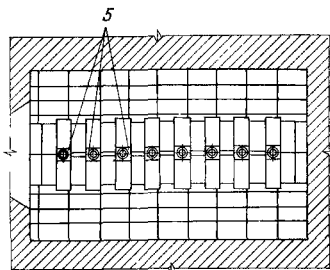


Рис. 12.27. Групповая инъекционная горелка конструкции Ленгипроинжпроекта.

1 — колосниковая решетка; 2 — газовый коллектор; 3 — сопло; 4 — смеситель; 5 — канал для прохода вторичного воздуха (щель); 6 — стабилизатор; 7 — огневой насадок.



Переносные запальники конструкции Ленгипроинжпроекта (рис. 12.30). Предназначены преимущественно для поджигания газа на основных горелках в топках котлов, печей и других установках, могут работать на природных и сжиженных углеводородных газах при соответствующих размерах сопел на низком и среднем давлении с $\alpha_1 = 0,3 \div 0,6$ (табл. 12.14). Горелки, показанные на рис. 12.30, а и б, применяют для поджигания газа в топках с разрежением до 50 Па, а горелка, изображенная на рис. 12.30, в, рассчитана на газ среднего давления в топках с разрежением до 20 Па и с противодавлением до 25 Па. Она работает с коэффициентом избытка первичного воздуха $\alpha_1 = 0,8 \div 0,9$.

Горелки подсоединяют к газопроводам при помощи резиноканевого шланга, который надевается на штуцер с накаткой. На газопроводе до шланга должен быть установлен отключающий кран. Газ, вытекающий из сопла, инжерирует первичный воздух через четыре круглых отверстия, сечение которых прикрывается специальной обоймой. Смешение газа с воздухом осуществляется в цилиндрическом смесителе, который заканчивается насадком со стабилизирующим пламя устройством. Горелки, показанные на рис. 12.30, а и б, обеспечивают сжигание газа в одном длинном пламени, а у горелки, показанной на рис. 12.30, в, огневом насадке выполнен в виде перфорированного отрезка трубы с 40 отверстиями на боковой поверхности (диаметр каждого 4 мм), что дает пламя в виде огневого «ерша». Для того чтобы предотвратить по-

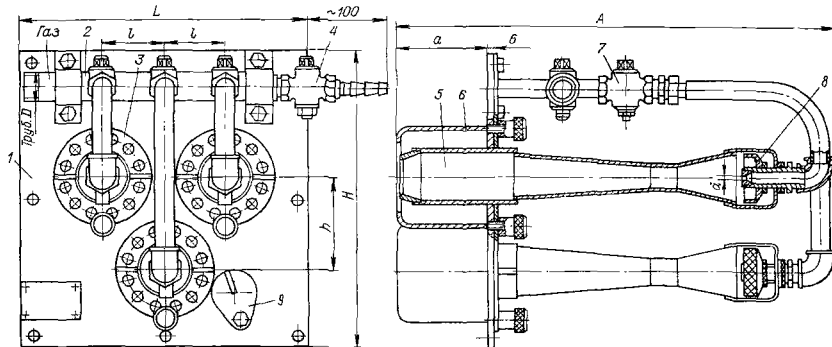


Рис. 12.28. Горелки ГГИ конструкции Мосгазпроект.

1 — фронтовая плита; 2 — газопровод; 3 — поворотная заслонка с отверстиями; 4 — штуцер с краем для присоединения манометра; 5 — горелка; 6 — патрубок для подачи вторичного воздуха; 7 — рабочий кран; 8 — воздушная заслонка первичного воздуха; 9 — отверстие с крышкой для зажигания горелок и наблюдения за горением.

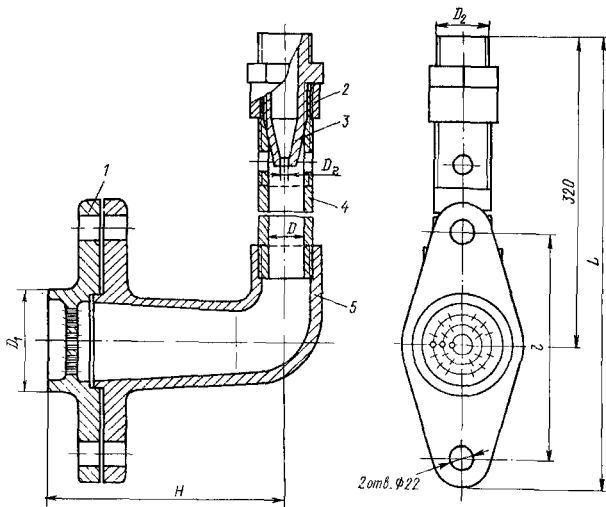


Рис. 12.29. Горелки инжекционные ИА конструкции Стальпроекта.

1 — насадок со стабилизирующей решеткой; 2 — муфта; 3 — сопло; 4 — смеситель;
5 — корпус.

гасание пламени запальника, диаметр устройства в кладке топки должен быть не менее 50 мм. Вторичный воздух, необходимый для полного сжигания газа, поступает за счет диффузии и инъекции струи газозвоздушной смеси.

Инжекционная переносная горелка (рис. 12.31). Предназначена для местного нагрева небольших изделий из стали, для пайки, лужения, обжига краски, опаливания туш животных и других нужд. Горелка работает в открытой атмосфере на природном газе и на СУГ среднего давления с $\alpha_1 = 0,9 \div 0,7$. Устойчивости горения в отношении отрыва достигают за счет наличия на огневом насадке кольцевого зажигательного пояска, а в отношении проскака за счет значительной скорости вылета газозвоздушной смеси.

Техническая характеристика горелки при работе на природном и сжиженном газе: номинальная тепловая мощность 32,6 и 23,3 кВт, номинальное давление газа 90 кПа, диаметры сопел 2,0 и 1,4 мм, коэффициент рабочего регулирования 4,3 и 3,5.

Указанная горелка может быть упрощена без ухудшения работы путем изготовления смесителя из трубы диаметром 25 мм.

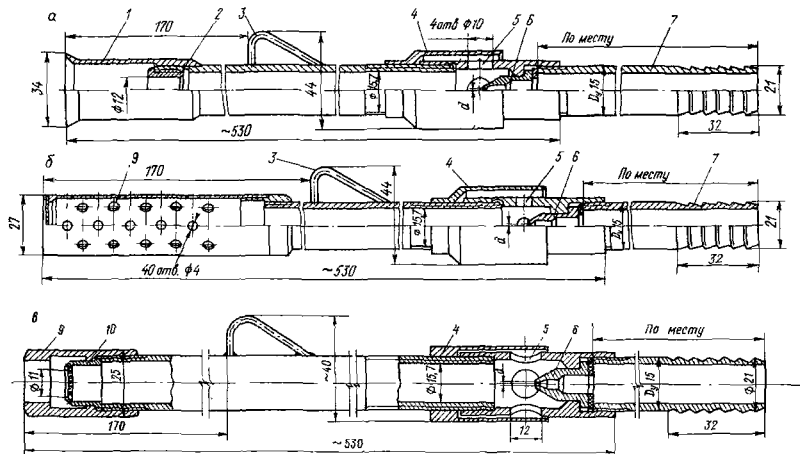


Рис. 12.30. Иижектонные горелки для поджигания газа в топках котлов и печей.

а — однофакельная для топок с разрежением; б — многофакельная для топок с разрежением; в — однофакельная для топок с разрежением и противодавлением; 1 — стабилизатор горения (в отношении отрыва) в виде защитного расширенного в конце кожуха; 2, 9 — огневые насадки; 3 — крючок для подвески горелки; 4 — воздушная обойма; 5 — отверстия для входа первичного воздуха; 6 — сопло; 7 — штуцер для присоединения гибкого шланга; 8 — огневые отверстия; 10 — стабилизатор горения в виде кольцевого зажигательного пояса.

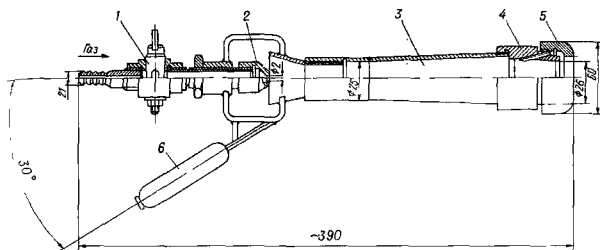


Рис. 12.31. Инжекционная переносная горелка для газа среднего давления.
 — регулировочный кран; 2 — сопло; 3 — смеситель; 4 — огневой насадок; 5 — стабилизатор горения; 6 — рукоятка.

ТАБЛИЦА 12.13
 Основные технические характеристики горелок ИА конструкции Стальпроекта

Показатели	ИА-30/2,5	ИА-30/3,0	ИА-34/2,8	ИА-34/1,0	ИА-36/3,3	ИА-36/11,5	ИА-44/3,8	ИА-44/14
Номинальная тепловая мощность, кВт	61	63	79	79	105	100	141	149
Номинальное давление газа, кПа:								
природного	75	—	75	—	75	—	75	—
смешанного	—	12	—	12	—	12	—	12
Коэффициент избытка воздуха при номинальном режиме	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Давление в камере сгорания, Па	—40	—40	—40	—40	—40	—40	—40	—40
Коэффициент рабочего регулирования	6,3	5,1	6,8	5,2	5,8	4,9	6,4	4,9
Размеры, мм:								
D	30	30	34	34	33	38	44	44
D_1	90	90	100	100	110	110	125	125
D_2	1 $\frac{1}{4}$ "	1 $\frac{1}{4}$ "	1 $\frac{1}{2}$ "	1 $\frac{1}{2}$ "	1 $\frac{1}{2}$ "	1 $\frac{1}{2}$ "	2"	2"
D_3	2,5	9,0	2,8	10	3,3	11,5	3,8	14
H	195	195	210	210	250	250	272	272
L	445	445	455	455	455	455	465	465
l	200	200	220	220	220	220	240	240
Масса, кг	10,0	10,0	11,5	11,5	13,5	13,5	16,5	16,5

Основные технические характеристики запальников конструкции Ленгипроинжпроект

Показатели	Однотакельный для топок с разрежением (рис. 12.30, а)		Многофакельный для топок с разрежением (рис. 12.30, б)		Однотакельный для топок с разрежением и противодавлением (рис. 12.30, в)
	низкого давления	среднего давления	низкого давления	среднего давления	среднего давления
Номинальная тепловая мощность, кВт	11,6	11,6	13,7	11,6	2,3
	8,2	15,25	10,2	14,0	2,5
Номинальный расход газа, м ³ /ч	1,35	1,35	1,60	1,35	0,27
	0,32	0,59	0,39	0,54	0,10
Номинальное давление газа, кПа	5,0	80	5,0	80	80
	5,0	80	5,0	80	80
Коэффициент избытка первичного воздуха при номинальном режиме	0,3	0,6	0,31	0,43	1,3
	—	0,55	—	0,38	—
Длина факела при номинальном режиме, мм	510	350	370	350	100
	400	520	110	400	200
Коэффициент рабочего регулирования	10,4	4,0	5,3	4,0	2,0
	3,5	6,9	2,5	9,0	2,0
Диаметр сопла d , мм	2,2	1,25	2,5	1,25	0,55
	1,5	1,25	1,7	1,0	0,35
Масса, кг	0,8	0,8	0,9	0,9	1,1
	0,8	0,8	0,9	0,9	1,1

Примечание. В числителе для запальников на природном газе, в знаменателе — на СУГ.

Ручная нижекционная горелка (рис. 12.32). Предназначена для нагрева открытым пламенем различных металлических деталей, для обжига краски, сиятия наледи, нагрева поверхностей резервуаров перед нанесением покрытий и для других нужд. При увеличении диаметра сопла до 1,2—1,3 мм горелка может быть использована и для сжигания природного газа среднего давления. Особенности горелки — двухступенчатая инжекция воздуха, устойчивость горения, короткий и прозрачный факел и высокая полнота сгорания газа. Горелка рассчитана для сжигания СУГ и имеет следующие характеристики: номинальная тепловая мощность (при диаметре сопла 0,8 мм и давлении газа 0,1 МПа) 14 кВт, а соответствующий ей расход газа 0,5—0,55 м³/ч.

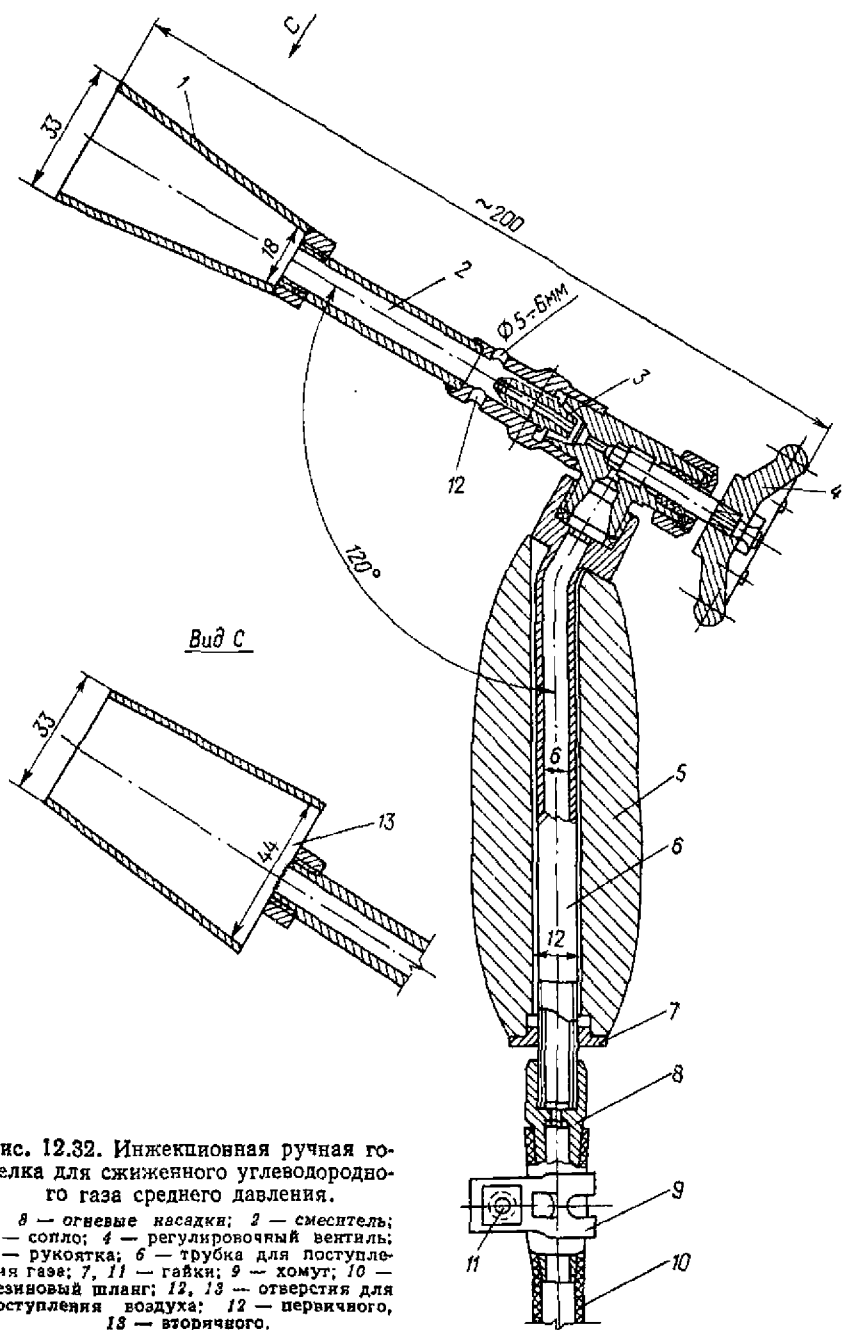


Рис. 12.32. Инжекционная ручная горелка для сжиженного углеводородного газа среднего давления.

1, 8 — огневые насадки; 2 — смеситель; 3 — сопло; 4 — регулировочный вентиль; 5 — рукоятка; 6 — трубка для поступления газа; 7, 11 — гайки; 9 — хомут; 10 — резиновый шланг; 12, 13 — отверстия для поступления воздуха; 12 — первичного, 13 — вторичного.

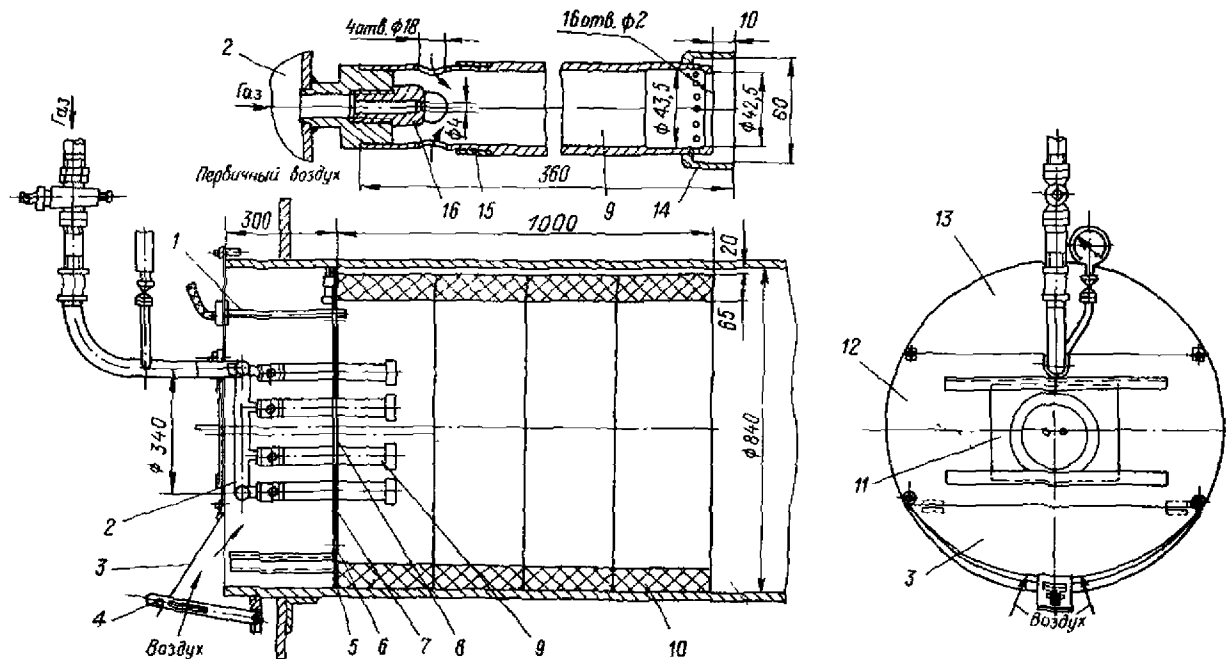
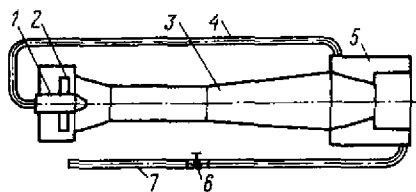


Рис. 12.33. Установка групповой низкого давления (утопленного монтажа) конструкции Ленгипроизжироекта на жаротрубном котле.

1 — импульсная трубка разрежения; 2 — газовый коллектор горелки; 3 — нижняя крышка; 4 — фиксирующий рычаг; 5 — опорное кольцо; 6 — кольцевая шель для вторичного воздуха; 7 — защитное кольцо; 8 — отверстие в защитном кольце для вторичного воздуха; 9 — смеситель горелки; 10 — футеровка внутренней поверхности жаровой трубы огнеупорным кирпичом; 11 — раздвижные шторки для наблюдения за горением; 12 — средняя крышка; 13 — верхняя крышка; 14 — стабилизирующий насадок; 15 — воздушная заслонка; 16 — сопло.

Рис. 12.34. Схема инжекционной горелки с испарителем жидких углеводородов.

1 — сопло; 2 — шайба для регулирования поступления первичного воздуха; 3 — смеситель; 4 — трубка подачи газа к соплу; 5 — испаритель; 6 — вентиль регулирования тепловой мощности горелки; 7 — трубка для подвода жидких углеводородов в испаритель.



При переоборудовании на газовое топливо некоторых типов котлов в отдельных случаях возникает вибрация, сопровождающаяся сильным шумом. Наиболее часто она наблюдается на жаротрубных и аналогичных им котлах при применении инжекционных горелок, включая блочные, работающие с $\alpha_1 > 1,0$. Опыт показывает, что вибрация в большинстве случаев может быть устранена за счет применения групповых горелок, инжектирующих из атмосферы первичный воздух в количестве, несколько меньшем верхнего предела воспламеняемости.

Одна из таких горелок для жаротрубных котлов конструкции Ленгипроинжпроект приведена на рис. 12.33. Горелка состоит из восьми упрощенных цилиндрических инжекционных смесителей, изготовленных из трубы 48×3 мм, объединенных в один блок с помощью кольцевого газораспределительного коллектора. Для стабилизации горения в отношении отрыва пламени каждый смеситель оборудован кольцевым зажигательным пояском спокойной пламени. При сжигании природного газа среднего давления 50 кПа горелки рассчитаны на $\alpha_1 = 0,5$, что предотвращает образование желтых пламен и одновременно повышает устойчивость горения в отношении проскока. Недостающий для горения вторичный воздух поступает в топку из окружающей атмосферы через регулирующую кольцевую щель (за счет тяги в топке).

При сжигании СУГ может возникнуть необходимость в использовании инжекционных горелок не только для образования газозвушной смеси, но и для предварительного испарения жидкости. Схема такой горелки с испарителем в виде кольцевой камеры вокруг огневого канала горелки приведена на рис. 12.34. Жидкие углеводороды (пропан, бутан и их смеси) под воздействием упругости насыщенных паров поступают из резервуара в кольцевую камеру 5, где происходит их испарение за счет теплоты, излучаемой пламенем горелки. Образовавшийся газ проходит к соплу горелки и, вылетая из него, инжектирует в смеситель окружающий воздух. Регулирование тепловой мощности горелки осуществляется вентилем, установленным на трубке, подающей жидкие углеводороды, а регулирование длины и температуры пламени — с помощью воздушной шайбы.

Состав применяемых для горения жидких углеводородов может быть различен. Вместе с тем необходимо, чтобы упругость насыщенных паров углеводородов, зависящая от состава жидких углеводородов и окружающей температуры, была не менее 0,1 МПа. Такие

горелки могут применяться для теплоагрегатов сравнительно небольшой тепловой мощности (до 25 кВт) и использоваться при производстве строительных работ, для местного нагрева металлических изделий и заготовок, для сжигания сорняков в сельском хозяйстве и других народнохозяйственных нужд. Показанные на рис. 12.34 формы смесителя, огневого насадка и испарителя являются условными и могут изменяться в зависимости от местных условий.

12.3.3. ГАЗОВЫЕ ГОРЕЛКИ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ ВОЗДУХА

Эти горелки широко применяют в практике сжигания всех видов горючих газов, так как они позволяют создавать пламена различной длины, формы, жесткости и светимости, могут применяться для агрегатов малой и большой тепловой мощности, для топок с разрежением и противодавлением, работать на холодном и нагретом воздухе и легко komponуются с устройствами для сжигания жидкого и твердого пылевидного топлива.

Эти горелки работают преимущественно по принципу механического — струйного — смешения газа и воздуха. Поэтому место и степень завершения смешения, а также все характеристики пламени зависят главным образом от конструктивных особенностей горелок. Так, сокращение длины пламени и повышение его проворачиваемости достигается дроблением газового потока на отдельные тонкие струи, направлением газовых струй под углом в закрученный или незакрученный поток воздуха, направлением воздушных струй внутрь газового потока, увеличением длины смесительного участка горелки, повышением степени крутки потока газозвуковой смеси, подогревом воздуха, применением звуковых колебаний для более качественного перемешивания газа с воздухом в акустических горелках и другими методами.

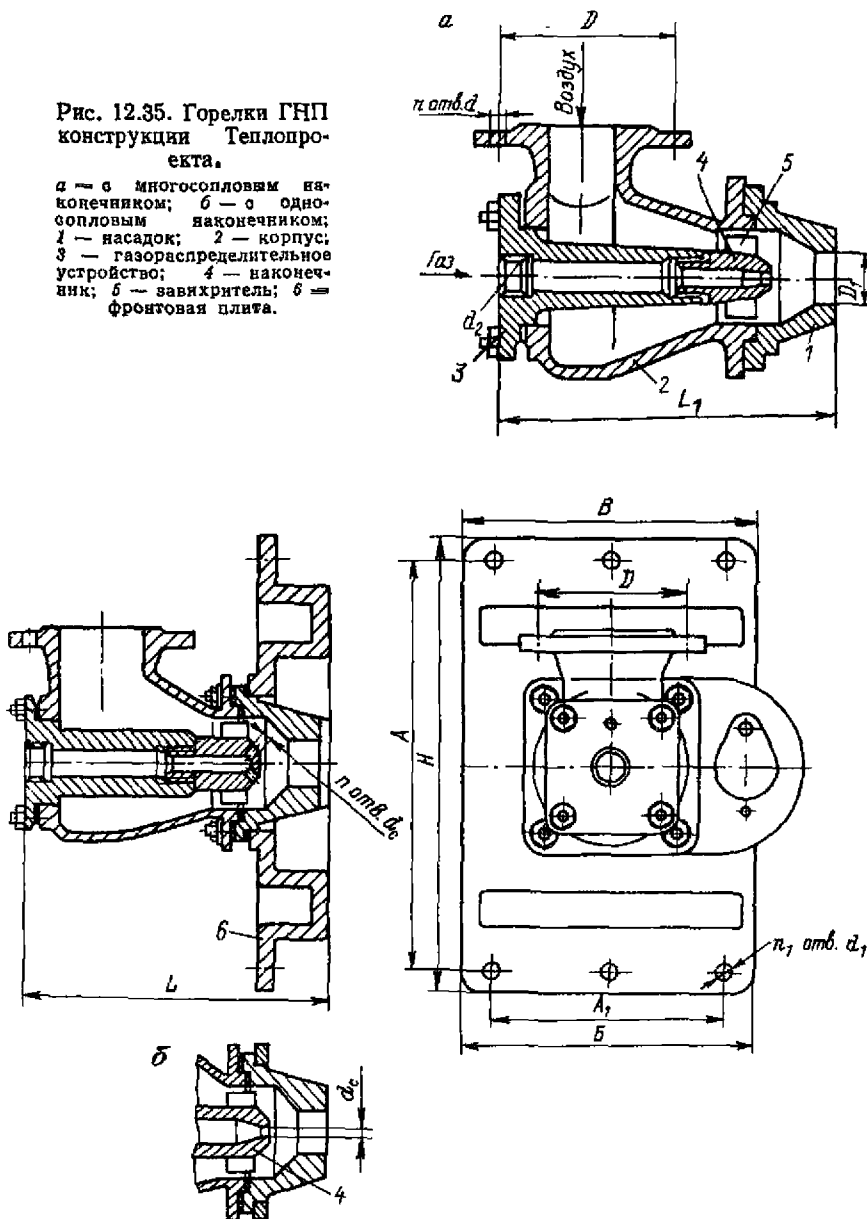
Для увеличения длины пламени и повышения его светимости газовому и воздушному потокам придается параллельное направление с небольшими и близкими скоростями, а также увеличивается ширина (толщина) этих потоков.

Горелки ГНП конструкции Теплопроекта. Предназначены для сжигания природных и сжиженных углеводородных газов в различных нагревательных и термических печах, сушилках, туннельных печах промышленности стройматериалов и в других тепловых установках, а также для сжигания и искусственных горючих газов. Они могут работать как на холодном, так и на нагретом до 400 °С воздухе. Для получения пламен разной длины и светимости горелки ГНП оборудуются много- или одноструйными соплами и лопатками для закрутки воздуха.

Горелка ГНП (рис. 12.35) состоит из чугунного литого корпуса, газораспределительного устройства, завихрителя лопаточного ти-

Рис. 12.35. Горелки ГНП конструкции Теплопроекта.

a — с многосопловым наконечником; *б* — с односопловым наконечником;
 1 — насадок; 2 — корпус;
 3 — газораспределительное устройство; 4 — наконечник;
 5 — завихритель; 6 — фронтальная плита.



па, насадка, служащего одновременно и смесительной камерой, фронтальной плиты для крепления горелки.

При сжигании природного газа с $\alpha_{г_1} = 1,05$ и выпуске его в закрученный поток воздуха через 4—6 сопел, расположенных под углом 45° к оси горелки (рис. 12.35, *a*), возникает сравнительно прозрачное пламя, и процесс горения завершается на длине его,

Основные технические характеристики

Показатели	ГНП-1		ГНП-2		ГНП-3		ГНП-4	
	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
Номинальная тепловая мощность, кВт	84,5	72,8	130	132	241	217	397	379
Номинальное давление, Па: природного газа воздуха	1950	1250	1600	1450	1700	1300	2000	1400
Длина факела при номинальном режиме, мм	230	340	260	330	420	480	550	—
Коэффициент рабочего регулирования	9	10	9	10	9	10	10	10
Номинальный расход природного газа с $Q_{\text{н}} = 35,6$ МДж/м ³ , м ³ /ч	8,6	7,4	13,2	13,4	24,4	22,0	40,2	38,4
Размеры, мм: $d_c \times l_{\text{отв}}$	3,2×4	5,5	4,2×4	7,0	4,8×6	10,0	6,6×6	13,6
A					370			
A ₁					210			
B (Б)					340			
D	90	100	130	150				
d		14						
d ₁				20				
H				410				
D ₁	25	33	45	55				
L	205	220	260	290				
L ₁	180	205	260	300				
d ₂	Труб. 3/4"		Труб. 1"					
Число отверстий: l					4			
l ₁						4		
Масса горелки, кг: без плиты с плитой	6,6 22,5	7,8 24,0	14 30	22 37				

горелок ГНП конструкции Теплопроекта

ГНП-5		ГНП-6		ГНП-7		ГНП-8		ГНП-9	
А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
636	680	1370	1195	1870	1520	2280	2090	2970	2480
4000									
1700	1900	3250	2200	1550	850	3000	2550	2400	1650
1740	2060	1860	1990	1300	—	1140	1660	2270	2700
10	10	8	7	10	10	10	10	10	10
64,4	68,8	138,7	121,0	189,3	153,8	231	212	301	251
7,8×6	16,0	9,6×6	20,0	11,8×6	24,0	13,5×6	28,0	15,5×6	31,0
	520				600				700
	310				430				530
	450				550				688
170	200	225	255						
		18							
		26							30
	580			650					760
73	92	110	128	142					
330	365	410	460	500					
362	397	453	515	568					
Труб. 1 1/4"	Труб. 1 1/2"	Труб. 2"	Труб. 2 1/2"						
				8					
						6			
37	43	48	81	91					
71	77	107	127	161					

равной (15÷17) D_1 (где D_1 — диаметр огневого канала насадка горелки). При увеличении α_1 до 1,1÷1,15 горение завершается на более коротком пути, равном примерно (13÷14) D_1 .

При выпуске равнозначного количества природного газа в закрученный поток воздуха ($\alpha_1 = 1,05$) через одноструйное осесимметричное сопло (рис. 12.35, б) характер пламени изменяется сравнительно мало, но горение завершается на несколько большей длине, равной примерно $20D_1$. При выпуске же газа через одноструйное сопло со снятым завихрителем картина горения изменяется резко: пламя становится более вялым, ярко светящимся, а его длина — около $25D_1$. В последнем случае, как правило, возникает и некоторая химическая неполнота сгорания, в особенности при работе на холодном воздухе и омывании пламенем теплообменных поверхностей. Стабилизация пламени в отношении отрыва достигается применением туннелей, а в отношении проскока — неоднородностью смеси, образующейся в огневом насадке, и значительной скоростью ее вылета в туннель.

Достоинствами этих горелок являются широкий диапазон регулирования тепловой мощности; возможности получения пламени необходимой длины и светимости, а также применения их для топок, работающих под разрежением и давлением; сравнительно небольшой нагрев огневых насадков (при холодном воздухе $\sim 180^\circ\text{C}$), незначительный шум и сравнительно небольшие размеры при значительной тепловой мощности. Основные технические характеристики горелок ГНП и их конструктивные размеры приведены в табл. 12.15.

При применении горелок для сжигания сжиженных углеводородных и искусственного газов тепловую мощность горелок целесообразно сохранять равной тепловой мощности природного газа, а размеры сопел для выпуска газа соответственно уменьшить или увеличить. Коэффициент рабочего регулирования при работе на сжиженных углеводородных газах для всех горелок равен 6, номинальное давление газа 4000 Па, номинальное давление для каждого типоразмера на 100 Па больше, чем для природного газа (табл. 12.15). Коэффициент избытка первичного воздуха при номинальной тепловой мощности для всех горелок на природном и сжиженном газах равен 1,05. При работе горелок на нагретом воздухе и сохранении на постоянном уровне давления воздуха и газа их тепловая мощность снижается, %: при температуре воздуха 100°C до 85, при 200°C до 76, при 300°C до 70 и при 400°C до 65.

Горелки ГНП изготавливает Уфалейский завод по ремонту металлургического оборудования.

Горелки плоскопламенные типа ГПП конструкция Института газа АН УССР и Теплопроекта. Предназначены для сжигания природного газа в промышленных печах. Они устанавливаются на боковых стенках, арочных и подвесных сводах теплоагрегатов и могут обеспечивать как прямой, так и косвенный (через стенки муфелей и ваин) нагрев (рис. 12.36).

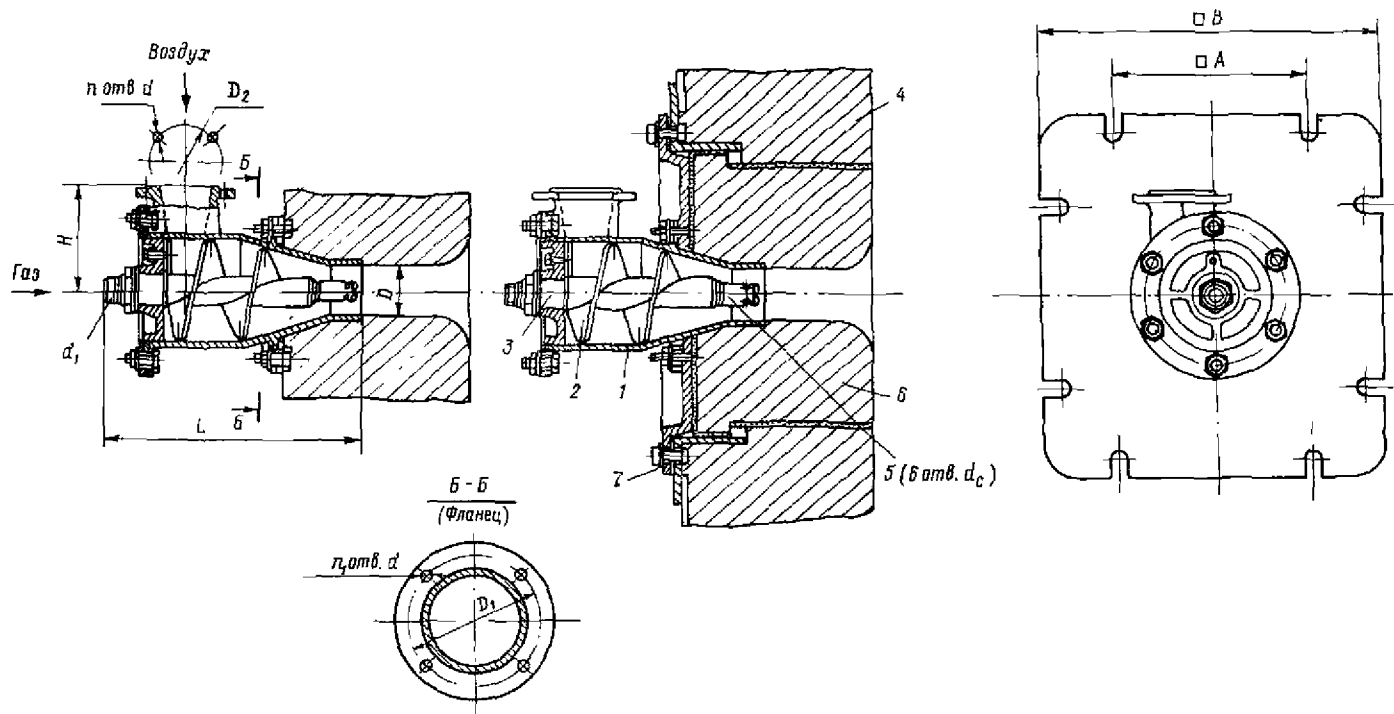


Рис. 12,36. Горелки ГПП конструкции Института газа АН УССР и Теплопроекта.

1 — корпус; 2 — направляющий вент; 3 — труба для подвода газа; 4 — огнеупорная кладка теплового агрегата; 5 — сопло; 6 — торцевой горелочный туннель; 7 — фронтальная плита.

Газ по трубе 3 через шесть радиальных отверстий сопла 5 гонимается в сильно закрученный воздушный поток. Закрутка воздуха, поступающего от вентилятора, осуществляется в корпусе горелки 1 при помощи специального направляющего винта 2. Смешение газа с воздухом и горение газозвушной смеси начинается непосредственно у устья горелки. Вращающийся факел движется по горелочному туннелю 6 и вблизи его среза достигает стенки огнеупорной кладки 4. За счет возникновения градиента давления, направленного в сторону тороидальной поверхности туннеля, поток безотрывно движется вдоль его поверхности и плавно сопряженной с ним поверхностью кладки 4. Туннель и кладка за счет теплоотдачи от факела раскаляются и становятся мощным источником теплового излучения. Крепление горелки осуществляется при помощи специальной фронтальной плиты 7.

Плоскопламенная излучающая горелка обеспечивает равномерный интенсивный подвод теплоты к изделиям и исключает прямой удар факела о нагреваемую поверхность. По данным Института газа АН УССР (ИГ АН УССР) суммарный коэффициент теплопередачи от продуктов горения к кирпичной кладке и от нее к нагреваемым предметам становится значительно больше, чем при обычном сжигании газа в объеме топки. Технические характеристики горелок ГПП приведены в табл. 12.16. Индексы Н, С и В в обозначении горелки определяют принимаемое давление газа.

Плоское пламя может быть получено и другими способами, например за счет установки на выходе из туннеля специальных шайб или регулируемых дисков, направляющих закрученную газозвушную смесь по внутренней стене печи.

Горелки ГА конструкции Мосгазипроекта. Предназначены для сжигания газа низкого или среднего давления в топках котлов и других установок. По существу эта горелка (рис. 12.37) является блочной и состоит из нескольких газораспределительных трубок, объединенных общей воздушной камерой. Каждая трубка имеет навинчивающийся наконечник (элемент) с просверленными в нем несколькими соплами для выпуска газа и оборудована ребрами для закрутки воздуха. Таким образом, принцип работы горелки заключается в выдаче тонких струй газа в закрученный поток воздуха. Это приводит к смешению газа и воздуха на коротком пути и образованию сравнительно прозрачного пламени. Число газораспределительных трубок и сопел, а также размеры последних зависят от тепловой мощности горелки и давления газа.

Для зажигания газа и наблюдения за горением внутри горелки по ее оси установлена специальная труба, через которую при необходимости может быть введена мазутная форсунка с механическим или паровым распылом. Предохранение стальных деталей горелки от обгорания за счет излучения топкой достигается их футеровкой огнеупорной массой следующего состава, %: шамотный порошок 75, глина огнеупорная 10, кварцевый песок 5, раствор 10. Раствор приготавливается из 60 % жидкого стекла и 40 % раствора

Основные технические характеристики горелок ГПП конструкции ИГ АН УССР и Теплопроекта

Показатели	ГППН-3	ГППС-3	ГППВ-3	ГППН-4	ГППС-4	ГППВ-4	ГППН-5	ГППС-5	ГППВ-5
Номинальная тепловая мощность, кВт	198	247	198	561	543	543	790	985	790
Номинальное давление, кПа:									
природного газа	3	18	70	5,35	15	100	2,5	20	57
воздуха	3	3,25	3	5,9	4	5,7	3,25	6,8	3,4
Коэффициент избытка первичного воздуха при номинальном режиме	1,05	1,02	1,05	1,01	1,01	1,01	1,02	1,01	1,02
Коэффициент рабочего регулирования	4	8,3	4	2,8	12,2	3,7	2,7	11,9	2,7
Номинальный расход природного газа (с $Q_H = 35,6$ МДж/м ³), м ³ /ч	20	25	20	56	55	55	80	100	80
Размеры, мм:									
d_0		2,8		6,6	4,2	2,75	9,3	5,9	3,7
A			200					240	
B			460					620	
D		50			75			106	
D_1		240			260			350	
D_2		130			170			200	
d^*		14				18			
H		175			220			240	
L		457			517			623	
d_1		Труб. 3/4"			Труб. 1 1/4"			Труб. 2"	
Число отверстий:									
n				4				8	
n_1				4				6	
Масса, кг:									
без плиты		31,2			61,5			112,4	
с плитой		65,2			95,4			150,1	

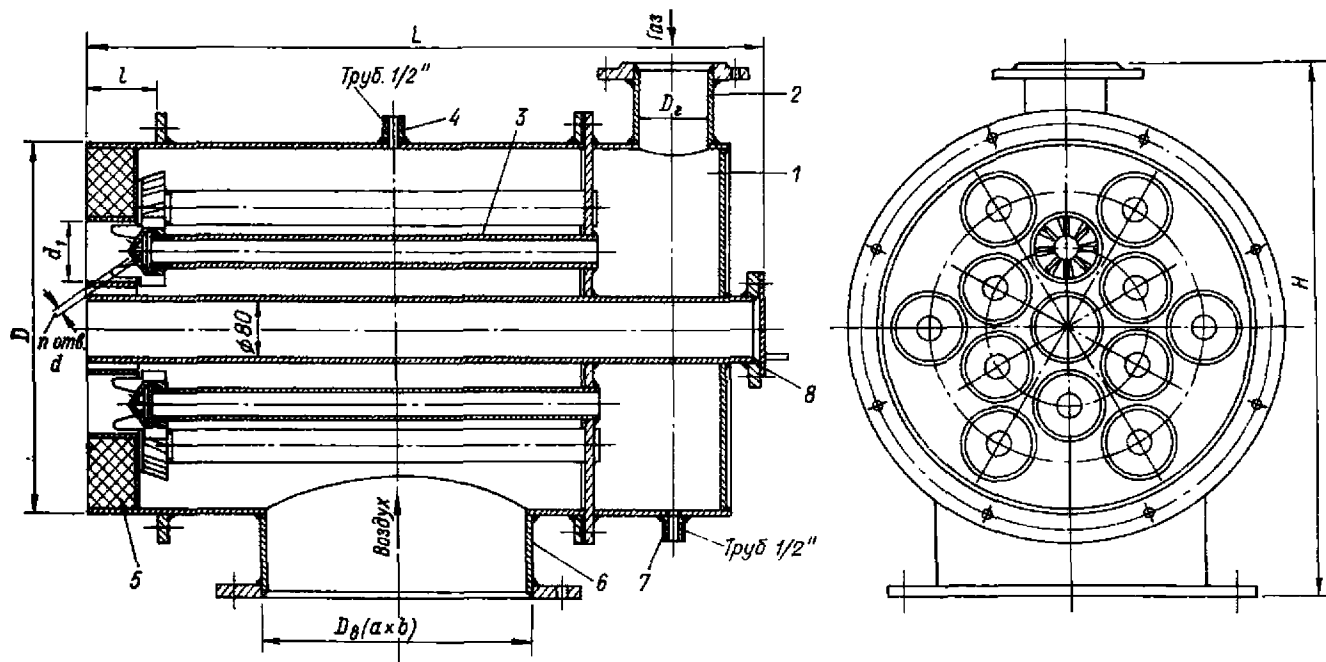


Рис. 12.37. Горелка типа ГА конструкции МосгазНИИпроекта.

1 — газовая камера; 2 — газовый патрубок; 3 — газовая трубка с наконечником; 4 — штуцер для манометра (воздух); 5 — футеровка; 6 — воздушный патрубок; 7 — штуцер для манометра (газ); 8 — смотровая труба.

Основные технические характеристики горелок ГА конструкции Мосгазипроекта

Показатели	Шифр горелки								
	1230	1229	1228	1227	ГА-103	ГА-106	ГА-110	1702	1158
Номинальная тепловая мощность, кВт	395	610	930	1396	2210	3373	5024	9304	10 870
Номинальное давление, кПа: газа низкого давления » среднего давления воздуха					1,3 или 2 30				2,5
Номинальный расход природного газа, м ³ /ч	39	60	94	140	226	340	508	940	1100
Число элементов	5	8	12	13	8	12	18	34	16
Число газовых отверстий в элементе, шт.	8				12				1
Размеры, мм: <i>d</i> (для $p = 1,3$ кПа) (для $p = 2$ кПа) (для $p = 30$ кПа)	3,1 2,4 1,3				4,3 3,4 2,1				11,3
<i>d</i> ₁	53				80				
<i>L</i>	570	666	700	716	835	875	1000	1166	1583
<i>H</i>	400	540	570	580	610	700	850	1060	890
<i>D</i>	275	320	320	440	400	490	530	752	630
<i>l</i>	70				90				100
<i>D</i> _г	66	88,5	88,5	77,5	108	108	133	150	100
<i>D</i> _в (а×б)	156	181	246	256	290	360	500×300	615×400	500×300
Масса, кг	42	60	78	92	112	144	195	348	539

Примечание. Коэффициент рабочего регулирования горелок для низкого давления 4, для среднего давления 3,2.

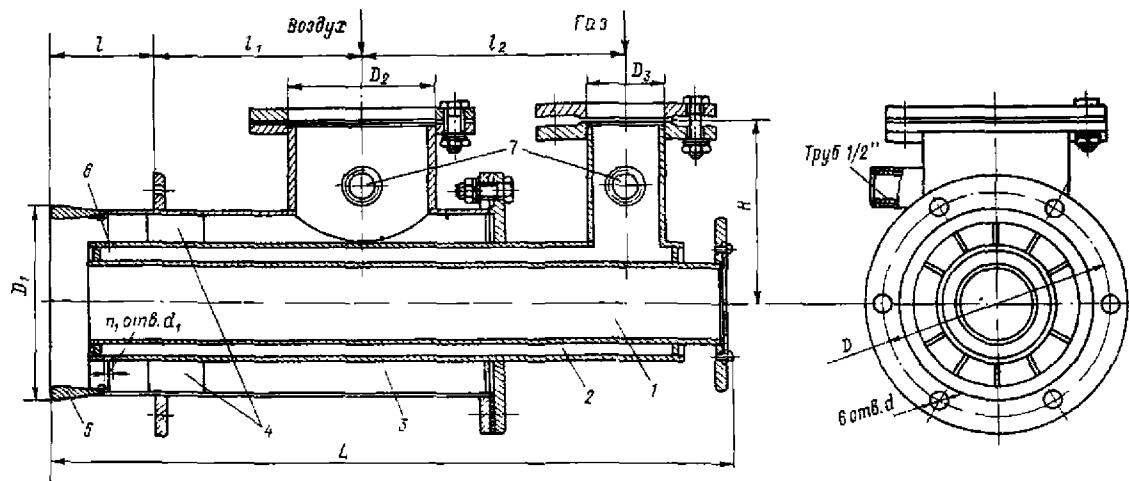


Рис. 12.38. Горелка ГВВ конструкции МосгазНИИпроекта.

1 — труба направляющая для запальника и для наблюдения за горением; 2 — камера газовая; 3 — камера воздушная;
 4 — завихритель; 5 — вставка; 6 — отверстие для выхода газа; 7 — штуцера для подключения манометров.

(17%-ного) каустической соды]. Огнеупорная масса наносится на специальную сетку, установленную на огневой части горелки. Горелки рассчитаны для сжигания природного газа ($Q_n = 35,6 \text{ МДж/м}^3$, $\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$) низкого или среднего давления. Основные технические характеристики и конструктивные размеры этих горелок приведены в табл. 12.17.

Рассмотренные горелки достаточно сложны в изготовлении и требуют значительных удельных расходов металла. С целью устранения указанных недостатков Мосгазниипроектом разработаны и внедрены в практику упрощенные конструкции горелок, получившие название — горелки газовые вихревые (ГТВ).

Горелки газовые вихревые типа ГТВ конструкции Мосгазнии-проекта (рис. 12.38, табл. 12.18). Предназначены для сжигания природного газа в топках котлов, промышленных печей, сушилок и других тепловых агрегатов, а также могут применяться для сжигания других горючих газов при сохранении тепловой мощности и соответственно изменении газовыпускных отверстий.

Конструкция горелок обеспечивает центральную струйную задачу газа в закрученный поток воздуха. Центральная направляющая труба служит для розжига горелки переносным запальником и одновременно устройством за наблюдением за горением газа. Эта труба может быть также использована для установки мазутной форсунки. Полное сгорание природного газа обеспечивается при номинальной тепловой мощности с $\alpha_1 = 1,02 \div 1,05$. В качестве стабилизатора пламени для этих горелок применяется керамический туннель с внезапным расширением. Фланцевое соединение газовой и воздушной камер горелки позволяет изменять угол подвода воздушного патрубка, а также при необходимости снимать газовую камеру без демонтажа всей горелки с фронтального листа для осмотра и ремонта.

Газомазутная горелка конструкции Ленгипроинжпроекта. Предназначена для быстрого перевода котлов и печей с газового топлива на резервное жидкое и обратно. Комбинированные газомазутные горелки представляют собой механическое объединение в одной конструкции газовой горелки и мазутной форсунки. Сжигание газа и мазута в таких горелках осуществляется, как правило, отдельно, так как их одновременное сжигание ведет к химическому недожогу за счет более медленного выгорания распыленного жидкого топлива по сравнению с газообразным. Вызывается это тем, что жидкое топливо до его вступления в химическую реакцию с окислителем проходит через предварительные стадии, включающие испарение жидкости, перегрев образовавшегося пара и пирогенетические преобразования сложных молекул до более простых.

Горелка газомазутная Ленгипроинжпроекта (рис. 12.39) предназначена для отдельного сжигания газа и мазута в топках котлов паропроизводительностью от 2,5 до 20 т/ч. Она состоит из тангенциального (улиточного) кожуха, придающего воздуху вращательное движение, кольцевого газораспределительного коллектора

Основные технические характеристики горелок ГГВ конструкции Мосгазиниинпроекта

Показатели	ГГВ-10	ГГВ-25	ГГВ-50	ГГВ-75	ГГВ-100	ГГВ-150	ГГВ-200	ГГВ-350	ГГВ-500	ГГВ-750
Номинальная тепловая мощность, кВт	115	288	577	865	1154	1732	2309	4040	5772	8660
Номинальное давление, кПа:										
природного газа низкого давления						2				
» » среднего давления						30				
воздуха						2				
Коэффициент избытка воздуха при номинальном режиме						1,05				
Длина пламени при номинальном режиме, мм	140	280	450	570	800	1080	1150	1600	1700	2000
Номинальный расход природного газа, м ³ /ч	11,6	29	58	88	117	175	234	409	584	876
Размеры, мм:										
<i>L</i>	315	514	525	603	638	725	755	930	1135	1270
<i>l</i>				80			120	80	120	
<i>l</i> ₁	70	135	160	180	200	245	230	380	445	550
<i>l</i> ₂	125	210	205	250	260	290	280	348	420	435
<i>H</i>	100	150	145	170	190	200	220	306	325	360
<i>D</i>	85	150	160	195	215	245	290	370	405	488
<i>D</i> ₁	68	126	152	168	192	210	270	330	386	460
<i>D</i> ₂	62	84	115	140	160	185	218	289	346	422
<i>D</i> ₃	16	46	60		76	103	110	128	154	179
<i>d</i>	7			12					14	
<i>n</i> ₁ (шт.)	12/12	24/48	16/36			12/36				24/36
<i>d</i> ₁	2,76/1,4	3,0/1,0	5,0/1,7	7,7/2,2	8,7/2,5	11,0/3,0	12,2/3,3	16,3/4,75	20/5,8	17,3/7,0
Масса, кг	4,3	18,5	19,0	26,0	29,0	38,0	45,0	65,3	93,0	89,6

Примечания. 1. Число в шифре горелки соответствует расходу газа, м³/ч, при среднем давлении 20 кПа (2000 кгс/м²). 2. В числителе дано число газопускных отверстий и диаметры при работе на газе низкого давления, в знаменателе — то же, при работе на газе среднего давления.

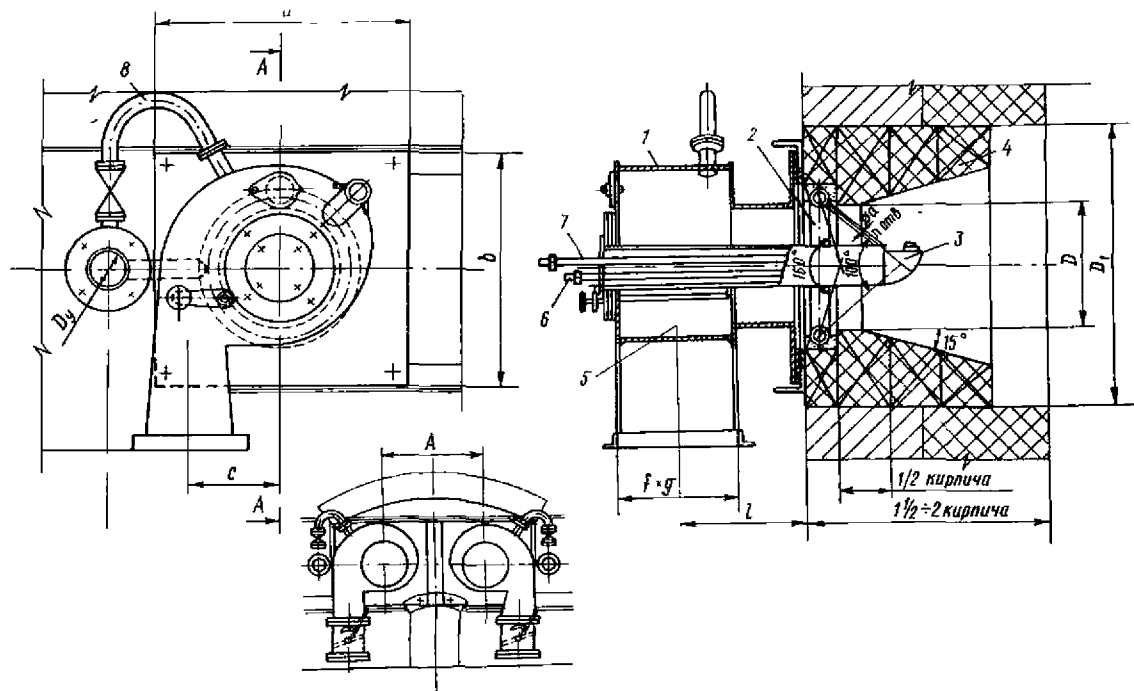


Рис. 12.39. Горелка с принудительной подачей воздуха газомасляная, с периферийной выдачей струй газа в поток воздуха.

1 — тангенциальный (улиточный) кожух; 2 — кольцевой газораспределительный коллектор; 3 — масляная форсунка; 4 — огнеупорная амбразура; 5 — язычковый шибер; 6 — штуцер для подвода масла; 7 — штуцер для подвода пара; 8 — трубка для охлаждения воздуха газораспределительного коллектора при работе на масле.

Основные технические характеристики газомазутных

горелок конструкции Ленгипроинжпроект

Номер горелки	Номинальная тепловая мощность, кВт	Номинальный расход газа, м ³ /ч	Номинальный расход мазута, кг/ч	Расход пара на распыливание мазута, кг/ч	Номинальное давление, Па (газа/воздуха)	Давление мазута, МПа	Давление пара, МПа	Коэффициент рабочего регулирования
1	1074	105	100	35	2500/450	0,03—0,05	0,3—0,4	6
2	1630	165	155	50	2500/550	0,03—0,05	0,3—0,4	6
3	2668	270	255	85	2500/550	0,03—0,05	0,3—0,4	6
4	4100	415	390	130	2500/600	0,03—0,05	0,3—0,4	4,8
5	8200	830	780	260	2500/600	0,03—0,05	0,3—0,4	4

Примечание. На котлы ДКВР-2,5; -4; -6,5; -10 и -20 т/ч пара устанавли

Размеры, мм										Масса, кг
a	b	c	D	D ₁	d	l × g	l	D _y	A	
550	520	200	275	617	2,9	250 × 180	265	80	745	77
650	610	240	330	672	3,5	300 × 220	290	80	800	97
760	720	300	415	757	4,2	375 × 275	328	100	885	130
860	820	350	480	822	4,8	500 × 320	390	150	950	190
1150	1100	490	670	1012	5,6	700 × 455	490	150	1140	320

вают по две горелки типоразмеров соответственно 1, 2, 3, 4, 5.

с двумя рядами газовыпускных отверстий, мазутиной форсунки и языкового шибера для регулирования закрутки воздуха.

При сжигании газа мазутная форсунка демонтируется для предотвращения ее обгорания за счет излучения раскаленной кладки и пламен. Образование газозадушной смеси в горелке осуществляется путем выдачи тонких струй газа с периферии к центру в закрученный поток воздуха. Практика показывает, что такая выдача газовых струй сравнительно с их выдачей из центра к периферии в условиях эксплуатации приводит к большей полноте сгорания газа, большей прозрачности пламен и меньшей их протяженности. Объясняется это тем, что при периферийной выдаче газовые струи попадают в основную массу воздуха и более равномерно распределяются в ней, в особенности при необходимых в практике изменениях тепловой мощности горелок. Достоинством периферийной выдачи струй газа является и то, что при этом легче предотвратить слияние струй и защитить газораспределительный коллектор от обгорания. Основные характеристики и размеры горелок для природного газа ($Q_n = 35,6 \text{ МДж/м}^3$ и $\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$) и топочного мазута марок 40 и 100 ($Q_n = 38,5 \text{ МДж/кг}$) приведены в табл. 12.19.

По опытным данным достаточная полнота сгорания газа и мазута достигается в условиях номинальной тепловой мощности при коэффициентах избытка воздуха соответственно 1,05—1,07 и 1,15—1,2.

Горелки типа ГМГм конструкции НПО ЦКТИ им. И. И. Ползунова (рис. 12.40). Представляют собой комбинированную конструкцию, состоящую из газовой горелки с принудительной подачей воздуха и паромеханической (мазутной) форсунки. Горелки, изготавливаемые таллинским заводом «Ильмарине», устанавливаются в топках водотрубных котлов типа ДКВР и др.

Горелка ГМГм состоит из газовой камеры, имеющей два ряда газопускных отверстий, направленных под углом 90° друг к

другу, лопаточных завихрителей вторичного и первичного воздуха, паромеханической форсунки, монтажной плиты с устройством для установки запальной горелки. Стабилизация пламени обеспечивается керамическим коническим туннелем за счет рециркуляции части раскаленных продуктов сгорания в приосевой зоне.

Газ из газовыпускных отверстий подается в закрученный поток воздуха. Воздух, необходимый для горения, поступает к горелке от общего воздуховода через два подводящих патрубка (первичный и вторичный). Зону первичного воздуха образуют подводящее устройство и завихритель тангенциально-аксиального типа с прямыми лопатками, установленными под углом 60° , откуда часть воздуха (около 15% от общего расхода) подается к корню факела. Первичный воздух позволяет улучшить смешение газа с воздухом, особенно на малых нагрузках. Зона вторичного (основного) воздуха — колено трубопровода с углом 90° , на выходе из которого находится завихритель с прямыми лопатками, установленными под углом 45° . Закрутка воздуха в горелке лопатками происходит в одну сторону. В зависимости от компоновки горелки на теплоагрегате принимаются завихрители правого или левого вращения. Газ из газовыпускных отверстий подается в закрученные потоки воздуха, смешивается с воздухом и сгорает в коническом керамическом туннеле.

Горелки ГМГм обеспечивают полное сжигание газа при $\alpha = 1,05$, мазута при $\alpha = 1,15$. Длина факела при этом не превышает для ГМГм-1,5 — 1,5; ГМГм-2 — 2; ГМГм-4 и ГМГм-5 — 2,5 м. Расходные характеристики горелок ГМГм даны на рис. 12.41, а технические — в табл. 12.20.

Мазутная форсунка при изменении нагрузки от 70 до 100% от номинальной тепловой мощности работает в режиме механического распыла; при большем уменьшении нагрузки для хорошего распыла дополнительно подается водяной пар со степенью сухости, близкой к 1. Расход пара — около 0,03 кг на 1 кг жидкого топлива.

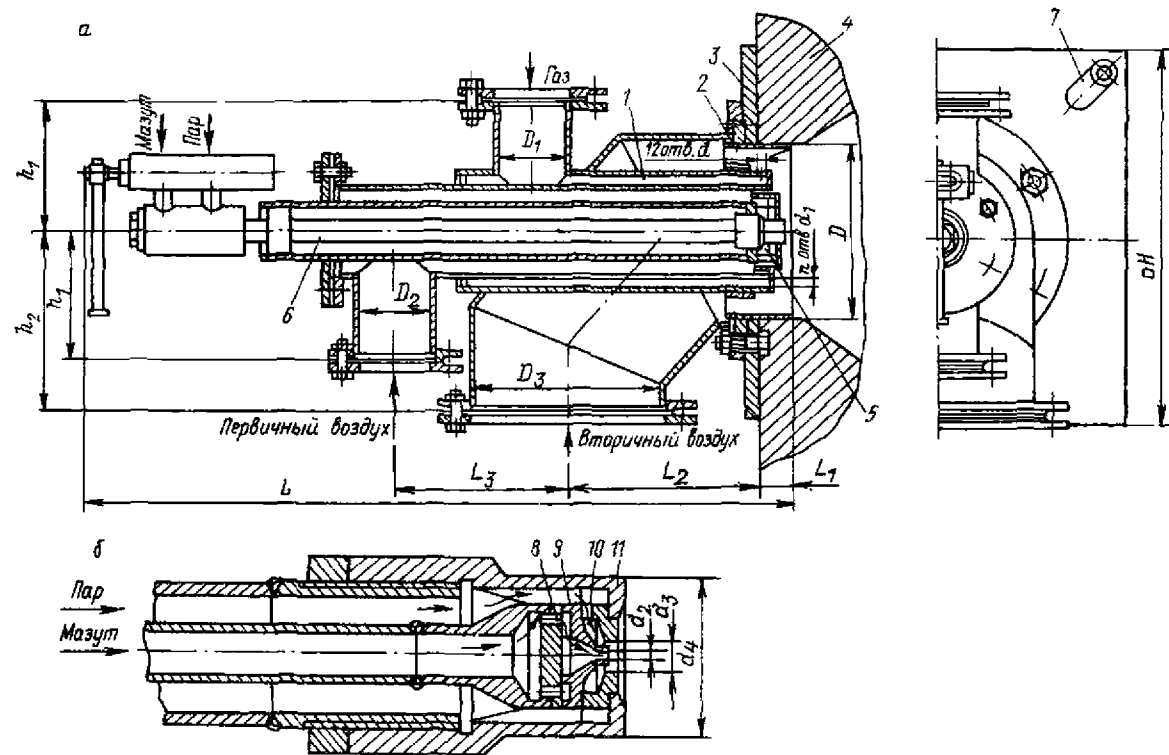


Рис. 12.40. Горелки ГМГМ конструкции ЦКТИ.

а — горелка в сборе; **б** — мазутная форсунка; 1 — газовая камера; 2, 5 — лопаточные завихрители (2 — вторичного воздуха, 5 — первичного воздуха); 3 — монтажная плита; 4 — конический керамический туннель-стабилизатор; 6 — паромеханическая форсунка; 7 — стакан для установки запальной горелки; 8 — распределительная шайба; 9, 10 — запяски (9 — топливный, 10 — паровой); 11 — нажимная

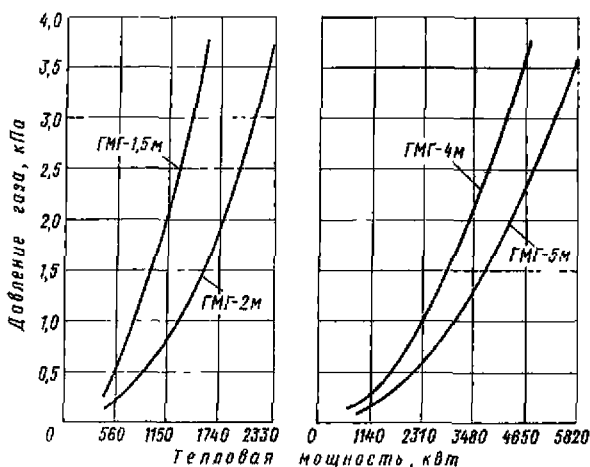


Рис. 12.41. Расходные характеристики горелок ГМГм.

Мазут по трубе подводится к распыляющей головке форсунки, в которой установлены шайба распределительная 8, затем топливный 9 и паровой 10 завихрители, имеющие по три тангенциальных канала. Затем под давлением 1,25—2,0 МПа он подается в отверстия распределительной шайбы и по тангенциальным каналам попадает в камеру завихрения, откуда с большой скоростью выходит через сопло и распыляется за счет центробежных сил. На пониженных режимах работы форсунки по наружной трубе подается пар, который попадает в каналы парового распылителя, откуда выходит закрученным потоком, обеспечивает дополнительный распыл мазута, компенсируя ухудшение механического распыла при снижении скоростей.

На время работы горелки на газе мазутную форсунку целесообразно демонтировать, а образовавшийся канал закрыть заглушкой. При переходе на сжигание мазута в смонтированную форсунку сначала подают пар, затем жидкое топливо давлением 0,2—0,5 МПа. После появления мазутного пламени газ отключают и переводят работу горелки только на режим жидкого топлива.

ГМГм могут работать на природном газе устойчиво (без химического недожога) с коэффициентом избытка воздуха до 5. В этом случае применительно к смеси, по-видимому, более правильно говорить не о коэффициенте избытка воздуха, а о коэффициенте разбавления, так как для природного газа при $\alpha > 2$ газовоздушная смесь не является горючей.

Работа горелки ГМГм с $\alpha = 2 \div 5$, когда в топку подается теплоноситель (смесь продуктов сгорания с воздухом) сравнительно низкой температуры, позволяет сделать вывод о возможном использовании горелки ГМГм для средне- и низкотемпературных тепловых установок (сушилки, термические печи и др.). При этом снижается в продуктах сгорания содержание оксидов азота.

Основные технические характеристики горелок ГМГм конструкции ЦКТИ

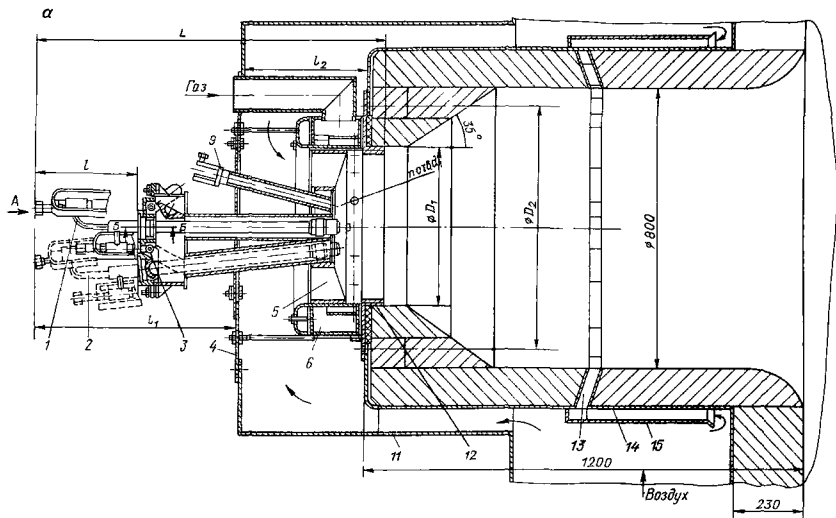
Показатели	ГМГ-1,5м		ГМГ-2м	ГМГ-4м	ГМГ-5м
Номинальная тепловая мощность, кВт	1570	1740	2330	4650	5820
Номинальное давление, кПа:					
природного газа	3,8	5,0	3,6	3,8	
первичного воздуха	1,25	1,20	1,1	1,2	
вторичного воздуха	0,75	0,90	0,9	0,8	0,75
Коэффициент избытка воздуха (при номинальном режиме) при сжигании:					
газа	1,05				
мазута	1,15				
Номинальный расход природного газа, м ³ /ч	160	180	235	470	590
То же, мазута, кг/ч (при $Q_H = 40,4$ МДж/кг)	143	160	210	420	520
Коэффициент рабочего регулирования	4		5		
Давление, МПа:					
мазута	1,25	1,6	2,0		
пара	0,15		0,2		
Число отверстий:					
n	4		8		
n_1	9		12		
Размеры, мм:					
D	246		267	365	369
D_1	170		225		
D_2	141		205		
D_3	310		410		
H	500		600		
h_1	180		235		
h_2	250		360		
L	958		1195		1185
L_1	264		375		
L_2	240		318		
L_3	309		428		
d	6,8	8,0	11,5		14,0
d_1	6,5		8,8		10,0
d_2	1,8	2,0	2,8		3,0
d_3	5		7,2		8,8
d_4	34		42		
Масса, кг	70		120		

Горелки ГМ и ГМП конструкции НПО ЦКТИ им. И. И. Ползунова и завода «Ильмарине». Предназначены для отдельного сжигания природного газа и мазута. Они устанавливаются в топках водотрубных котлов типа ДЕ. Горелка (рис. 12.42, табл. 12.21) состоит из газовой части и мазутной форсунки и представляет собой комбинированную конструкцию горелки с принудительной подачей воздуха и паромеханической форсунки. Совместное сжигание газа и мазута допустимо только кратковременно: при переходе с одного вида топлива на другой. Горелки изготавливают правого и левого направления вращения воздуха (горелка ГМП-16 только правого).

Основные характеристики горелок ГМ и ГМП

Показатели	ГМ-2,5	ГМ-4,5	ГМ-7	ГМ-10	ГМП-16
Номинальная тепловая мощность, кВт	2900	5230	7420 (6650)	12 560 (12 675)	18 600
Номинальный расход природного газа, м ³ /ч	294	530	750	1270	1880
Номинальное давление:					
газа, кПа		25	30	20	25
мазута, МПа		1,8	1,6	2,0	1,8
воздуха, Па	800	900	900 (1050)	1020 (1120)	3500
Коэффициент избытка воздуха		1,1	1,04 (1,1)	1,05 (1,08)	1,05
Коэффициент рабочего регулирования		5,0	8,2 (7,15)	5,5 (6,0)	5,0
Длина факела на мазуте, м	1,8	2,5	3,0	5,4	6,5
Число газовых отверстий n	19			16	
Размеры, мм:					
L	953	962	990	1023	990
l	280	280	300	272	300
l_1	658	630	578	622	578
l_2	256	296	366	366	366
l_3	585	770	885	885	885
D_{Γ}	57	89	102	102	102
D	642	728	850	850	850
D_1	330	375	434	450	450
D_2	545	630	715	715	715
d_1	6,6	7,5	9,0	12,8	18
d_2	2,2	2,8	3,5	4,4	5,5
d_3	5,0	7,2	6,4	10,7	12
d_4	34	42	42	50	50
Масса, кг	105	130	145	145	145
Рекомендуемые котлы	ДЕ-4-14ГМ	ДЕ-6,5-14ГМ	ДЕ-10-14ГМ	ДЕ-16-14ГМ	ДЕ-25-14ГМ

Примечания. 1. Характеристики горелок ГМ-7 и -10 приведены по результатам государственных испытаний, остальных — по паспортным данным завода «Ильмаринен»; цифры в скобках — данные для мазута. 2. Диаметры d_2 , d_3 , d_4 — см. рис. 12.40. 3. Удельный расход пара на распыл мазута не более 0,05 кг/кг при давлении 0,1—0,2 МПа, а для ГМП-16 — при давлении 0,15—0,30 МПа.



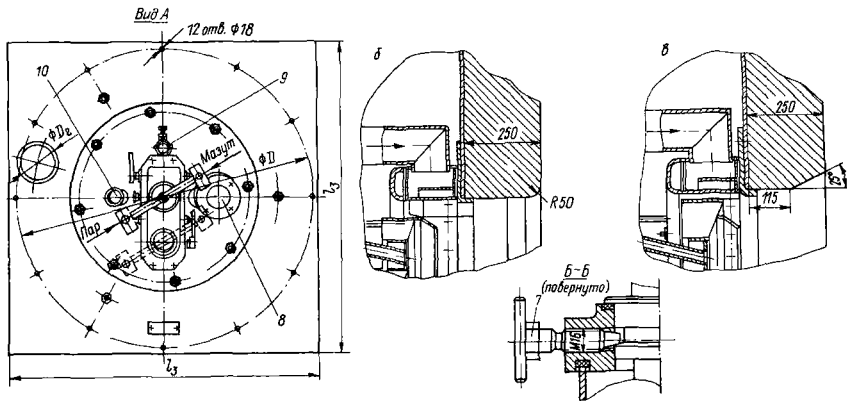


Рис. 12.42. Горелки ГМ и ГМП-16.

а — горелка ГМП-16 с камерой двухступенчатого сжигания топлива; **б** — горелка ГМ-10 с цилиндрической фурмой; **в** — горелки ГМ-2,5, **4** и **7** с конической фурмой; **1, 2** — форсунки: **1** — основная, **2** — резервная (показана условно); **3** — узел захлопок; **4** — фронтовой лист; **5** — лопаточный завихритель воздуха; **6** — газовый коллектор; **7** — фиксатор (место для установки); **8** — ЗЗУ; **9** — фотодатчик; **10** — гляделки; **11** — корпус камеры сгорания; **12** — опора; **13** — тангенциальный завихритель вторичного воздуха; **14—15** — обечайки: **14** — внутренняя, **15** — наружная.

Газовая часть горелки состоит из кольцевого коллектора прямоугольного сечения с одним рядом газовыпускных отверстий, через которые газ подают в закрученный поток воздуха после воздухонаправляющего устройства, включающего в себя лопаточный завихритель и фурму. Форсуночный узел горелки состоит из основной форсунки, расположенной по оси горелки, и резервной, находящейся ниже под углом 6° к горизонтали. При необходимости ремонта основную форсунку отключают и демонтируют. Для обеспечения непрерывной работы котла предварительно устанавливают резервную форсунку, которую подключают к мазутной и паровой линии и разжигают ее с помощью факела от основной форсунки. Допускается кратковременная эксплуатация резервной форсунки только в период ремонта основной.

В горелках ГМ и ГМП применены паромеханические форсунки, идентичные форсункам горелок ГМГм, отличающиеся от последних только тепловой мощностью и соответственно размерами d_2 , d_3 и d_4 (см. рис. 12.40), которые приведены в табл. 12.20.

Воздух в горелку подается по воздуховоду, который охватывает часть топки котла, тем самым обеспечивается утилизация теплоты за счет снижения потерь ее в окружающую среду.

Горелка ГМП-16 характеризуется наличием выступающей за пределы котла камеры двухступенчатого сжигания топлива (рис. 12.42). В качестве первичного воздуха поступает около 70% от необходимого для полного сгорания топлива. Вторичный воздух подается через кольцевую щель в тангенциальный завихритель и обеспечивает дожигание топлива. Направление вращения первичного и вторичного воздуха одинаковое. Применение двухступенчатого сжигания обеспечивает уменьшение отличия мазутного факела от газового за счет увеличения излучательной способности газового факела, а также, что очень важно, позволяет одновременно уменьшить концентрацию оксидов азота.

Горелка ГМГБ-5,6 (газомазутная) завода «Ильмарине» (рис. 12.43). Предназначена для сжигания газа в топках котлов при использовании мазута в качестве резервного топлива. В горелке установлена паромеханическая форсунка, аналогичная применяемой в горелках ГМГм (см. рис. 12.40). Стабилизатором мазутного пламени служит конусный экран, за которым при обтекании воздуха создаются разрежение и воя рециркуляции, обеспечивающие поджигание смеси.

Конструкция газовой части, состоящей из кольцевого коллектора с отверстиями для выхода газа с периферии к центру, предусматривает струйную подачу газа в закрученный поток воздуха и обеспечивает хорошее смешение газа с воздухом. Стабилизация газового пламени обеспечивается коническим керамическим туннелем. Завихрителем воздуха служит набор профлированных лопастей с регулируемым углом наклона. Это позволяет менять степень крутки. Воздух к горелке подается от воздушного короба,

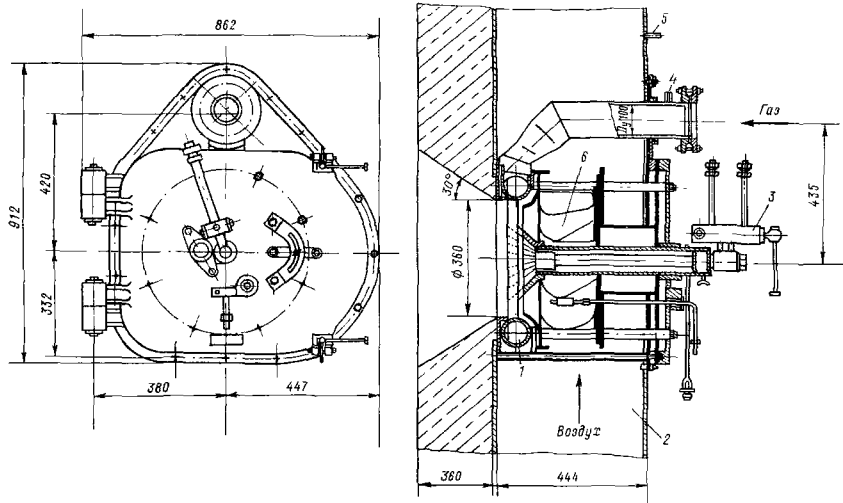


Рис. 12.43. Газомазутная горелка с принудительной подачей воздуха типа ГМГБ.

1 — кольцевой газораспределительный коллектор; 2 — воздушный короб; 3 — паромеханическая форсунка; 4—5 — штуцера для измерения давления (4 — газа, 5 — воздуха); 6 — лопаточный завихритель воздуха.

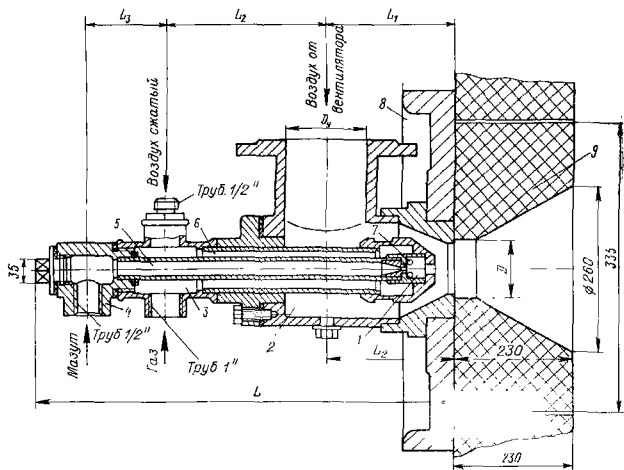


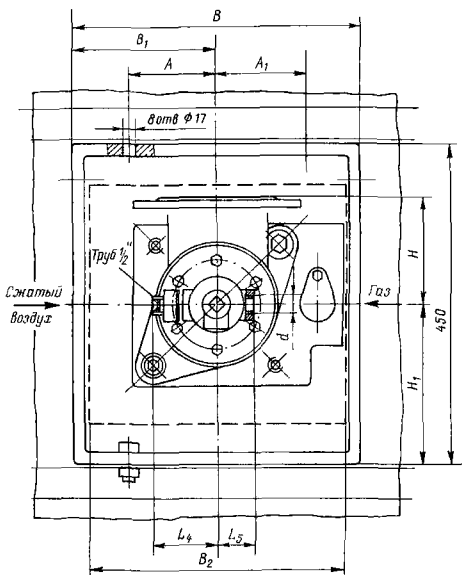
Рис. 12.44. Горелка КГМГ-А

1 — акустический излучатель; 2 — воздушная камера; 3 — газовая камера; 4 — мазут подвода газа; 7 — тангенциальное отверстие для поступления газа или сжатого воздуха

который является общим для всех горелок, устанавливаемых на котле.

Техническая характеристика горелки ГМГБ-5,6

Номинальная тепловая мощность, кВт	6515
Номинальный расход природного газа, м ³ /ч	660
Коэффициент избытка воздуха при номинальном режиме	1,05
Коэффициент рабочего регулирования	7
Номинальное давление, кПа:	
газа	5
воздуха	1,2
Давление, МПа:	
мазута	2,0
распыливающего пара	0,2



конструкции НИИТмаша.

ная форсунка; b — внутренняя трубка для подвода мазута; $б$ — внешняя трубка для (при работе на мазуте); $в$ — фреоновая плита; $г$ — конический туннель (стабилизатор мени).

Горелки КГМГ-А конструкции НИИТмаша. Это — комбинированные газомазутные горелки с акустическим излучателем (рис. 12.44, табл. 12.22), предназначенные для сжигания природного газа и мазута (резервный вид топлива) в промышленных печах.

Природный газ через штуцер подается в газовую камеру и по внешней трубе поступает в акустический излучатель. Газовые (воздушные при работе на мазуте) струи, выходя из тангенциальных отверстий, получают вращательное движение, в результате этого возникает акустическое поле вихревой природы. Это поле, получаемое за счет истечения газа из излучателя, накладывается на пламя и интенсифицирует процессы смешения и горения. При работе на мазуте вместо газа для генерации акустической энергии

Основные технические характеристики горелок КГМГ-А конструкции НИИТмаша

Показатель	КГМГ-А1	КГМГ-А2	КГМГ-А3	КГМГ-А4	КГМГ-А5	КГМГ-А6	КГМГ-А7
Номинальная тепловая мощность, кВт	130	286	466	760	995	1240	1515
Номинальное давление, кПа:							
природного газа	60	55	52	65	55	56	56
воздуха	0,6	0,8	1,68	2,3	3,2	3,8	4,3
Коэффициент избытка воздуха при номинальном режиме	1,01	1,03	1,02	1,03	1,04		1,05
Номинальный расход газа, м ³ /ч	13,1	29,2	47,3	77,1	101,2	125,9	153,7
Коэффициент рабочего регулирования	5,8	4,6	6,0	5,2		5,5	
Размеры, мм:							
D_y	65	80	100		125		150
D_y	50	60	70	80	90	100	110
d				Труб. 1"			Труб. 1 1/4"
L	320	390	412	437	476	491	511
L_1	100	136	155	165	190	200	210
L_2	118	136	156	160	169	174	184
L_3	62	72	52	72		77	
L_4	38		42			52	
L_5	66		70			80	
A				125			130
A_1				125			190
B		380				400	420
B_1			175				180
B_2		340				360	370
H		100	120	140	150	160	190
H_1	170				225		
Масса, кг	72	78,4	87,5	87,1	90,0	92,8	106,6

Примечания. 1. Частота акустических колебаний 4—7 кгц. 2. Давление мазута марки 100 (при температуре 70 °С) 0,3 МПа.

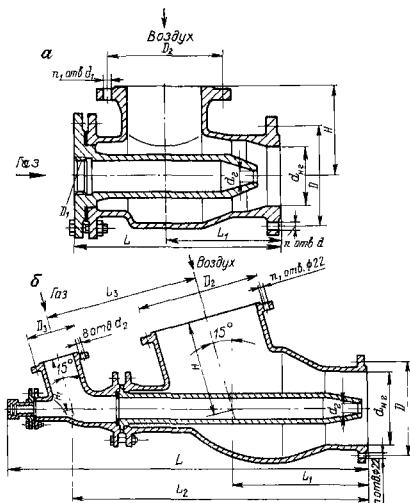


Рис. 12.45. Горелки ДВС (а) и ДВБ (б) конструкции Стальпроекта.

используется сжатый воздух давлением 0,1 МПа. В качестве стабилизатора пламени для горелок КГМГ-А используется конический керамический туннель. Переход с газа на мазут и с мазута на газ может осуществляться без остановки печи за счет переключения соответствующих отключающих устройств.

Горелки ДВС и ДВБ конструкции Стальпроекта (рис. 12.45, табл. 12.23). Предназначены для сжигания высококалорийных газов в нагревательных и термических печах. Горелки ДВС (Д — дутьевая, В — высококалорийный газ, С — средней тепловой мощности) и ДВБ (Б — большой тепловой мощности) — это горелки типа «труба в трубе» внешнего смещения, они обеспечивают сжигание газа в длинном светящемся факеле. Пламя стабилизируется в керамическом туннеле. Горелки могут работать на подогретых до 400 °С воздухе и газе.

Растянутый по длине печи настольный светящийся факел обеспечивается при сжигании газа с $\alpha_1 = 1,05 \div 1,10$.

Горизонтальные щелевые горелки конструкции Укринпронжпроект (ныне Укриниинжпроект) (рис. 12.46). Предназначены для сжигания природного газа низкого давления в топках со сра-

Основные технические характеристики горелок

Показатели	Основные технические характеристики горелок									
	ДВС-600/d _r	ДВС-700/d _r	ДВС-800/d _r	ДВС-1100/d _r	ДВС-1300/d _r	ДВС-1600/d _r	ДВБ-3000/d _r	ДВБ-3250/d _r		
Номинальная тепловая мощность, кВт	475	692	1035	1420	2070	2960	3190	4820		
Номинальное давление, кПа:										
газа										
воздуха										
Коэффициент рабочего регулирования										
Номинальный расход природного газа, м ³ /ч	48	69	105	144	210	300	323	488		
Размеры, мм:										
D	130	150	170	225	225	255	295	325		
D ₁	Труб. 1 1/2"									
D ₂	160	180	210	240	295	295	400			
D ₃										
d	13									
d ₁	18									
d ₂										
d _{н.г}	60	70	90	110	130	150	200	225		
d _r	13	15	20	22	28	30	35	40		
H	10+26	12+26	16+30	18+65	22+65	24+65	30+35	30+40		
H ₁	160									
L	473									
L ₁	200									
L ₂	260									
L ₃	1075									
	555									
Число отверстий:										
л	12									
л ₁	8									
Масса, кг	23,8	24,8	27,3	54,3	55,3	57,3	223	227		

Примечание. В числителе — диаметр сопла d_r — для природного газа ρ =

ДВС и ДВБ конструкции Стальпроекта

ДВБ-300/d _r	ДВБ-375/d _r	ДВБ-300/d _r		ДВБ-325/d _r	ДВБ-350/d _r	ДВБ-375/d _r	ДВБ-400/d _r	ДВБ-425/d _r
		I	II					
6550	8300	9300		11 500	14 200	17 000	19 750	22 500
665	844	944		1170	1440	1720	2000	2280
350	395	400		430	450	480	515	530
465	495	550		600				
18								
22								
22								
250	275	300		325	350	375	400	425
50	55	60	60	65	70	80	85	90
35+85	40+85	45+85	40+100	45+100	45+100	50+100	55+100	60+100
350								
200								
1333								
500								
400								
220								
1563								
600								
1295								
670								
16								
16								
260	258	293	331	335	377	381	380	392

0,73 кг/м³, в знаменателе — пределы изменения d_r для различных газов

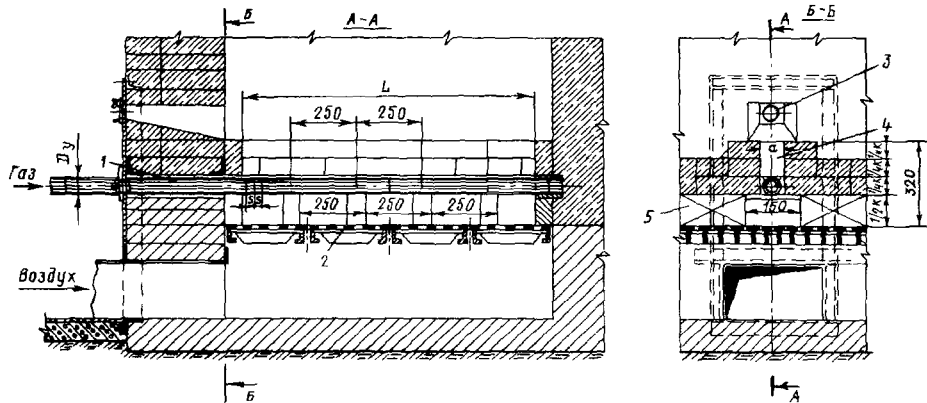


Рис. 12.46. Простейшая однорядная горелка с принудительной подачей воздуха щелевая однотрубная.

1 — газораспределительная труба (коллектор); 2 — колосниковая решетка; 3 — глазок для зажигания газа и наблюдения за горением; 4 — тушьель (щель); 5 — опорные кирпичи.

нительно невысокими температурами. Такие горелки в литературе и в теплотехнической практике обычно называются по их устройству или месту установки в топках горизонтальными щелевыми или подовыми. Эти горелки не проходили государственных испытаний. Их эксплуатация на действующих котлах допускается в соответствии с разьяснениями ВНПО Союзпромгаз. Знать особенности и недостатки этих горелок, рекомендации по их использованию, по нашему мнению, полезно.

Горелка состоит из трубы с отверстиями для выпуска газа, размещенной в нижней части горизонтального туннеля в виде прямоугольной щели по его оси. Отверстия на трубе расположены в два ряда с углом между их осями 90° . Воздух для горения поступает через колосниковую решетку и далее в туннель, где перемещивается с пронизывающими его под углом 45° струями газа. Таким образом, принцип смешения газа с воздухом заключается в выдаче под углом тонких струй газа в принудительно подающийся поток воздуха. Для предотвращения слияния газовых струй и быстрого распространения пламен по длине туннеля расстояния между осями отверстий для выпуска газа принимаются в пределах от 6 до 10 диаметров отверстий.

Туннель с помощью опорной кладки выкладывается на колосниковой решетке топки из шамотного кирпича класса А с нетесаными гранями, обращенными внутрь. Высота туннеля для всех типоразмеров горелок одинакова и составляет около 200 мм, а ширина в зависимости от размера газораспределительных труб укладывается в пределы от 90 до 130 мм. При указанных соотношениях происходит сравнительно равномерное распределение газовых струй в потоке воздуха. Так как процессы смешения и горения в этих горелках протекают одновременно, то при сжигании углеводородных газов возникают ярко светящиеся пламена, имеющие высоту от 800 до 1200 мм в зависимости от размера газовыпускных отверстий.

Горение газа начинается внутри туннеля на расстоянии 30—40 мм от газораспределительной трубы. Температура на внутренней поверхности верхней части туннеля достигает 1000°C , а на поверхности трубы 400°C и выше. Основные характеристики и размеры горелок для природного газа ($Q_n = 35,6 \text{ МДж/м}^3$, $\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$) приведены в табл. 12.24.

Достоинствами этих горелок являются простота изготовления, высокая устойчивость пламени, широкий диапазон регулирования тепловых потоков в топках и удовлетворительная полнота сгорания газа при $\alpha = 1,15 \div 1,2$. Последнее, однако, достигается только при высоком качестве изготовления и монтажа горелок и при их установке в топках с высотой, большей высоты пламени. Практика показывает, что нарушение соосности трубы и туннеля, значительное уменьшение расстояний и угла между осями газовоздушных отверстий, установка в топках с недостаточной высотой и неравномерный подвод воздуха по длине туннеля приводят к нарушению

Основные характеристики и размеры щелевых одновтрубных горелок с припудительной подачей воздуха
конструкции Украининжпроект для природного газа низкого и среднего давления

Шифр горелок	Номинальная тепловая мощность, кВт	Номинальный расход газа, м ³ /ч	Номинальное давление, Па		Диаметры газопусковых отверстий, мм	Число отверстий n	Шаг между осями отверстий, мм	Диаметр трубы Ду, мм	Ширина туннеля а, мм	Длина туннеля L, мм	Масса трубы горелки, кг
			газа	воздуха							
Для природного газа низкого давления											
ПГОД-Н-15	148	15	1300 и 2000	200—300	$\frac{1,5}{1,3}$	66	15	32	90	510	4,0
ПГОД-Н-20	198	20	1300 и 2000	200—300	$\frac{1,5}{1,3}$	88	15	40	100	680	5,2
ПГОД-Н-35	346	35	1300 и 2000	200—300	$\frac{1,8}{1,6}$	106	15	40	110	810	5,6
ПГОД-Н-50	494	50	1300 и 2000	200—300	$\frac{1,8}{1,6}$	136	15	40	110	1030	6,3
ПГОД-Н-75	741	75	1300 и 2000	200—300	$\frac{2,2}{2,0}$	144	15	50	130	1100	8,4
ПГОД-Н-100	988	100	1300 и 2000	200—300	$\frac{2,2}{2,0}$	194	15	50	130	1470	10,0
Для природного газа среднего давления											
ПГОД-С-50	494	50	30 000	200—300	1,5	46	20	40	100	480	4,3
ПГОД-С-75	741	75	30 000	200—300	1,5	88	20	40	100	700	5,0
ПГОД-С-100	988	100	30 000	200—300	1,6	80	20	40	100	820	5,4
ПГОД-С-150	1482	150	30 000	200—300	1,7	106	20	40	100	1080	6,2
ПГОД-С-200	1976	200	30 000	200—300	1,8	126	20	50	120	1280	8,8
ПГОД-С-355	3507	355	30 000	500—600	1,9	202	20	70	120	2040	
ПГОД-С-365	3606	365	30 000	500—600	1,9	196	20	70	120	2000	

Примечания. 1. Для горелок типа ПГОД-Н в числителе приведены диаметры газопусковых отверстий для газа давлением 1300 Па, в знаменателе — для газа давлением 2000 Па. 2. Горелки ПГОД-С-150—ПГОД-С-365 предназначены для котлов ДКВР-2,5, 4, 6,5 и -10. В котлах ДКВР-6,5 устанавливаются по две горелки, а в котле ДКВР-10 — три горелки ПГОД-С-365.

картины горения, возникновению химического недожога, отложению сажистых частиц на нагреваемых поверхностях и снижению теплопроизводительности и КПД установок.

Недостатком горелок с трубой, размещенной по оси туннеля, является то, что в период эксплуатации размеры газовыпускных отверстий уменьшаются и теряют свою форму за счет образования и отложения пироуглерода, возникающего при термическом распаде теплоустойчивых углеводородных газов.

С целью сохранения размеров газовыпускных отверстий неизменно вместо одной газораспределительной трубы по оси туннеля устанавливаются две трубы, размещаемые под кладкой. Это уменьшает воздействие на них излучения раскаленного туннеля и способствует долговечности работы горелок. Устройство таких горелок показано на рис. 12.47, а их основные характеристики и размеры [по данным Укрспроинжпроекта (ныне Укрининжпроект)] приведены в табл. 12.25.

Газовые горелки этого типа могут применяться и для сжигания природного газа среднего давления. Основные характеристики и размеры одно- и двухтрубных горелок при работе на природном газе ($Q_n = 35,6 \text{ МДж/м}^3$, $\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$) среднего давления приведены в табл. 12.24 (рис. 12.46) и табл. 12.25 (рис. 12.47).

Вертикальные щелевые горелки конструкции Ленгипроинжпроекта. Горизонтальные щелевые горелки обычно используют при высокой надежности газоснабжения, так как перевод топков с газа на резервное топливо и обратно связан со значительными затратами труда и времени на демонтаж и монтаж горелок и другого оборудования.

Для быстрого перевода котлов с газового топлива на твердое и обратно применимы щелевые горелки с принудительной подачей воздуха конструкции Ленгипроинжпроекта (рис. 12.48). По принципу смешения газа с воздухом и структуре пламен они аналогичны рассмотренным выше горизонтальным щелевым двухтрубным горелкам, но размещены внутри топков не горизонтально, а вертикально — на их боковых стенках. В этом случае все устройства для сжигания твердого и газового топлива сохраняются неизменными и при переводе котлов с газа на твердое топливо или вновь на газ не требуется производить демонтаж и последующий монтаж оборудования.

Конструктивно горелка выполнена в виде стального короба, в который смонтированы две направляющие пластины для воздуха и две трубки с отверстиями для выпуска струй газа под углом 45° к потоку воздуха. Составной частью горелки является вертикальный прямоугольный туннель, выполненный в кладке топки из шамотного кирпича класса А с нетесаными гребнями. Глубина и ширина туннеля для горелок всех типоразмеров одинаковы и составляют соответственно 250 и 80 мм, а высота переменной и зависит от тепловой мощности горелок (размера трубок с газовыпускными отверстиями). Туннель указанных размеров обеспечивает высокую

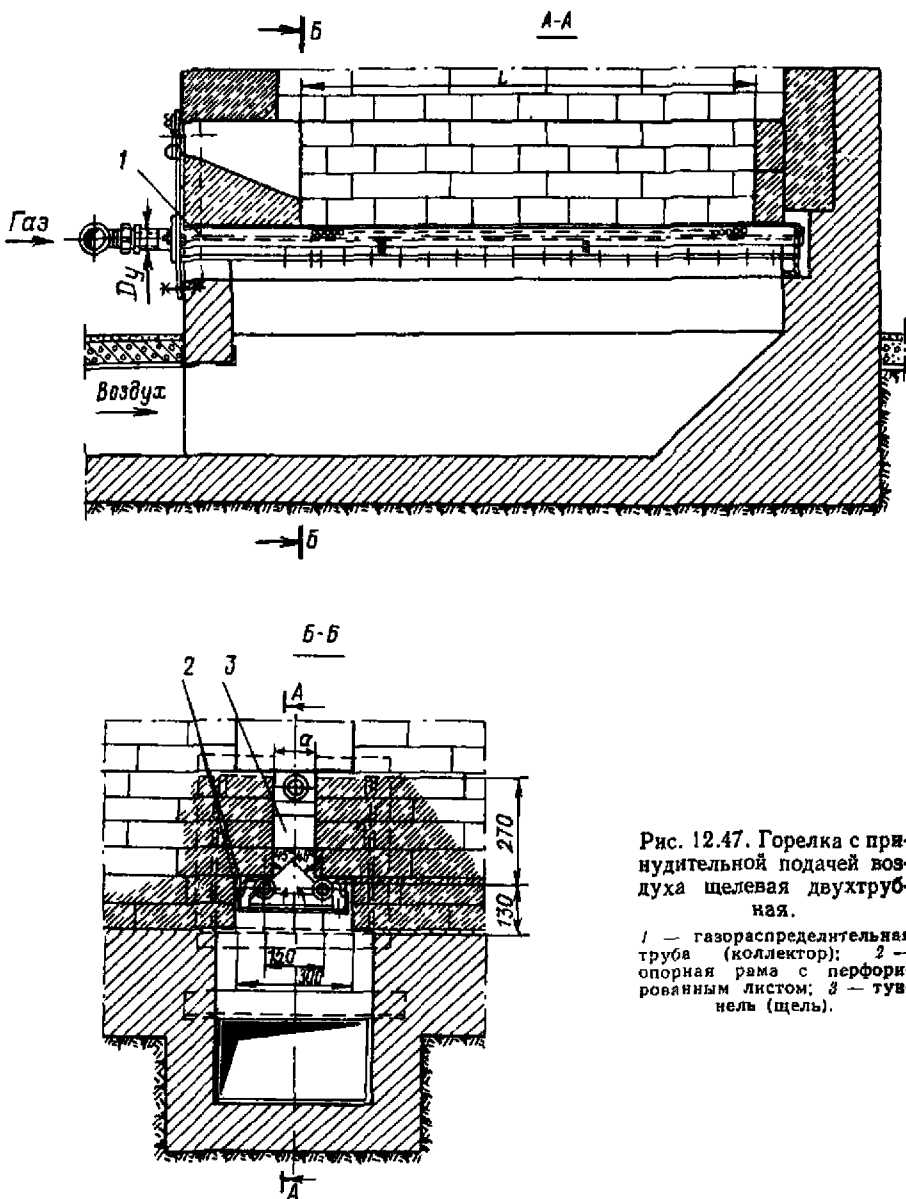


Рис. 12.47. Горелка с принудительной подачей воздуха щелевая двухтрубная.

1 — газораспределительная труба (коллектор); 2 — опорная рама с перфорированным листом; 3 — туй-пель (щель).

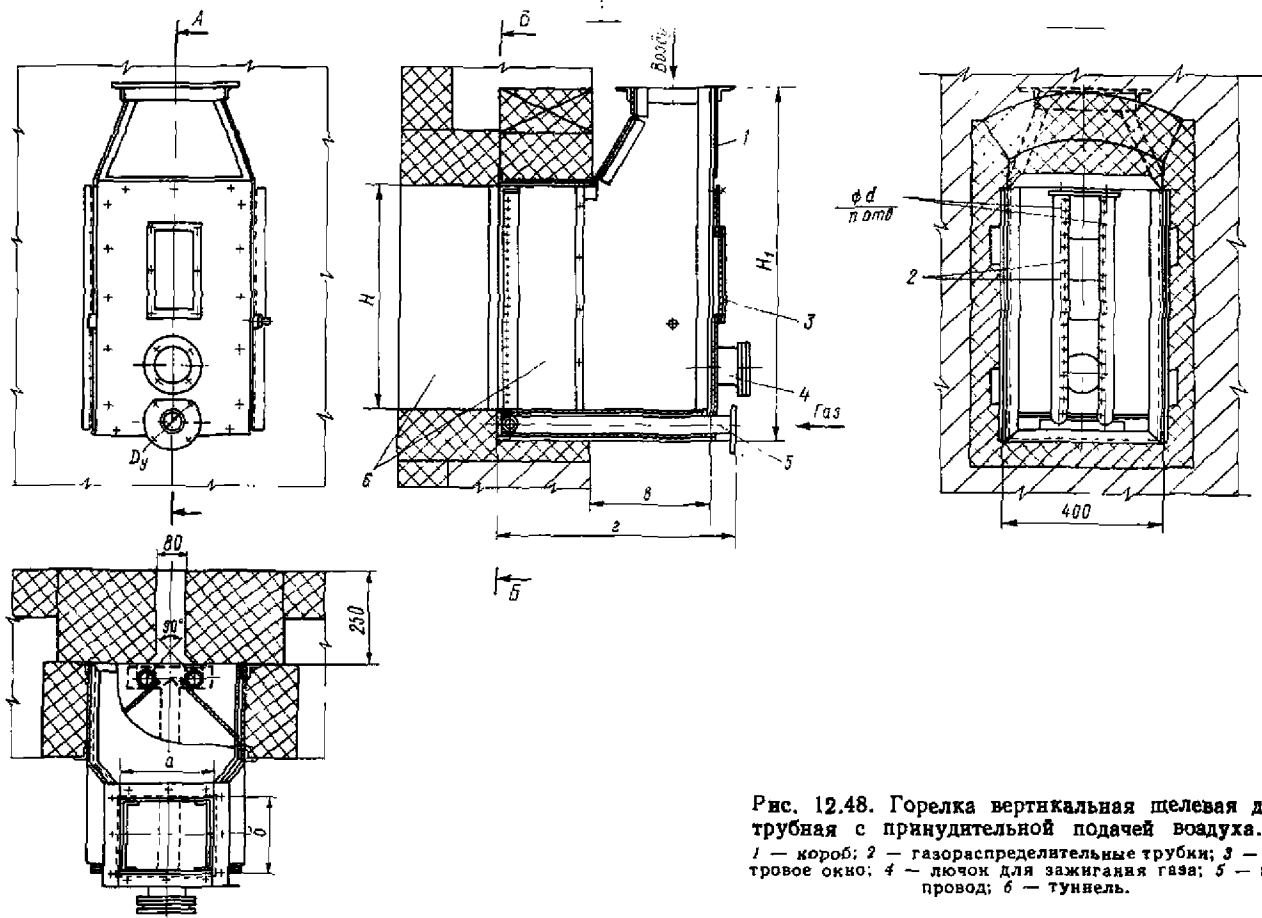


Рис. 12.48. Горелка вертикальная щелевая двух-
 трубная с принудительной подачей воздуха.
 1 — короб; 2 — газораспределительные трубки; 3 — см-
 тровое окно; 4 — лючок для зажигания газа; 5 — газо-
 провод; 6 — туннель.

Основные характеристики и размеры щелевых двухтрубных горелок с принудительной подачей воздуха для природного газа низкого и среднего давления конструкции Украиннижпроекта

Шифр горелок	Номинальная тепловая мощность, кВт	Номинальный расход газа, м ³ /ч	Номинальное давление, Па		Диаметры газопусковых отверстий, мм	Число отверстий л, мм	Шаг между осями отверстий, мм	Диаметр трубы Ду, мм	Ширина туннеля а, мм	Длина туннеля L, мм	Площадь живого сечения перфорированного листа, м ²	Масса горелки, кг
			газа	воздуха								

Для природного газа низкого давления

ПГД-Н-15	148	15	1300 и 2000	500—600	$\frac{1,5}{1,3}$	66	15	32	110	510	0,002	23
ПГД-Н-20	198	20	1300 и 2000	500—600	$\frac{1,5}{1,3}$	66	15	32	110	680	0,0027	27
ПГД-Н-35	346	35	1300 и 2000	500—600	$\frac{1,8}{1,6}$	106	15	40	110	810	0,0046	31
ПГД-Н-50	494	50	1300 и 2000	500—600	$\frac{1,8}{1,6}$	136	15	40	110	1030	0,0066	37
ПГД-Н-75	741	75	1300 и 2000	500—600	$\frac{2,2}{2,0}$	144	15	50	110	1100	0,001	40
ПГД-Н-100	988	100	1300 и 2000	500—600	$\frac{2,2}{2,0}$	194	15	60	110	1470	0,013	48
ПГД-Н-150	1482	150	1300 и 2000	500—600	$\frac{2,4}{2,2}$	238	15	60	110	1810	0,02	56

ПГД-Н-200	1976	200	1300 и 2000	500—600	$\frac{2,8}{2,5}$	248	15	70	110	1880	0,027	58
ПГД-Н-137	1354	137	1300 и 2000	500—600	$\frac{2,8}{2,5}$	170	15	70	120	1300	0,018	45
ПГД-Н-219	2154	219	1300 и 2000	500—600	$\frac{3,1}{2,8}$	210	15	70	120	1600	0,03	50
ПГД-Н-355	3507	355	1300 и 2000	500—600	$\frac{3,5}{3,1}$	268	15	100	120	2050	0,047	56

Для природного газа среднего давления

ПГД-С-50	494	50	30 000	500—600	1,5	46	20	50	120	480	0,0066	—
ПГД-С-75	741	75	30 000	500—600	1,5	68	20	50	120	700	0,01	—
ПГД-С-100	988	100	30 000	500—600	1,6	80	20	50	120	820	0,013	—
ПГД-С-150	1482	150	30 000	500—600	1,7	106	20	50	120	1080	0,02	—
ПГД-С-200	1976	200	30 000	500—600	1,8	126	20	50	120	1280	0,027	—
ПГД-С-137	1354	137	30 000	500—600	1,5	128	20	70	120	1300	0,018	—
ПГД-С-219	2154	219	30 000	500—600	1,7	158	20	70	120	1600	0,03	—

Примечание. Горелки ПГД-Н-137—ПГД-Н-355 предназначены для котлов ДКВР-2,5; -4 и -6,5. В каждом котле устанавливают по две горелки соответствующих типоразмеров.

Основные характеристики и размеры вертикальных щелевых двухтрубных горелок

Номер горелки	Номинальная тепловая мощность, кВт	Номинальный расход газа, м ³ /ч	Номинальное давление газа, кПа	Номинальное давление воздуха, Па	Диаметр газовых пусковых отверстий d , мм	Число отверстий l
2	1037	105	15	400	2,1	82
3	1334	135	15	550	2,2	96
4	2055	208	15	600	2,2	140

Примечание. На котлах ДКВ-2 и ДКВР-2,5 устанавливают по две горелки (соответственно горелки 1 и 2), на котлах ДКВ-4 и ДКВР-4, ДКВ-6,5 и ДКВР-6,5, ДКВ-10 и ДКВР-10 — по четыре горелки (соответственно 1, 3 и 4).

Горелки с принудительной подачей воздуха конструкции Ленгипроинжпроект

Шаг между рядами отверстий, мм	Диаметр трубы D_y , мм	Размеры, мм						Масса, кг
		H	H_1	a	b	c	e	
14	50	600	920	250	200	300	620	63
14	50	600	920	250	200	300	620	63
14	50	700	1020	250	200	300	620	68
14	70	1000	1340	350	250	350	670	91

Горелки с принудительной подачей воздуха конструкции Ленгипроинжпроект

устойчивость пламени в отношении отрыва и широкий диапазон регулирования горелок: от 1,0 до 40 кПа.

Горение газа происходит в туннеле и завершается в топке на расстоянии 900—1000 м от него. Температура стенок выходной части туннеля 1000—1100 °С. Основные характеристики и размеры этих горелок применительно к сжиганию природного газа ($Q_{\text{в}} = 35,6 \text{ МДж/м}^3$, $\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$) в котлах типов ДКВ и ДКВР приведены в табл. 12.26.

Вертикальные щелевые горелки не прошли государственные испытания и не рекомендуются к широкому применению.

Горелки ГТПЦ конструкции Краматорского отделения ЦНИИТмаша. Предназначены для сжигания природного газа в термических печах, сушилках и других тепловых установках.

Работа этих горелок (рис. 12.49) основана на струйно-стабилизаторном принципе горения газа. Газ из кольцевой камеры через сопла поступает в коническую перфорированную камеру смешения и горения. Кольцевой выступ прижимает газовые струи к внутренней поверхности конусной камеры, в которую через отверстия подается первичный воздух с $\alpha_1 < 1$ (при номинальной мощности $\alpha_1 = 0,85$). По пути движения газа происходит постепенное смешение его с закрученными в разные стороны (воздушные отверстия направлены тангенциально и наклонно к оси горелки) потоками первичного воздуха. Вторичный воздух подается через воздушное сопло (по центру осесимметрично потоку), обеспечивает дожигание газа и при необходимости дополнительное разбавление продуктов сгорания для получения теплоносителя с более низкой температурой. Горелки ГТПЦ работают устойчиво при α до 5 при уменьшении расхода газа.

Горелка применяется с дополнительным керамическим сужающимся туннелем, который позволяет при увеличении подачи через центральное сопло вторичного воздуха повысить скорость истечения продуктов сгорания для создания необходимой циркуляции газов в рабочем пространстве установки. Горелки могут работать

как на холодном, так и подогретом до 350 °С вторичном воздухе. Основные технические характеристики их приведены в табл. 12.27.

Горелки ПИВ конструкции ВНИИпромгаза (рис. 12.50, табл. 12.28). Предназначены для сжигания природного и сжиженных углеводородных газов с переменным избытком воздуха (ПИВ) в термических, нагревательных печах, сушилках и теплогенераторах с температурой теплоносителя до 600 °С. (Возможна температура и до 900 °С, но тогда камера сгорания должна быть изготовлена из специальных материалов, о чем должно быть указано при заказе горелки.)

Горелки ПИВ, как и горелки ГТПЦ, основаны на струйно-стабилизаторном принципе горения газа, т. е. сжигание газа осуществляется в конической перфорированной камере с подачей воздуха с периферии через отверстия. Газ через тангенциально расположенный патрубок поступает в газовую камеру и далее через сопла в камеру предварительного смешения. Сюда же через отверстия из воздушной камеры поступает первичный воздух. Первичная газозвудушная смесь кольцевой струей подается вдоль внутренней поверхности перфорированного конуса-стабилизатора. Развиваясь в высокотурбулентной циркуляционной зоне, струя смеси интенсивно перемешивается со вторичным воздухом, образуя за стабилизатором газозвудушную смесь, горение которой характеризуется высокой интенсивностью и малой протяженностью пламени вдоль потока. Факел за стабилизатором, несмотря на заметное приближение режима горения к кинетическому, сохраняет высокую устойчивость горения в широком диапазоне общих коэффициентов избытка воздуха. При этом высокая устойчивость горения достигается при большом изменении скоростей истечения газа и воздуха благодаря сильному рециркуляционному течению за стабилизатором.

Воздух, который подается в горелку от дутьевого вентилятора через штуцер, обеспечивает охлаждение камеры сгорания за счет последовательного прохода через кольцевое пространство между

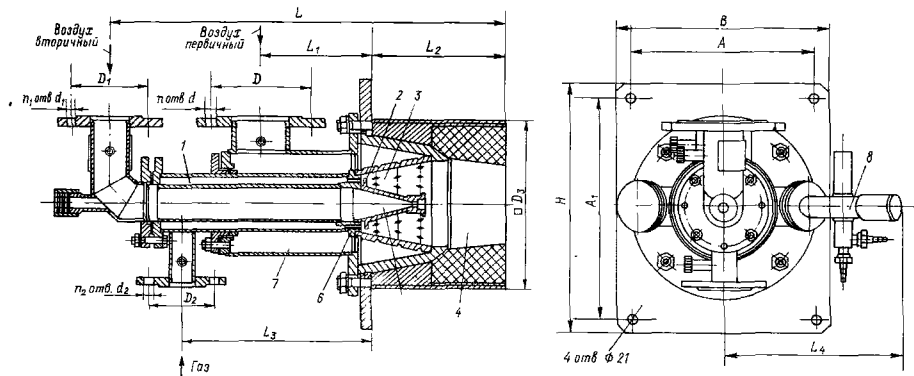


Рис. 12.49. Горелка ГТГЦ конструкции ЦНИИТмаша.

1 — газовая камера; 2 — кольцевой выступ; 3 — коническая камера; 4 — туннель; 5—6 — сопла (5 — воздушное центральное, 6 — газовое); 7 — воздушная камера первичного воздуха; 8 — электрозажальное устройство.

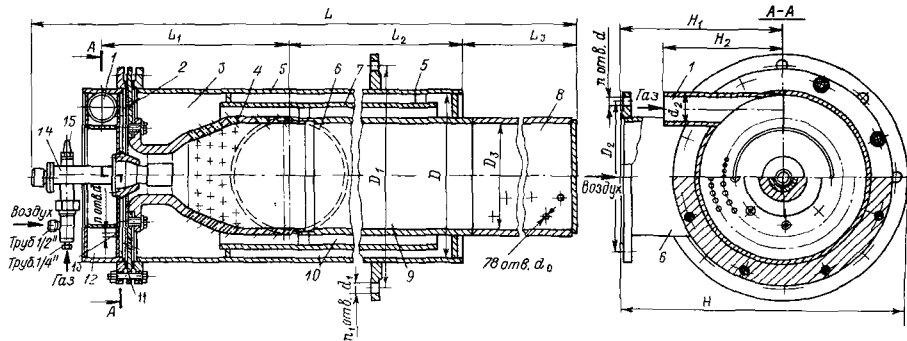


Рис. 12.50. Горелка ПИВ конструкции ВНИИпропгаза.

1 — патрубок для подачи газа; 2 — отверстия для поступления первичного воздуха; 3 — воздушная камера; 4 — отверстия в конусе для подачи вторичного воздуха; 5 — наружная обечайка; 6 — воздушный патрубок; 7 — цилиндр; 8 — насадок; 9 — камера сгорания; 10 — каналы охлаждения камеры сгорания; 11 — камера предварительного смешения; 12 — газовая камера; 13 — отверстие для подачи газа в камеру предварительного смешения; 14 — пилотно-защитное устройство; 15 — свеча зажигания.