УДК 662. 983

В книге изложены основные понятия о способах сжигания газа и газовых горелках. Дается классификация газогорелочных устройств и приводятся условия их устойчивой работы. Описаны основные конструкции распространенных типов газовых горелок и стабилизирующих устройств и приведены их эксплуатационные характеристики. Помещены сведения по монтажу газовых горелок. Описан порядок наладки и регулирования газогорелочных устройств, приведены характерные неполадки в работе горелок и способы их устранения.

Издание предназначено для мастеров, бригадиров и квалифицированных рабочих, а также техников-теплотехников, занимающихся вопросами использования газового топлива.

3-3-2
171-66

Редакционная коллегия:

С. А. Курюкин, И. Р. Лаперье, В. М. Лохматов, Н. Н. Плотникова, В. Н. Рощина, Н. Л. Стаскевич, С. И. Шепелев, Р. И. Эстеркин

Александр Семенович Иссерлин

ГАЗОВЫЕ ГОРЕЛКИ

Издание 2-е, переработанное и дополненное

Научный редактор *Р. И. Эстеркин.* Ведущий редактор *А. А. Машков.*
Технический редактор *А. Б. Ящуржинская.* Корректор *В. Н. Чистякова.*

М-14356. Сдано в набор 22/VI 1966 г. Подписано к печати 18/X 1966 г. Формат бумаги 84 × 108¹/₃₂. Печ. л. 7⁵/₈. Усл. л. 12,39. Уч.-изд. л. 12,05. *Изд. № 369. Тираж 18 700 экз.* (II завод 5001—18 700). *Цена* 52 коп. на бумаге № 2. Заказ № 922. Индекс 1—3—3—Л.

Издательство «Недра». Ленинградское отделение. Ленинград, Ф-2. Ул. Ломоносова, 22.

Ленинградская типография № 14 «Красный Печатник» Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР. Московский проспект, 91.

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

С каждым годом увеличивается доля газа в топливном балансе Советского Союза, все больше промышленных, коммунально-бытовых и бытовых потребителей переводится на газ. Постоянно растет число людей, занятых обслуживанием газифицированных объектов.

Подготовка квалифицированных работников по монтажу, пуску, наладке, эксплуатации и ремонту в газовом хозяйстве является важнейшим условием эффективного и безопасного использования газового топлива. Между тем производственно-технической литературы для обучения, самостоятельной подготовки и повышения квалификации кадров массовых профессий выпускается недостаточно. В связи с этим Ленинградское отделение издательства «Недра» в 1963 г. предприняло издание серии «Библиотека мастера газового хозяйства», рассчитанной прежде всего на операторов, кочегаров, машинистов, слесарей, мастеров газового хозяйства. Книги «Библиотеки» необходимы также всему инженерно-техническому персоналу газовых хозяйств и предприятий.

«Библиотека» состоит из серии книг, посвященных газоснабжению и использованию газа. В частности, излагаются следующие вопросы: горючие газы и их свойства, основы газовой техники, городские системы распределения газа, газорегулировочные пункты и установки, контрольно-измерительные приборы в газовом хозяйстве, использование сжиженных газов, конструкции и работа газовых горелок различных типов, газоснабжение жилых, коммунально-бытовых зданий и промышленных предприятий,

сжигание газа в котлах и промышленных печах, автоматика регулирования и безопасности котельных, использование газа в сельском хозяйстве, на транспорте и др.

Учитывая, что из 21 книги, выпущенной в 1963—1965 гг., в продаже нет ни одной, а потребность в них не удовлетворена, издательство с 1965 г. начало переиздание отдельных выпусков. Наряду с этим продолжается издание новых книг.

С замечаниями, отзывами и пожеланиями как по всей «Библиотеке», так и по отдельным выпускам просим обращаться по адресу: Ленинград, Ф-2, ул. Ломоносова, д. 22. Ленинградское отделение издательства «Недра».

По этому же адресу можно получить информацию о готовящихся к изданию книгах «Библиотеки».

Для приобретения книг «Библиотеки» надо до выхода их в свет направить заказ в магазин № 17 «Ленкниги» по адресу: Ленинград, В-178, Средний пр., д. 45. По выходе из печати книги будут высланы почтой наложенным платежом.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Перспективами развития газовой промышленности СССР намечено добычу газа довести до уровня 700 млрд. $м^3$ в год. Большая часть этих колоссальных ресурсов (свыше 80%) будет использована на промышленные и энергетические нужды.

Необходимость использования в народном хозяйстве огромных количеств газового топлива требует разработки, проверки и внедрения наиболее прогрессивной технологии сжигания газа, создания новых высокоэффективных типов газовых горелок и совершенствования существующих конструкций.

За последние годы в связи с бурным ростом газовой промышленности создано большое количество различных типов газовых горелок; некоторые из них нашли широкое распространение, другие применяются довольно редко. Не все созданные конструкции имеют хорошие эксплуатационные характеристики.

Отсутствие унификации и объективного метода оценки качества горелок затрудняет их стандартизацию. До сих пор отсутствует ГОСТ на газовые горелки. Чрезмерное количество конструкций газовых горелок не может быть оправданным, поэтому автором отобраны наиболее распространенные в практике газоснабжения горелки для природного, смешанного и искусственного газов, применяемые при газоснабжении коммунально-бытовых потребителей и промышленных предприятий, и показаны их положительные и отрицательные качества.

Большое внимание уделено вопросам устойчивости работы газовых горелок как важнейшему фактору эксплуатации газогорелочных устройств. Следует учитывать, что даже лучшие конструкции газовых горелок будут работать плохо, если не проводить первичную наладку их работы.

Хотя вопросы компоновки газогорелочных устройств имеют большое значение для их работы, они в настоящем

издании не затронуты, так как обслуживающий персонал получает уже готовую установку.

Настоящее издание книги является вторым, переработанным и дополненным изданием. В ней учтены новые данные исследовательских и наладочных работ, а также опыт эксплуатации газопотребляющих агрегатов. В связи с пожеланиями читателей во втором издании добавлена новая глава: «Смесеобразование и горение при сжигании газообразного топлива».

Все теплотехнические расчеты, связанные с расходом газообразного топлива и продуктов его сгорания, рассматриваются в книге при нормальных условиях, т. е. приведены к давлению 760 *мм рт. ст.* и температуре 0° С, с принятым в настоящее время по ГОСТ обозначением $м^3$.

ГЛАВА I

СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕ И ГОРЕНИЕ ПРИ СЖИГАНИИ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА

В основе процесса горения лежат химические реакции соединения топлива с окислителем. Для процесса горения газа должны быть созданы специальные условия. Во-первых, необходимо к горючему газу подвести достаточное количество окислителя (чаще всего воздуха) и перемешать их. Во-вторых, газо-воздушная смесь должна иметь концентрационные пределы воспламеняемости и должен быть создан источник воспламенения. В-третьих, должны быть обеспечены условия для развития процесса горения, т. е. создан необходимый температурный уровень. Смесеобразование, т. е. равномерное смешение газа с воздухом, является одной из основных стадий всего процесса горения. От процесса смесеобразования во многом зависят и все дальнейшие стадии, через которые проходит топливо при превращении химической энергии в тепловую. Причем, поскольку в зоне горения всегда устанавливается высокий температурный уровень, время, затрачиваемое на химические реакции горения, всегда значительно меньше времени, необходимого для процесса смесеобразования.

Процесс сжигания газового топлива (как и любого другого) в воздушном потоке может основываться на различных принципах. В соответствии с современными воззрениями такими принципами являются кинетический и диффузионный.

При кинетическом принципе в горелке предварительно создается однородная газо-воздушная смесь, которая и подается в топочную камеру. Поэтому горение такой смеси протекает при постоянном значении всех основных характеристик (теплонапряжение, избыток воздуха и т. д.).

Чисто кинетическое горение возникает лишь при соблюдении условия $\alpha \geqslant 1{,}0$. При коэффициенте избытка воздуха меньшем единицы кинетическое горение протекает лишь на первой стадии до тех пор, пока не израсходован весь кислород смеси. Остаток горючих компонентов,

разбавленных продуктами сгорания, может быть сожжен только при условии подвода дополнительного окислителя (воздуха).

Диффузионный принцип сжигания подразумевает создание таких условий для возникновения процесса, при которых смесь сгорает немедленно при самом ее возникновении, т. е. при соприкосновении топлива и окислителя в соответствующих количественных соотношениях. Регулирование процесса диффузионного горения осуществляется изменением интенсивности смесеобразования путем варьирования конструктивных и режимных параметров горелки. В результате можно в зависимости от технологических требований добиться укорочения зоны смешения или ее удлинения.

В практике часто применяется сжигание газа, сочетающее в себе оба упомянутых принципа. В этом случае часть воздуха предварительно смешивается с газом в горелке, а остальная часть, необходимая для полного сгорания, подается непосредственно в зону горения. Изменением соотношения между количеством воздуха, подаваемого для предварительного смешения и в зону горения, можно воздействовать на длину газового факела.

Известно, что газо-воздушные смеси воспламеняются только в том случае, когда содержание газа в воздухе находится в определенных (для каждого газа) пределах. При незначительных содержаниях газа в газо-воздушной смеси тепла, выделившегося при горении, недостаточно для доведения соседних слоев смеси до температуры воспламенения. То же наблюдается и при слишком большом содержании газа в газо-воздушной смеси. Недостаток кислорода воздуха, идущего на горение, приводит к понижению температурного уровня, в результате чего соседние слои смеси не нагреваются до температуры воспламенения. Этим двум случаям соответствуют нижний и верхний пределы воспламеняемости. Пределы воспламеняемости некоторых горючих газов в воздухе приведены в табл. 1. Кроме необходимости перемешать газ с воздухом в определенных пропорциях должны быть созданы начальные условия для воспламенения газо-воздушной смеси.

Окисление горючих газов возможно при низких температурах, но тогда оно протекает чрезвычайно медленно из-за незначительной скорости реакций. При повышении температуры скорость реакций окисления возрастает до наступления самовоспламенения (вместо медленного окисления начинается процесс самопроизвольного горе-

Таблица 1

Пределы воспламеняемости и температуры воспламенения различных газов в воздухе

Газ	Пределы воспламеняемости (% газа в смеси с воздухом)		Температура воспламенения, °С	
	Нижний	Верхний	от	до
Водород	4,0	74,2	530	590
Окись углерода	12,5	74,2	610	658
Метан	5,0	15,0	645	850
Этан	3,2	12,5	530	594
Пропан	2,4	9,5	530	588
Бутан	1,9	8,4	490	569
Ацетилен	2,5	80,0	335	500
Коксовый	5,6	31,0	~640	
Водяной	6,2	72,0	560	625
Сланцевый	10,7	32,8	~700	
Природный	4,5	17,0	530	800

ния); значит, нагретая до температуры воспламенения горючая смесь обладает такой энергией, которая не только компенсирует потери тепла в окружающую среду, но обеспечивает нагрев и подготовку газо-воздушной смеси, поступающей в зону горения, к воспламенению.

Температура воспламенения газа зависит от ряда факторов, в том числе от содержания горючего газа в газо-воздушной смеси, давления, способа нагрева смеси и т. д., и поэтому не является точной величиной. В табл. 1 *приведены значения температур воспламенения некоторых* горючих газов в воздухе.

В практике встречаются два способа воспламенения горючих смесей: самовоспламенение и зажигание.

При самовоспламенении весь объем горючей газо-воздушной смеси постепенно доводится до температуры воспламенения, после чего смесь воспламеняется уже без внешнего теплового воздействия.

В технике широко применяется второй способ, именуемый зажиганием. При этом способе не требуется нагревать всю газо-воздушную смесь до температуры воспламенения, достаточно зажечь холодную смесь в одной точке *объема каким-нибудь* высокотемпературным источником (искра, накаленное тело, дежурное пламя и т. д.).

В результате воспламенение передается на весь объем смеси самопроизвольно, путем распространения пламени, происходящего не мгновенно, а с определенной пространственной скоростью. Эта скорость называется *скоростью распространения пламени* в газо-воздушной смеси и является важнейшей характеристикой, определяющей условия протекания и стабилизации горения. Устойчивость работы горелок, как будет показано ниже, связана со скоростью распространения пламени.

Таким образом, процесс горения газообразного топлива состоит из смешения газа с воздухом, нагрева полученной смеси до температуры воспламенения, зажигания ее и протекания реакций горения, сопровождающихся выделением тепла. Причем смешение газа с воздухом и нагрев смеси занимают большую часть времени в процессе горения, так как реакции горения протекают практически мгновенно.

В зависимости от технологического процесса (получение пара и горячей воды в котельном агрегате, нагрев изделий в печной установке и т. д.) возникает необходимость влиять на протекание процесса горения, изменяя его конечные характеристики. Это достигается различными конструктивными приемами, которые изложены в главе III.

Показательно сопоставление полей температур в объеме факела при сжигании газа с различными коэффициентами избытка воздуха. Пример такого сопоставления дан на рис. 1 для горелки с диаметром выходного насадка 35 *мм* в виде зависимости:

$$\frac{t_i}{t_{\max}} = f\left(\frac{x}{d};\ \frac{y}{d}\right),$$

где t_i — текущее значение температуры в факеле, °С;

$t_{\max}$ — максимальная температура в факеле (замеренная), °С;

x — расстояние от точки замера до начала факела, *м*;

y — расстояние от точки замера до оси факела, *м*;

d — диаметр насадка горелки, *м*.

На рис. 1 приведены распределения температур для трех коэффициентов избытка воздуха. Причем координате $\frac{x}{d} = 0$ соответствует выходное сечение насадка горелки, а координате $\frac{y}{d} = 0$ — ось факела.

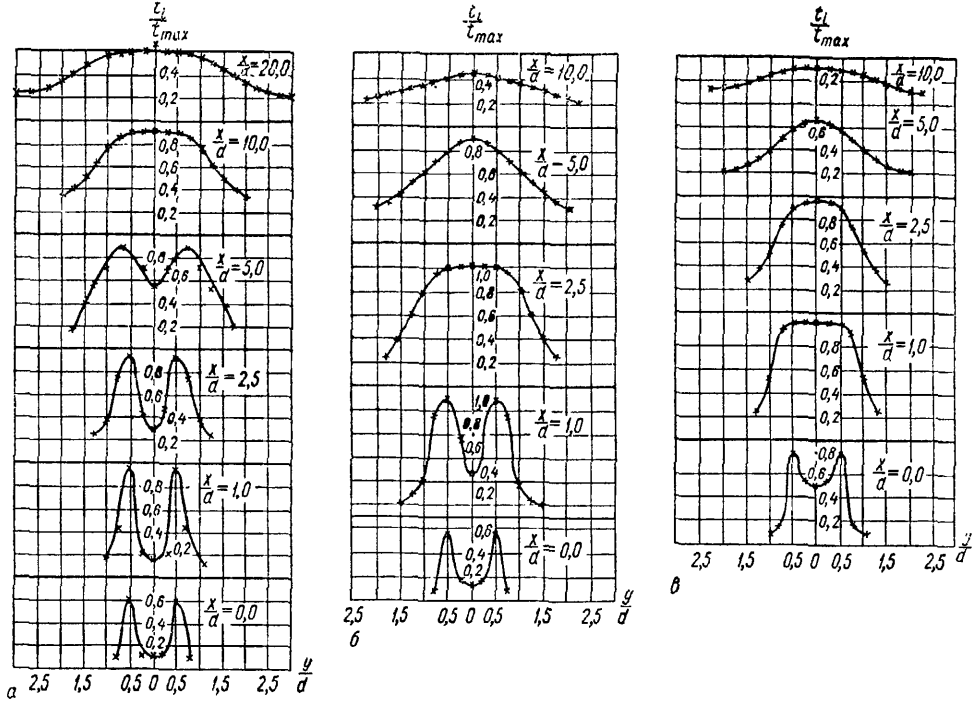


Рис. 1. Распределение температур в объеме факела при сжигании газа с коэффициентом избытка воздуха: *а* — $\alpha = 0{,}5$; *б* — $\alpha = 0{,}75$; *в* — $\alpha = 1{,}0$.

Как видно из рисунка, распределение температур в свободном факеле неравномерно. При малых избытках первичного воздуха, например $\alpha = 0{,}5$, наличие внутреннего ядра в факеле сильно искажает температурное поле и оно выравнивается только на расстоянии $\frac{x}{d} = 10$, тогда как при $\alpha = 0{,}75$ выравнивание наступает уже при $\frac{x}{d} = 2{,}5$, а при $\alpha = 1{,}0$ еще раньше — при $\frac{y}{d} = 1{,}0$.

Наивысшие температуры в открытых факелах наблюдаются в начальных сечениях на расстоянии от оси факела $\frac{y}{d} = 0{,}5$, а затем по центру факела. Причем с увеличением коэффициента избытка воздуха максимум температур смещается к устью горелки. Так, наивысшая температура при $\alpha = 0{,}75$ измерена на расстоянии $\frac{x}{d} = 2{,}5$, а при $\alpha = 1{,}0$ — на расстоянии $\frac{x}{d} = 1{,}0$.

При совместном рассмотрении распределения температур и концентраций CO_2 в факеле наблюдается совпадение максимумов температур и содержаний CO_2. Это является показателем того, что максимальному температурному уровню в факеле соответствует и максимальная величина степени выгорания горючих.

Потери части тепла, выделившегося в результате сгорания газа, неизбежны. Однако они могут быть снижены до минимума при правильном ведении топочного процесса. Рассмотрим, из каких же составляющих складываются эти потери тепла.

При сжигании газообразного топлива имеют место следующие потери тепла: с уходящими газами, от химической неполноты сгорания и в окружающую среду. На основании определения отдельных потерь тепла может быть подсчитан коэффициент полезного действия агрегата (по обратному балансу) по формуле

$$\eta = 100 - (q_2 + q_3 + q_5)\ [\%],$$

где q_2 — потеря тепла с уходящими газами, %;
q_3 — потеря тепла от химической неполноты сгорания, %;
q_5 — потеря тепла в окружающую среду, %.

Потери тепла с уходящими газами, представляющие собой физическое тепло продуктов сгорания, покидающих агрегат, являются основными. Вполне естественно, что

полностью устранить эти потери невозможно, однако необходимо стремиться к их уменьшению. Потери тепла с уходящими газами зависят от температуры газов и их количества. Чем ниже температура уходящих газов, тем меньше тепла будет теряться с ними, поэтому следует стремиться к снижению в разумных пределах температуры уходящих газов. Влияние температуры уходящих газов на потери тепла видно из табл. 2.

Таблица 2

Потери тепла с уходящими газами при сжигании природного газа, %

Температура уходящих газов, °С	Коэффициент избытка воздуха за агрегатом				
	1,05	1.2	1,4	1,6	1,8
200	7,7	8,6	9.7	10,8	12,0
220	8,6	9,5	10,8	12,0	13,3
240	9,4	10,5	11 9	13,2	14,7
260	10,3	11,4	12,9	14,4	15,9
280	11,1	12,4	14,0	15,6	17,3
300	12,1	13,5	15,3	17,0	18,8
320	13,0	14.4	16,4	18,3	20,2
340	13,8	15,4	17,4	19,5	21,5
360	14,7	16,4	18,5	20,7	22,9
380	15,6	17,3	19,6	21.9	24,2
400	16,9	18,7	21,1	23,6	26,0
420	17,8	19,7	22,3	24,8	27,4
440	18,6	20,7	23,4	26,1	28,8
460	19,5	21.7	24,5	27,3	30,2
480	20,4	22,7	25,6	28,6	31,6
500	21,6	23,9	27,0	30,2	33,3

Потерю тепла с уходящими газами выражают обычно в процентах от всего располагаемого тепла, т. е. от теплоты сгорания топлива. Например, если потеря тепла с уходящими газами составляет 700 *ккал/м*^{3} при сжигании природного газа, то

$$q_2 = \frac{700 \cdot 100}{8500} = 8{,}25\,\%.$$

Количество покидающих агрегат газов зависит от коэффициента избытка воздуха, с которым работает горелка, и присосов воздуха через неплотности в агрегате. Чем больше коэффициент избытка воздуха на выходе

из горелки и присосы воздуха в агрегат, тем выше потери тепла с уходящими газами.

Из табл. 2 видно, что изменение общего коэффициента избытка воздуха в продуктах сгорания с α 1,2 ÷1,6 увеличивает потерю тепла с уходящими газами с 10,5 до 13,2% (при неизменной температуре уходящих газов 240° С).

Таким образом, для снижения потерь тепла с уходящими газами необходимо вести процесс горения с наименьшим допустимым коэффициентом избытка воздуха, обеспечивать наибольшую плотность агрегата и добиваться снижения температуры уходящих газов.

Потери тепла от химической неполноты сгорания газа возникают при недостатке воздуха, плохом смешении в газовой горелке, при резком изменении температурного уровня в зоне горения в сторону снижения. В результате горение газа протекает неполно и с продуктами сгорания уходят горючие компоненты (например, водород, окись углерода и др.). Это приводит к недоиспользованию химической энергии топлива и снижению экономичности работы агрегата. Даже небольшое содержание горючих компонентов в продуктах сгорания приводит к существенным потерям тепла от химической неполноты сгорания. Предположим, что в продуктах сгорания содержится 0,7% водорода и 0,5% окиси углерода. В агрегате сжигался природный газ с коэффициентом избытка воздуха за установкой $\alpha = 1{,}5$. В рассматриваемом случае потери тепла от химической неполноты сгорания составляют $\sim$450 *ккал/м*^{3} или

$$q_3 = \frac{450 \cdot 100}{8500} = 5{,}3\%.$$

Таким образом, из рассмотренного примера видно, что горючие компоненты в продуктах сгорания должны полностью отсутствовать или составлять минимальную величину.

При работе любого агрегата возникают *потери тепла в окружающую среду*, которые связаны с тем, что стенки агрегата имеют более высокую температуру, чем окружающий его воздух. Величина этих потерь (обозначаемых обычно q_5) зависит в основном от разности температур между наружными стенками агрегата и окружающим воздухом и величины поверхности стен. Потери в окружающую среду подсчитываются теоретически или прини-

маются из норм теплового расчета в зависимости от конструкции и производительности агрегата.

Если просуммируем все тепловые потери, которые имеют место при сжигании газа в агрегате, и вычтем их из ста, то получим коэффициент полезного действия агрегата (к. п. д.). Например, воспользуемся цифрами, приведенными выше, приняв q_5 равным 3,6%, тогда к. п. д. агрегата

$$\eta = 100 - (8{,}25 + 5{,}3 + 3{,}6) = 82{,}85\%.$$

ГЛАВА II

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГАЗОВЫХ ГОРЕЛКАХ

Основные характеристики горелок

Газогорелочные устройства предназначены для подачи к месту горения определенных количеств газа и воздуха и для создания условий их перемешивания и воспламенения. Кроме того, горелка должна обеспечивать стабилизацию факела. Это достигается различными конструктивными приемами.

Большинство газовых горелок, независимо от их типа, имеет общие конструктивные элементы: устройства для подвода газа и воздуха, смесительную камеру, горелочный насадок и стабилизирующее устройство. В зависимости от типа горелки и технологических требований каждый из перечисленных выше элементов горелки может иметь различное конструктивное решение. В некоторых конструкциях отдельные элементы могут совсем отсутствовать или компоноваться в одной детали.

Из различных характеристик горелок рассмотрим основные, которые являются общими независимо от конструктивного исполнения горелочного устройства.

Давление газа. Газовые горелки могут работать на различном *избыточном давлении* газа в зависимости от их конструктивного исполнения и давления газа в сетях. Горелки низкого давления работают на давлении до 0,05 *ат*, среднего — в пределах от 0,05 до 3,0 *ат* и высокого — свыше 3,0 *ат*. В СССР горелки высокого давления широкого распространения не имеют.

Различают три давления газа перед горелкой; номинальное — $p_{г\,ном}$, максимальное — $p_{г\,max}$ и минимальное — $p_{г\,min}$. Под номинальным понимается такое давление газа, на которое рассчитана работа горелки. Под максимальным и минимальным понимаются такие давления, в диапазоне которых горелка работает устойчиво.

Тепловая нагрузка горелки. Тепловой нагрузкой горелки называют количество тепла, выделяющееся в единицу времени при сжигании газа определенной теплоты

сгорания. Тепловая нагрузка определяется по формуле:

$$Q_г = Q_н B_г \ [ккал/ч],$$

где $Q_н$ — низшая теплота сгорания газа, *ккал/м³*;
$B_г$ — расход газа, *м³/ч*.

Различают три вида тепловой нагрузки горелок: максимальную, номинальную и минимальную.

Максимальная тепловая нагрузка достигается при длительной работе горелки с предельно большим расходом газа без нарушения устойчивости ее работы.

Номинальная тепловая нагрузка соответствует режиму работы горелки с номинальным расходом газа.

За минимальную тепловую нагрузку принимается нагрузка, обеспечивающая устойчивую работу горелки (без проскока пламени) при наименьших расходах газа.

Диапазон устойчивой работы горелки. Диапазоном устойчивой работы горелки называют отношение ее минимальной тепловой нагрузки к максимальной и определяют по формуле:

$$n = \frac{Q_{г\,min}}{Q_{г\,max}}.$$

Таким образом, диапазон устойчивой работы горелки характеризует пределы надежной ее эксплуатации.

Кроме того, принято характеризовать работу горелок пределом регулирования. Под этим понимают пределы изменения тепловой нагрузки горелки, при которых экономичность сжигания газа незначительно отличается от оптимальной (отсутствует химический недожог при минимальных значениях коэффициента избытка воздуха).

Диапазон устойчивой работы является важной эксплуатационной характеристикой горелки, показывающей ее регулировочные и форсировочные возможности.

Если учесть, что для газа низкого давления и ориентировочно для газа среднего давления

$$B_г = c_1 \sqrt{p_г} \quad \text{или} \quad Q_г = c_2 \sqrt{p_г},$$

где c_1 и c_2 — постоянные коэффициенты,

то диапазон устойчивой работы горелки примет вид:

$$n = \sqrt{\frac{p_{г\,min}}{p_{г\,max}}}.$$

Таким образом, чтобы иметь в горелке диапазон устойчивой работы 1 : 3, необходимо увеличить давление в девять раз.

Для инжекционных горелок низкого и среднего давления диапазон устойчивой работы должен быть не менее $n = 1 : 3$. Для горелок с принудительной подачей воздуха диапазон устойчивой работы должен быть не менее $n = 1 : 5$.

При выборе горелок необходимо, чтобы их диапазон устойчивой работы был увязан с типом агрегата и его технологическим процессом.

Коэффициент избытка воздуха. В процессе горения газообразного топлива практически участвует больше воздуха, чем требуется теоретически. Коэффициент избытка воздуха α равен отношению действительного объема воздуха, участвовавшего в горении $V_в$, к теоретически необходимому V_0:

$$\alpha = \frac{V_в}{V_0}.$$

В горелках иногда предварительно смешивается с газом только часть воздуха, необходимого для горения. Такая смесь будет, безусловно, характеризоваться коэффициентом избытка воздуха, меньшим единицы. Идущий на образование этой первичной смеси воздух принято называть первичным. Воздух же, подаваемый в топочное пространство дополнительно и независимо от потока газа, называется вторичным.

Коэффициент избытка воздуха на выходе из горелки $\alpha_г$ показывает, какое количество теоретически необходимого воздуха поступает непосредственно через смесительное устройство горелки. Так, например, если коэффициент избытка воздуха на выходе из горелки $\alpha_г = 1{,}20$, то это означает, что через горелку проходит первичного воздуха на 20% больше, чем необходимо теоретически. С другой стороны, если $\alpha_г = 0{,}75$, то через горелку проходит на 25% меньше воздуха, чем теоретически необходимо для горения (в этом случае правильнее было бы называть $\alpha_г$ коэффициентом недостатка воздуха, однако принято во всех случаях $\alpha_г$ называть коэффициентом избытка воздуха).

Требования, предъявляемые к конструкции горелки. Газогорелочные устройства должны быть компактными, т. е. иметь минимальные размеры, удобными и надежными в эксплуатации. Конструкция горелки должна предусма-

тривать возможность быстрой и доступной замены отдельных ее деталей.

Шум, *создаваемый горелками*. Часто работа горелок сопровождается сильным шумом, вызывающим у обслуживающего персонала быструю утомляемость. По нормам санитарной инспекции интенсивность шума, создаваемого газогорелочными устройствами, работающими на номинальном режиме, не должна превышать 85 *дб*.

Классификация горелок и основные требования, предъявляемые к ним

В литературе газовые горелки классифицируются по: а) теплоте сгорания газа; б) давлению газа в сети; в) назначению; г) методу сжигания газа; д) способу подвода воздуха; е) конструктивным особенностям и т. д.

Наиболее целесообразно, по мнению автора, классифицировать газовые горелки по способу подвода воздуха для горения, учитывая конструктивные особенности горелок.

Существуют горелки, где весь необходимый воздух притекает к пламени из окружающей атмосферы. Эти горелки мало чувствительны к колебанию давления газа, имеют большой диапазон регулирования, но требуют значительного объема топочной камеры для завершения процесса горения. Это объясняется малой скоростью перемешивания газа с воздухом, что приводит к увеличению длины факела. Для газов с большой теплотой сгорания, требующих для полного сжигания больших количеств воздуха, такие горелки применяются редко.

*В **инжекционных горелках** образование газо-воздушной* смеси частично или полностью происходит внутри самой горелки, поэтому они делятся на горелки частичного и полного смешения. У горелок полного смешения горение завершается в минимальном объеме. В горелках частичного смешения только часть воздуха, необходимого для горения, поступает внутрь горелки в качестве первичного, а остальной воздух (вторичный) поступает к горелке извне. В этом случае процесс смешения затягивается и факел получается более длинным. Поступление воздуха и образование газо-воздушной смеси в инжекционных горелках происходит подсасыванием (инжектированием) воздуха за счет энергии струи газа.

Инжекционная горелка (рис. 2) состоит из четырех основных частей: газового сопла, смесителя,

горелочного насадка и регулятора первичного воздуха.

Соплом называют калиброванное отверстие, через которое горючий газ подается в горелку. Оно выполняет две задачи: пропускает в горелку определенное количество газа и преобразовывает энергию давления газа в кинетическую энергию газовой струи, причем скорость истечения газа из сопла получается довольно значительной. Так, перепад давления в сопле 150 *мм вод. ст.* создает скорость вытекающей струи порядка 50 *м/сек.*

Основным размером, характеризующим сопло, является его диаметр. Диаметр сопла должен строго соответствовать расчетным данным, так как от этого зависит

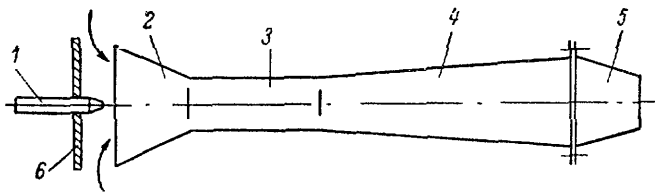


Рис. 2. Схема инжекционной горелки.

1 — газовое сопло; *2* — инжектор; *3* — горло; *4* — диффузор; *5* — насадок; *6* — воздушно-регулировочная шайба.

производительность горелки и ее инжекционная способность. Сопло придает вытекающей струе определенную форму и направление.

Смеситель горелки служит для смешения газа с воздухом, т. е. получения однородной газо-воздушной смеси, и выравнивания скорости по сечению горелки. Смесители в зависимости от типа горелки выполняются либо в виде системы, состоящей из инжектора, цилиндрического горла и диффузора, либо в виде цилиндрической трубы.

Инжектор расширяющейся частью обращен к соплу. При истечении из сопла газа с большой скоростью в инжекторе создается разрежение, за счет которого происходит подсасывание (инжектирование) воздуха из окружающей атмосферы. Воздух, поступающий в горелку, смешивается с газом, при этом скорость по сечению инжектора распределяется весьма неравномерно.

Для выравнивания скорости потока газо-воздушной смеси по сечению служит средняя цилиндрическая часть смесителя — горло. Оно является самой узкой его частью. Диаметр горла — существенный размер для инжекцион-

ных горелок. От величины отношения диаметра горла к диаметру сопла зависит коэффициент инжекции горелки, т. е. количество воздуха, засасываемого через смеситель. Если, например, говорят, что коэффициент инжекции (обозначаемый обычно A) равен 8,0, то это значит, что на каждый кубометр газа горелка инжектирует 8,0 $м^3$ воздуха. Следовательно, коэффициент избытка воздуха определится как отношение коэффициента инжекции к количеству теоретически необходимого для горения воздуха, т. е.

$$\alpha = \frac{A}{V_0}.$$

Диффузор служит для преобразования части скоростного напора потока в статический, необходимый для преодоления последующего сопротивления горелки. В диффузоре заканчивается смешение газа с воздухом, и на выходе из него наблюдается полное выравнивание концентраций по сечению.

Насадок горелки предназначен для выдачи газо-воздушной смеси и может иметь различную форму. Он часто конструктивно совмещается со стабилизатором (например, в пластинчатом или кольцевом стабилизаторе). Иногда горелка крепится насадком к газовому прибору или топочной камере.

Регулятор первичного воздуха служит для регулирования количества воздуха, поступающего в горелку. Наиболее часто он выполняется в виде воздушно-регулировочной шайбы или заслонки. Иногда он конструктивно совмещается с устройством для глушения шума (например, у инжекционных горелок среднего давления с пластинчатыми стабилизаторами конструкции Мосгазпроекта).

Инжекционные горелки полного смешения рассчитываются обычно на работу с коэффициентом избытка воздуха 1,05 ÷ 1,15. В инжекционных горелках частичного смешения коэффициент избытка первичного воздуха находится в пределах 0,3 ÷ 0,6.

В инжекционных горелках полного смешения можно сжигать всю газо-воздушную смесь на огнеупорных поверхностях, которые, накаляясь, дают концентрированное тепловое излучение. Эта разновидность инжекционных горелок называется горелками инфракрасного излучения.

В горелках с принудительной подачей воздуха весь необходимый для горения воздух нагнетается вентилятором.

Эти горелки часто называют также двухпроводными.

На рис. 3 показаны схемы наиболее распространенных горелок с принудительной подачей воздуха. Горелка (рис. 3, *а*) имеет периферийную подачу газа, т. е. газ подается в виде струй в поперечный воздушный поток. В горелке (рис. 3, *б*) осуществляется центральная подача газа в поток воздуха.

В горелках с принудительной подачей воздуха для лучшего смешения газа с воздухом используются различные конструктивные приемы. Например, возможно закру-

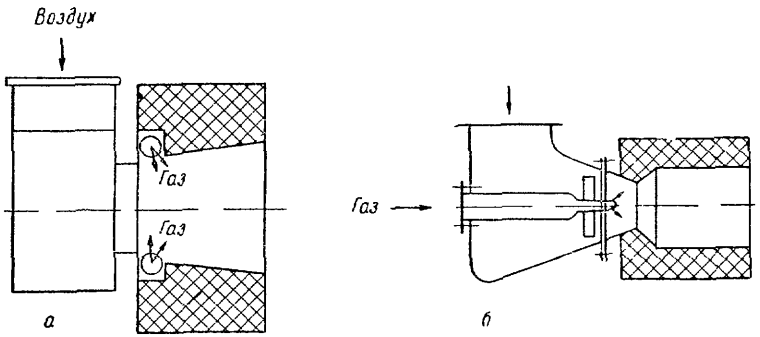


Рис. 3. Принципиальная схема горелки с принудительной подачей воздуха: *а* — периферийная подача газа; *б* — центральная подача газа.

чивание воздушного потока в специальных устройствах, разбивка потока газа на мелкие струи или подача газа под углом к воздушному потоку.

В зависимости от конструкции горелки весь воздух может подаваться в качестве первичного, либо часть в виде первичного, а другая часть — как вторичный.

В **комбинированных горелках** возможно поочередное сжигание нескольких видов топлива. Существуют горелки, рассчитанные на сжигание всех трех видов топлива. Более широкое распространение получили пылегазовые и газомазутные горелки. Некоторые конструкции комбинированных горелок допускают одновременное сжигание двух видов топлива.

Из-за отсутствия стандартов на газовые горелки приходится оценивать их качество по определенным требованиям, которые сводятся к следующему:

1) горелки должны обеспечивать полное сжигание газа при минимальном избытке воздуха;

2) горелки должны работать устойчиво (без отрыва и проскока пламени) в необходимом диапазоне изменения тепловых нагрузок;

3) конструкция и компоновка горелки должны полностью предохранять ее детали от перегрева и обгорания;

4) потери напора в горелке по воздушному и газовому (для низкого давления) трактам должны быть минимальными;

5) при работе горелки на двух видах топлива оба топлива при раздельном их сжигании должны использоваться с максимальной эффективностью, а переход с одного топлива на другое — осуществляться в короткий срок;

6) горелки должны быть просты в изготовлении, надежны и безопасны в эксплуатации, а также удобны для ремонта и осмотра.

Условия устойчивой работы горелок

Устойчивость горения является существенным фактором, определяющим надежность работы газовых горелок. В практике сжигания газа часто приходится сталкиваться с нарушением устойчивой работы горелок, вызываемым либо отрывом пламени от насадка горелки, либо проскоком пламени в ее смесительную часть.

Пламя сохраняет устойчивость, т. е. остается неподвижным относительно насадка горелки, в тех случаях, когда в зоне горения устанавливается равновесие между стремлением пламени продвинуться навстречу потоку газо-воздушной смеси и стремлением потока отбросить пламя от горелки, однако такое равновесие наблюдается в очень узком диапазоне скоростей выхода газо-воздушной смеси из горелки.

Отрыв пламени возникает, когда скорость истечения газо-воздушной смеси превосходит скорость распространения пламени и оно, отрываясь от горелки, полностью или частично гаснет. Отрыв пламени может происходить при розжиге или выключении горелок, а во время работы— из-за быстрого изменения нагрузки или при чрезмерном увеличении разрежения в топке, и может иметь место у всех типов горелок.

Отрыв пламени приводит к загазованию топки и газоходов, а также к накоплению в помещении газов. Это

может повлечь за собой взрыв в топочной камере или газоходах агрегата с последующими серьезными разрушениями.

Проскок пламени (обратный удар) — это проникновение пламени внутрь горелки. Такое явление происходит в том случае, когда скорость истечения газо-воздушной

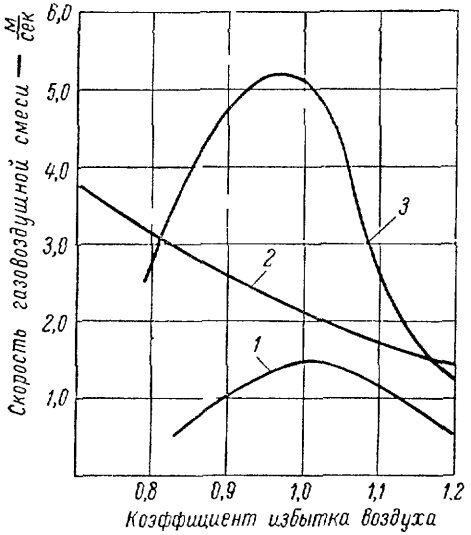


Рис. 4. Пределы отрыва и проскока пламени для инжекционной горелки среднего давления с диаметром насадка 35 *мм*.

При сжигании природного газа в атмосфере воздуха: *1* — проскок; *2* — отрыв; при сжигании газа в топочной камере с туннелем: *3* — проскок.

смеси из горелки меньше скорости распространения пламени. Чаще всего проскок происходит при неправильном зажигании и выключении горелки, а также при быстром снижении ее производительности. В результате проскока может произойти перегрев горелки или хлопок внутри нее, а также прекращение горения и загазование помещения. Проскок пламени может быть только у горелок с предварительным смешением газа и воздуха.

На рис. 4 в качестве примера даны кривые, показывающие пределы отрыва и проскока пламени при сжигании природного газа в зависимости от величины избытка воздуха для инжекционной горелки среднего давления с диаметром насадка 35 *мм*. Приведенные кривые соответ-

ствуют пределам устойчивого горения при работе горелки в атмосферных условиях, т. е. без стабилизации горения, и при сжигании газа в топочной камере со стабилизатором. Кривая *2* показывает, при каких скоростях наблюдается для различных газо-воздушных смесей отрыв пламени от устья горелки, а кривая *1* — при каких скоростях наблюдается проскок пламени. Из рисунка видно, что при коэффициенте избытка воздуха $\alpha_г = 1{,}1$ горелка может работать только в узком диапазоне скоростей от 1,15 до 1,75 *м/сек*.

Уменьшение содержания первичного воздуха в смеси расширяет пределы устойчивого горения, так как возрастает значение скорости, при которой наступает отрыв, и уменьшается значение скорости, когда наступает проскок пламени.

Таким образом, область устойчивого горения газа в горелке располагается между кривыми проскока и отрыва пламени, следовательно, от ширины этой зоны зависит степень регулирования газовой горелки.

На этом же рисунке приведены предельные кривые устойчивого горения при работе этой же горелки, снабженной стабилизатором в виде керамического туннеля. Кривая *3* характеризует проскок пламени. Отрыв пламени в этом случае вообще не получен при имевшемся давлении газа. Известно, что отрыв пламени в керамических туннелях наступает при скоростях выхода газо-воздушной смеси свыше 100 *м/сек*, а эти горелки обычно работают со скоростями порядка 30 *м/сек*.

Очевидно, что диапазон скоростей устойчивой работы горелки со стабилизатором значительно возрос. При избытке воздуха ($\alpha_г = 1{,}1$) горелка может работать в диапазоне скоростей от 2,6 *м/сек* до максимально достижимых значений. Если в первом случае диапазон устойчивой работы горелки составлял всего $n = 1 : 1{,}5$, то во втором случае он превышает $n = 1 : 10$.

Существенное влияние на надежность работы многофакельных горелок, особенно частичного предварительного смешения, оказывает величина расстояния между отверстиями, при которой происходит надежное зажигание факелов друг от друга. В то же время уменьшение расстояния между отверстиями может привести к слиянию факелов, что затруднит подвод вторичного воздуха к ним. Следовательно, расстояния между газовыпускными отверстиями в горелке следует выбирать так, чтобы, с одной стороны, было обеспечено надежное зажигание

Таблица 3

Значения максимальных и минимальных расстояний между осями горелочных отверстий для нормального распространения и горения пламени

Диаметр горелочного отверстия, *мм*	Тепловая нагрузка, $\frac{ккал}{м^2 \cdot ч} \cdot 10^6$	Максимальные расстояния, обеспечивающие беглость огня при зажигании, *мм*			Минимальные расстояния, обеспечивающие отсутствие слияния факелов, *мм*		
		$\alpha = 0{,}2$	$\alpha = 0{,}4$	$\alpha = 0{,}6$	$\alpha = 0{,}2$	$\alpha = 0{,}4$	$\alpha = 0{,}6$
1	8	6,0	4,0	—	5,0	4	—
	12	6,5	4,0	—	6,5	4	—
	16	7,0	4,0	—	7,0	4	—
	20	6,5	4,0	—	7,0	4	—
	24	5,5	4,0	—	7,0	4	—
2	2	9,0	7,5	5,5	8,0	7	5
	4	10,0	8,0	6,0	8,0	7	5
	6	11,5	8,5	6,0	8,5	7	5
	8	12,0	8,0	5,0	9,0	7	5
	12	13,0	8,0	—	9,0	7	—
	16	13,0	7,0	—	9,0	7	—
3	2	13	10	7	8	8	6
	4	15	11	8	9	8	6
	6	16	12	7	10	9	6
	8	17	12	6	11	9	6
	12	18	11	—	12	9	—
	16	16	9	—	12	9	—
4	2	16	14	9	9	9	8
	4	18	15	11	12	11	8
	6	19	16	10	13	11	8
	8	20	17	8	14	12	8
	12	19	17	—	14	12	—
	16	18	16	—	14	12	—
6	2	23	21	17	14	14	13
	4	24	21	18	16	15	13
	6	26	22	18	17	15	13
	8	28	22	19	18	16	13
	12	30	22	18	18	16	13
	16	30	22	16	18	16	13

факелов друг от друга, а с другой — отсутствовало слияние факелов.

В табл. 3 для горелок низкого давления приведены максимальные и минимальные расстояния между отверстиями, при которых обеспечивается надежное зажигание факелов и отсутствует их слияние для сланцевого газа ($Q_н = 3400$ *ккал/м*^{3}), природного газа ($Q_н = 8500$*ккал/м*^{3}) и их смесей ($Q_н = 6000 \div 7500$ *ккал/м*^{3}).

Таблица составлена по усредненным данным, так как для перечисленных газов при определенных диаметрах горелочных отверстий эти расстояния имеют близкие значения (по данным ЛНИИ АКХ).

Стабилизация процесса горения

Устойчивость пламени в большинстве промышленных горелок достигается применением специальных стабилизаторов, которые имеют различное конструктивное исполнение.

Предотвращение проскока пламени достигается увеличением скорости выхода газо-воздушной смеси из насадка горелки и отводом тепла от него. Конструктивно это решается сужением насадка на выходе и установкой теплоотводящих пластин, ребер, решеток с большим числом мелких отверстий, а также воздушным и водяным охлаждением насадка.

Для стабилизации пламени необходимо создать у устья горелки условия для надежного воспламенения газо-воздушной смеси. Это достигается применением различных конструкций стабилизаторов: керамических горок и туннелей, зажигательных поясов, тел плохо обтекаемой формы.

Керамическая горка в качестве стабилизатора горения применяется в тех случаях, когда толщина фронтовой кладки агрегата не позволяет разместить в ней керамический туннель. Стабилизация факела при этом достигается путем направления струи газо-воздушной смеси на горку, которая раскаляется и интенсивно излучает тепло, что обеспечивает надежную стабилизацию пламени.

Особое внимание следует обращать на расположение керамической горки. Практика эксплуатации показывает, что часто горка находится или слишком близко от устья горелки, создавая удар струи и сильный нагрев насадка, или наоборот слишком далеко от устья горелки и поэтому не прогревается во время розжига.

Большое распространение в промышленных установках получили керамические туннели. Стабилизация пламени в керамическом туннеле (рис. 5) осуществляется следующим образом. Струя газо-воздушной смеси, выходя из насадка горелки в туннель, расширяется, так как диаметр туннеля выполняется обычно равным 2,5 диаметрам насадка ($D = 2{,}5\ d$). В головной части туннеля между его стенками и струей образуются вихревые зоны, в которых создается разрежение. Это вызывает рециркуляцию продуктов горения. Раскаленные стенки туннеля служат источником излучения, тем самым сохраняя и даже несколько повышая температуру продуктов горения. Непрерывная подача к корню факела раскаленных продуктов горения обеспечивает устойчивое зажигание вытекающей из горелки холодной газо-воздушной смеси.

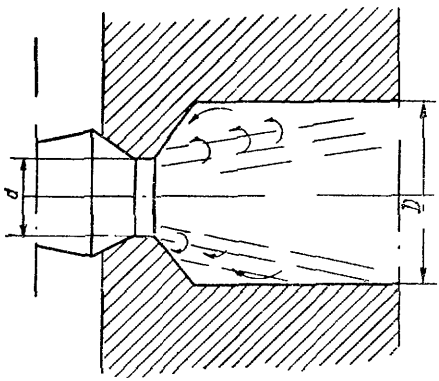


Рис. 5. Схема керамического туннеля.

Керамический туннель является надежным стабилизатором горения, однако он требует тщательного изготовления и периодического ремонта. Практика эксплуатации туннелей на предприятиях показывает, что они нуждаются в ремонте после 1,5 ÷ 2 месяцев работы. Для ремонта туннеля необходима остановка котла на несколько дней. По действующим нормам предусматривается остановка котла 3 ÷ 4 раза в год для проведения текущего ремонта. Необходимость ремонта туннеля вынуждает делать лишние остановки котла.

Для ликвидации указанных выше недостатков керамических туннелей, устанавливаемых с инжекционными горелками среднего давления, Ленгипроинжпроект разработал кольцевые стабилизаторы к этим горелкам (рис. 6).

Принцип работы кольцевых стабилизаторов заключается в следующем: часть газо-воздушной смеси в насадке горелки через отверстия малого диаметра попадает в кольцевой зазор между насадком и стабилизатором. Площадь

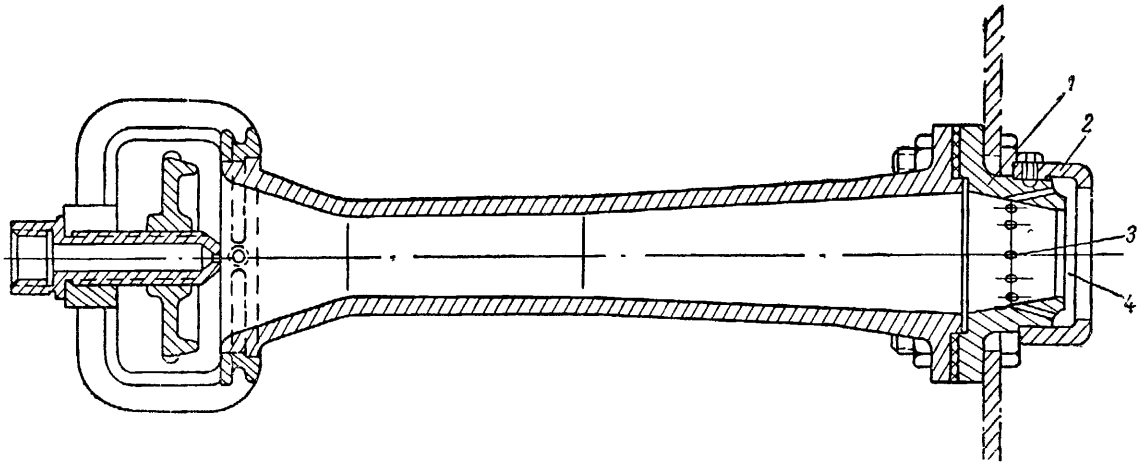


Рис. 6. Инжекционная горелка с кольцевым стабилизатором горения.

1 — насадок; *2* — кольцо; *3* — отверстия в насадке; *4* — кольцевой зазор.

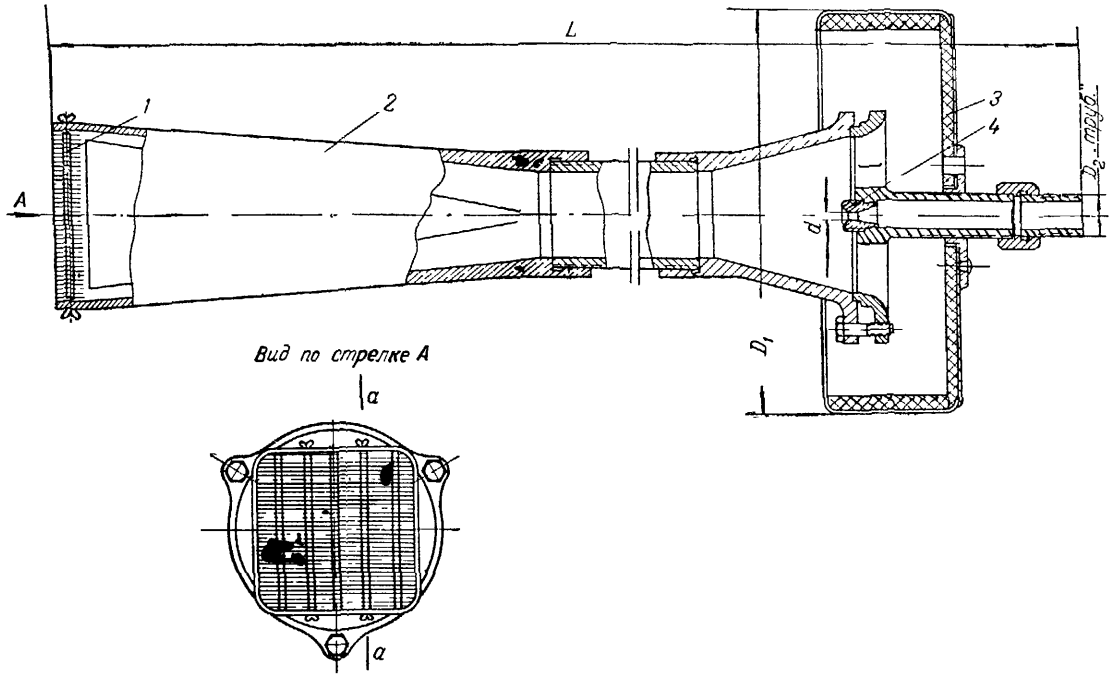


Рис. 7. Инжекционная горелка с пластинчатым стабилизатором горения.

1 — пластинчатый стабилизатор; *2* — смеситель; *3* — воздушно-регулировочная шайба; *4* — сопло.

поперечного сечения кольцевого зазора значительно больше суммарной площади отверстий. В результате газо-воздушная смесь, попадая в кольцевой зазор, имеет малую скорость и образует устойчиво горящее кольцо газа, поджигающее основной факел. Испытания инжекционных горелок с кольцевыми стабилизаторами показали, что при избыточном давлении газа до 1,5 *ат* отрыва пламени от устья горелки не бывает.

В институте Мосгазпроект создана оригинальная конструкция пластинчатого стабилизатора (инж. Ф. Ф. Казанцева) для инжекционных горелок среднего давления (рис. 7). Конструкция совмещает в себе устройство, предотвращающее отрыв и проскок пламени. Стабилизатор представляет собой стальные пластины, собранные в пакет на двух стержнях. Между пластинами остаются щели в 1,5 *мм*, через которые проходит газо-воздушная смесь. Пакет пластин вставляется в обойму, являющуюся насадком горелки, и закрепляется третьим стержнем.

Наличие узких щелей, которые интенсивно охлаждаются потоком газо-воздушной смеси, не допускает проскока пламени внутрь горелки. С другой стороны, расположенные поперек потока скрепляющие стержни вызывают образование за ними вихревых токов горячих продуктов сгорания, обеспечивающих надежное поджигание исходной газо-воздушной смеси.

Для предотвращения проскока пламени часто насадок горелки охлаждается водой, воздухом или газом. С помощью охлаждения достигается уменьшение скорости распространения пламени в газо-воздушной смеси и тем самым уменьшается вероятность проскока пламени в смесительную часть горелки. Имеются и другие способы стабилизации факела, но они применяются только в специальных устройствах и здесь не рассматриваются.

Пересчет горелок при изменении характеристик газа

При эксплуатации бывает необходима переделка горелок в связи с изменением теплоты сгорания и удельного веса газообразного топлива, так как работа горелок на газе с теплотой сгорания и удельным весом, отличающимися от расчетных, приводит к изменению тепловой нагрузки и ухудшению условий сгорания. Рассмотрим особенности пересчета горелок различных типов.

Инжекционные горелки низкого давления ($\alpha_г < 1{,}0$)

Для сохранения неизменной тепловой нагрузки инжекционной горелки низкого давления при переходе на газообразное топливо иного состава необходимо изменить диаметр газового сопла. Подсчет нового диаметра сопла ведется по формуле

$$d_1 = d\sqrt{\frac{Q_н}{Q'_н}}\sqrt{\frac{p\gamma'_г}{p_1\gamma_г}}\ [мм], \qquad (1)$$

где d — диаметр газового сопла при работе на газе первоначальной теплоты сгорания, *мм*;

$Q_н$ и $Q'_н$ — расчетная и действительная теплота сгорания газа, *ккал/м³*;

$\gamma_г$ и $\gamma'_г$ — расчетный и действительный удельный вес, *кг/м³*;

p — расчетное давление газа, *мм вод. ст.*;

p_1 — давление газа при работе на газе иного состава, *мм вод. ст.*

Когда располагаемого давления газа в сети достаточно для сохранения тепловой нагрузки горелки, можно (не меняя конструктивных размеров) изменить давление газа перед горелкой согласно значению, получаемому по формуле

$$p_1 = p\frac{\gamma'_г}{\gamma_г}\left(\frac{Q_н}{Q'_н}\right)^2\ [мм\ вод.\ ст.]. \qquad (2)$$

Однако в этом случае необходимо проверочным расчетом убедиться, что диапазон устойчивой работы горелки не будет меньше установленной величины.

Для инжекционных горелок низкого давления, работающих с $\alpha_г \geqslant 1{,}0$, все расчеты должны производиться по формулам (3) и (4).

Пример. Инжекционная горелка четырехсекционного котла ВНИИСТО—Мч рассчитана для сжигания природного газа с теплотой сгорания $Q_н = 8500$ *ккал/м³* и удельным весом $\gamma_г = 0{,}75$ *кг/м³* при номинальном давлении $p = 130$ *мм вод. ст.* Диаметр сопла, установленного в горелке, — 3,2 *мм*.

Необходимо рассчитать, какое сопло следует установить в горелку при работе на сжиженном газе с теплотой сгорания $Q'_н = 22000$ *ккал/м³* и удельным весом $\gamma'_г = 2{,}0$ *кг/м³* при номинальном давлении $p_1 = 300$ *мм вод. ст.*

В соответствии с приведенной выше формулой (1) имеем:

$$d_1 = 3{,}2 \sqrt{\frac{8500}{22\,000}} \sqrt{\frac{130 \cdot 2{,}0}{300 \cdot 0{,}73}} = 2{,}1 \text{ мм}.$$

С другой стороны, если бы мы попытались, не изменяя диаметра сопла, сохранить тепловую нагрузку горелки при работе ее на сжиженном газе, то необходимо было бы поддерживать давление (см. формулу 2):

$$p_1 = 130 \frac{2{,}0}{0{,}73} \left(\frac{8500}{22\,000}\right)^2 = 53{,}0 \text{ мм вод. ст.}$$

Проверка диапазона устойчивой работы горелки в этом случае показывает, что он значительно снижается. Если при работе на номинальном давлении 300 *мм вод. ст.* диапазон устойчивой работы составляет $n = \sqrt{\frac{20}{300}} = 1:4$, то при работе на новом давлении он составит $n = \sqrt{\frac{20}{53}} = 1:1{,}6$, т. е. совершенно неприемлемую величину.

Инжекционные горелки среднего давления ($\alpha_г \geqslant 1{,}0$)

Для сохранения неизменной тепловой нагрузки инжекционной горелки среднего давления при переходе на газ иного состава надо изменить диаметр газового сопла для обеспечения подсасывания необходимого количества воздуха. Новый диаметр вычисляется по формуле

$$d_1 = d \sqrt{\frac{(1+V_0\alpha)\left(1+V_0\alpha\frac{\gamma_в}{\gamma_г}\right)}{(1+V_0\alpha_1)\left(1+V_0\alpha_1\frac{\gamma_в}{\gamma'_г}\right)}} \text{ [мм]}, \qquad (3)$$

где V_0 — теоретическое количество воздуха, необходимое для горения, $м^3/м^3$;

$\gamma_в$ — удельный вес инжектируемого воздуха, $кг/м^3$;

α и α_1 — коэффициенты избытка воздуха на выходе из горелки.

Давление газа, которое необходимо поддерживать при изменении диаметра сопла,

$$p_1 = p \frac{\gamma'_г}{\gamma_г} \left(\frac{Q_н}{Q'_н}\right)^2 \left(\frac{d}{d_1}\right)^4 \text{ [мм вод. ст.]}. \qquad (4)$$

Пример. Инжекционная горелка среднего давления Стальпроекта В100/6,4 работает на природном газе с теплотой сгорания

8350 *ккал/м³* и удельным весом $\gamma_г = 0{,}73$ *кг/м³*. Номинальное давление газа $p = 5000$ *мм вод. ст.*, коэффициент избытка воздуха $\alpha_г = 1{,}05$ теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания газа $V_0 = 9{,}35$ *м³/м³*.

Необходимо определить, какого диаметра сопло следует установить в горелку при работе ее на смешанном газе (смесь природного и коксового) с теплотой сгорания $Q'_н = 6415$ *ккал/м³* и удельным весом $\gamma'_г = 0{,}59$ *кг/м³*, чтобы тепловая нагрузка и коэффициент избытка воздуха остались без изменений. Величина V_0 для смешанного газа составляет 7,2 *м³/м³*.

По формуле (3) находим диаметр газового сопла:

$$d_1 = 6{,}4\sqrt{\frac{(1+9{,}35\cdot 1{,}05)\left(1+9{,}35\cdot 1{,}05\dfrac{1{,}25}{0{,}73}\right)}{(1+7{,}2\cdot 1{,}05)\left(1+7{,}2\cdot 1{,}05\dfrac{1{,}25}{0{,}59}\right)}} = 7{,}6 \text{ мм}.$$

Новое номинальное давление газа определяем по формуле (4):

$$p_1 = 5000\,\frac{0{,}59}{0{,}73}\left(\frac{8350}{6415}\right)^2\left(\frac{6{,}4}{7{,}6}\right)^4 = 3450 \text{ мм вод. ст.}$$

Проверим, сохранилась ли постоянной тепловая нагрузка горелки. По нормали Стальпроекта определяем расход газа в первом и втором случаях.

При сжигании газа с теплотой сгорания $Q'_н = 8350$ *ккал/м³* расход газа $B_г = 32{,}6$ *м³/ч* и тепловая нагрузка горелки $Q_г = B_г Q_н = 32{,}6 \cdot 8350 = 272\,000$ *ккал/ч*.

При сжигании газа с теплотой сгорания $Q'_н = 6415$ *ккал/м³* расход газа $B_г = 42{,}5$ *м³/ч*, а тепловая нагрузка горелки $Q_г = 42{,}5 \cdot 6415 = 272\,000$ *ккал/ч*, т. е. осталась без изменений.

Горелки с принудительной подачей воздуха ($\alpha_г \geqslant 1{,}0$)

Для сохранения расчетной тепловой нагрузки горелки с принудительной подачей воздуха, необходимо изменить площадь газовыпускных отверстий, однако отношение скорости газа и скорости воздуха должно оставаться постоянным.

Расчет новой площади газовыпускных отверстий ведется по формуле

$$F_1 = F\,\frac{Q_н}{Q'_н}\ [м^2] \qquad (5)$$

при $W_г = W'_г$,

где F — площадь газовыпускных отверстий при сжигании газа первоначальной теплоты сгорания, *м²*;

F_1 — площадь газовыпускных отверстий при сжигании газа иного состава, $м^2$.

При кратковременном изменении состава газа и необходимости сохранения конструктивных размеров горелок давление газа и воздуха (для неизменной тепловой нагрузки) подсчитывается по формулам:
давление газа

$$p_1 = p \frac{\gamma'_г}{\gamma_г} \left(\frac{Q_н}{Q'_н} \right)^2 [мм\ вод.\ ст.], \qquad (6)$$

давление воздуха

$$H_1 = H \left(\frac{Q_н n_1}{Q'_н n} \right)^2 [мм\ вод.\ ст.], \qquad (7)$$

где H — расчетное давление воздуха, *мм вод. ст.*;
H_1 — давление воздуха при работе на газе иного состава, *мм вод. ст.*;
n — кратность подачи воздуха при сжигании газа расчетной теплоты сгорания;
n_1 — кратность подачи воздуха при сжигании газа иного состава.

Остальные обозначения аналогичны приведенным выше.

Пример. Горелка с принудительной подачей воздуха рассчитана на сжигание газа с $Q_н = 8500$ *ккал/м³* и $\gamma_г = 0{,}75$ *кг/м³*. Расчетное давление газа 130 *мм вод. ст.*, а воздуха — 60 *мм вод. ст.*

Необходимо пересчитать эту горелку для работы на попутном газе с $Q'_н = 12\,650$ *ккал/м³* и $\gamma'_г = 1{,}2$ *кг/м³*.

В горелке для выхода газа имеется 42 сопловых отверстия диаметром 2,1 *мм* каждое, т. е.

$$F = 42 \cdot 0{,}785 \cdot 0{,}0021^2 = 145 \cdot 10^{-6}\ м^2.$$

Определим по формуле (5) новую площадь газовыпускных отверстий;

$$F_1 = 145 \cdot 10^{-6} \frac{8500}{12\,650} = 97{,}5 \cdot 10^{-6}\ м^2.$$

Если оставить число газовыпускных отверстий без изменения, то нужно уменьшить их диаметр до 1,7 *мм*. Однако можно и не изменяя диаметра газовыпускных отверстий уменьшить их число до 28.

В случае кратковременной работы на газе иного состава нет смысла переделывать горелку, а лучше пересчитать номинальное давление газа и воздуха перед ней. В нашем примере для сохранения

расчетной тепловой нагрузки горелки давление газа и воздуха должно быть изменено соответственно:

$$p_1 = 130 \cdot \frac{1{,}2}{0{,}75} \left(\frac{8500}{12\,650} \right)^2 = 94 \text{ мм вод. ст.},$$

$$H_1 = 60 \left(\frac{8500 \cdot 14}{12\,650 \cdot 9{,}5} \right)^2 = 59{,}5 \text{ мм вод. ст.}$$

Из разобранного примера видно, что необходимое давление воздуха почти не изменилось. Это объясняется тем, что при сжигании газа с различной теплотой сгорания часовое количество воздуха, идущего на горение, практически остается постоянным, если сохраняется тепловая нагрузка горелки.

ГЛАВА III

КОНСТРУКТИВНЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОВЫХ ГОРЕЛОК

Горелки, применяемые в коммунальных и бытовых установках

Наибольшее распространение в городском хозяйстве получили инжекционные горелки низкого давления частичного предварительного смешения. Это объясняется тем, что установка горелок с принудительной подачей воздуха у небольших и сильно разрозненных потребителей не целесообразна и экономически не выгодна. Кроме того,

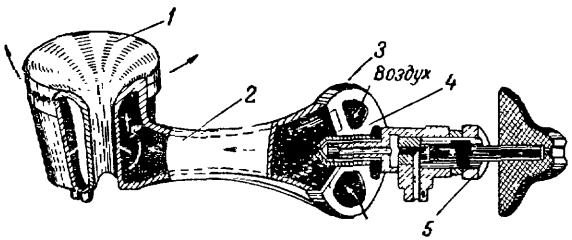


Рис. 8. Инжекционная конфорочная горелка газовых плит ПГ4/1 и ПГ2/1.

1 — огневой колпачок; *2* — смеситель; *3* — регулятор первичного воздуха; *4* — газовое сопло; *5* — кран.

в установках малой производительности можно добиться хорошего сжигания газа и с помощью инжекционных горелок низкого давления.

Широкое распространение в последнее время в различных областях получили горелки инфракрасного излучения. Они применяются для тепловой обработки различных материалов, сушки оштукатуренных стен зданий и лакокрасочных покрытий, обогрева рабочих площадок, лучистого отопления в цехах с большими теплопотерями и помещениях, где люди бывают периодически (выставочные залы, открытые трибуны, плавательные бассейны), и т. д.

На рис. 8 представлена конфорочная горелка плиты ПГ4/1 и ПГ2/1, имеющая номинальную тепловую нагрузку

1500 ÷ 1700 *ккал/ч*. Эта конструкция инжекционной горелки обладает хорошими теплотехническими и гигиеническими показателями. В огневом колпачке горелки име-

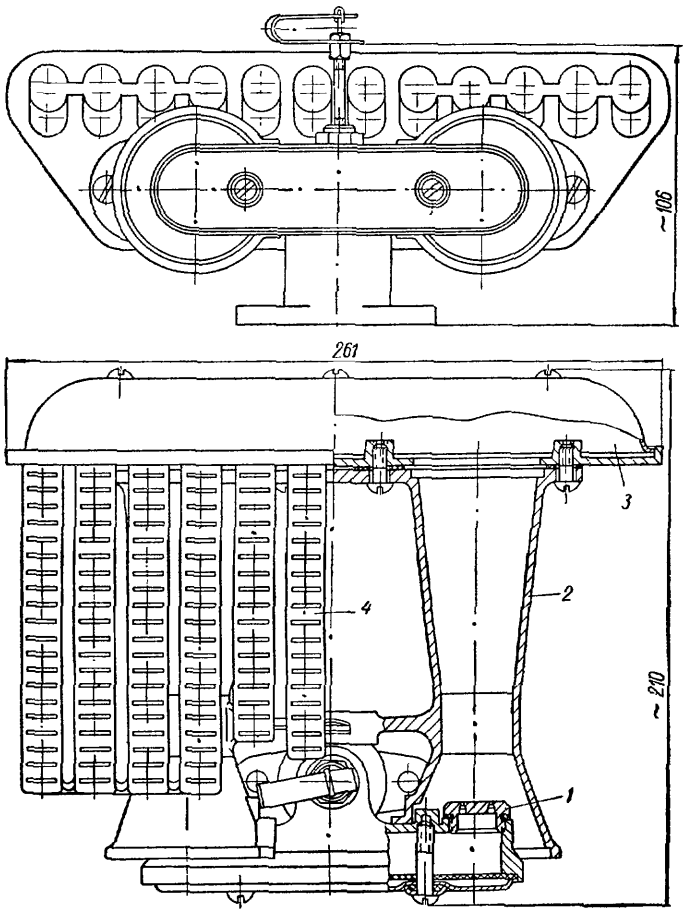


Рис. 9. Инжекционная горелка низкого давления для водонагревателей завода «Ленгазаппарат».

1 — газовое сопло; *2* — смеситель; *3* — коллектор газо-воздушной смеси; *4* — распределительные трубки с огневыми щелями.

ются 24 паза для выхода газо-воздушной смеси. Регулирование первичного воздуха осуществляется заслонкой, расположенной на наружной стороне смесителя. Подвод вторичного воздуха осуществляется с периферии и центра горелки по каналу, благодаря чему достигается высокая

полнота сжигания газа. Горелка рассчитана на сжигание газов с теплотой сгорания от 4000 до 24 000 *ккал/м*³ при соответствующей замене газового сопла. Вес горелки ~ 0,6 *кг*.

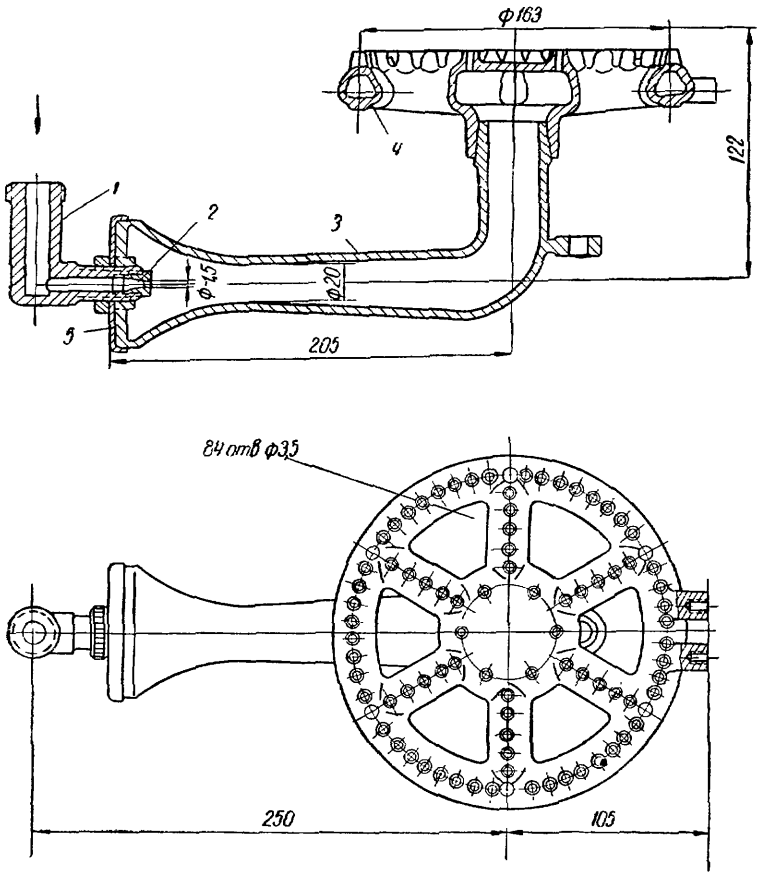


Рис. 10. Инжекционная горелка для емкостного водонагревателя АГВ-80М.

1 — подвод газа; *2* — сопло; *3* — смеситель; *4* — распределитель с огневыми отверстиями; *5* — регулятор первичного воздуха.

Инжекционная горелка низкого давления, применяемая в водонагревателях завода «Ленгазаппарат» (рис. 9), состоит из двух инжекторов, присоединенных к общей смесительной камере. Газ в каждый из инжекторов поступает через сопло, которое имеет три отверстия. Диаметры

отверстий зависят от теплоты сгорания газа. Газо-воздушная смесь из смесительной камеры поступает в распределитель, состоящий из 12 трубок с фрезерованными щелями. Размеры щелей 1 × 8 *мм*. Горелка имеет номинальную тепловую нагрузку от 18 000 до 21 000 *ккал/ч*.

Для водонагревателей типа АГВ и кипятильников КНД Мосгазпроектом разработана инжекционная горелка *низкого давления*. Горелка *водонагревателя* АГВ-80М (рис. 10) ранее выпускалась с соплом, имеющим регулировочную иглу, позволявшую настраивать горелку *на сжигание газов с разной теплотой сгорания*. Однако в эксплуатации это устройство себя не оправдало, и в настоящее время горелки выпускаются с различными соплами (для природного и сжиженного газов), имеющими определенные диаметры выходных отверстий.

Смеситель горелки представляет собой согнутую под углом 90° профилированную трубу. На диффузор смесителя надевается чугунный насадок. Огневые отверстия в насадке просверлены в специальных приливах, расположенных в один ряд, что улучшает условия подвода вторичного воздуха к факелам. Так как горелка работает

Таблица 4

Характеристики инжекционных горелок для водонагревателей АГВ и кипятильников КНД (рис. 9)

Назначение горелки	Номинальная тепловая нагрузка, *ккал/ч*	Диаметр сопла, *мм*	Газовыпускные отверстия		Габаритные размеры, *мм*	Вес, *кг*
			Кол-во шт.	Диаметр, *мм*		
Для АГВ-50 Для АГВ-80М	6000	$\frac{2,3}{1,5}$	84	3,5	152×355×186	6,0
Для АГВ-120	12 000	$\frac{3,2}{2,1}$	126	2,7	137×384×244	4,5
Для КНД-8М	20 400	$\frac{4,2}{2,8}$	124	4,0	175×565×370	9,6

Примечание. 1. Номинальное давление природного газа — 130 *мм вод. ст.*, сжиженного газа — 300 *мм вод. ст.* 2. В числителе даны диаметры для природного газа, в знаменателе — для сжиженного.

с коэффициентом избытка воздуха $\alpha_2 < 1{,}0$, это условие является необходимым. Расположение отверстий по окружности позволяет равномерно распределить тепло по топке, а большое количество отверстий делает возможным получение факелов небольшой высоты. Горелка ра-

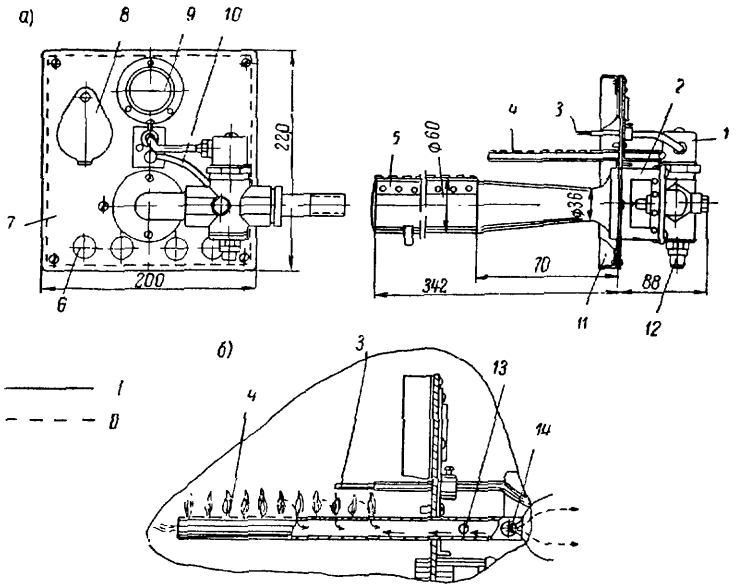


Рис. 11. Газовая горелка ГК-17-07: *а* — общий вид; *б* — установка трубки Максимова.

1 — электромагнитный клапан; *2* — регулятор первичного воздуха; *3* — термопара; *4* — трубка Максимова, служащая одновременно запальником; *5* — основная горелка; *6* — отверстие для подвода вторичного воздуха; *7* — топочный щиток; *8* — глазок для розжига; *9* — смотровое окно; *10* — трубка для подачи газа к запальнику; *11* — рамка горелки; *12* — пусковая кнопка; *13* — отверстие для входа в трубку газа от электромагнитного клапана; *14* — отверстие для входа в трубку воздуха (при нормальной тяге) и для выхода смеси продуктов сгорания и газа (при отсутствии тяги в дымоходе печи). I — воздух; II — смесь продуктов сгорания и газа.

ботает устойчиво при изменении давления природного газа от 10 до 180 *мм вод. ст.* и сжиженного газа — от 20 до 400 *мм вод. ст.* Основные характеристики горелки приведены в табл. 4. Аналогичную конструкцию имеют и горелки для водонагревателя АГВ-120 и кипятильника КНД-8М, характеристики которых помещены в этой же таблице.

Газогорелочное устройство ГК-17-07 (рис. 11) устанавливается на отопительных и отопительно-варочных

печах. Оно состоит из следующих основных узлов: топочного щитка, насадка, смесителя и защитной автоматики. Топочный щиток изготовляется из листовой стали толщиною 1,5 *мм* и винтами крепится к рамке. Рамка с помощью проволоки укрепляется в кирпичной кладке.

Насадок горелки выполняется литым из чугуна. По всей длине насадка просверлены 3 ряда отверстий диаметром 4,0 *мм* для выхода газо-воздушной смеси. Смеситель горелки выполнен так же, как и у большинства инжекционных горелок.

Защитная автоматика (рис. 11, *б*) состоит из электромагнитного клапана, термопары и трубки конструкции Максимова, *которая служит одновременно и запальником* горелки. При нормальной тяге в дымоходе запальник нагревает термопару и электромагнитный клапан пропускает газ на горелки. Если во время работы печи произойдет завал дымохода, опрокидывание тяги и т. д., то в топливнике печи образуется давление выше атмосферного и газ из трубки Максимова будет выходить в помещение. При этом запальник погаснет, термопара охладится и закроется электромагнитный клапан, прекратив доступ газа в горелку.

Теплотехнические испытания горелки показали, что полное сжигание газа достигается при коэффициенте избытка воздуха в топливнике печи $\alpha_т = 1{,}6 \div 1{,}7$. Коэффициент избытка первичного воздуха $\alpha_г = 0{,}35 \div 0{,}4$.

На рис. 12 показана газовая инжекционная горелка низкого давления ГДП-1,5. Фронтовой щиток горелки с помощью шпилек крепится к топочной рамке. Рамка укрепляется в кладке печи металлическими полосами перед установкой горелки. Горелка заканчивается двумя щелевыми насадками. Первичный воздух подсасывается в горелку через регуляторы, а вторичный воздух поступает через поддувальную дверцу.

Автоматика безопасности для этой горелки состоит из термопары, запальника и электромагнитного клапана. Перекрытие электромагнитного клапана происходит через *40 ÷ 60 сек после того, как погаснет запальник. Для* включения горелки необходимо открыть кран на подводящем газопроводе, нажать кнопку электромагнитного клапана и зажечь запальник. Зажигание запальника производится через смотровое окно, размещенное на фронтовом щитке.

Ввиду того, что горелка ГДП-1,5 не имеет автоматики, *прекращающей подачу газа при отсутствии тяги в дымо-*

ходе, она должна устанавливаться на печах в комплекте с сигнализатором тяги ЭБА. Сигнализатор ЭБА отключает горелку через 25—30 *сек* после нарушения тяги в дымоходе.

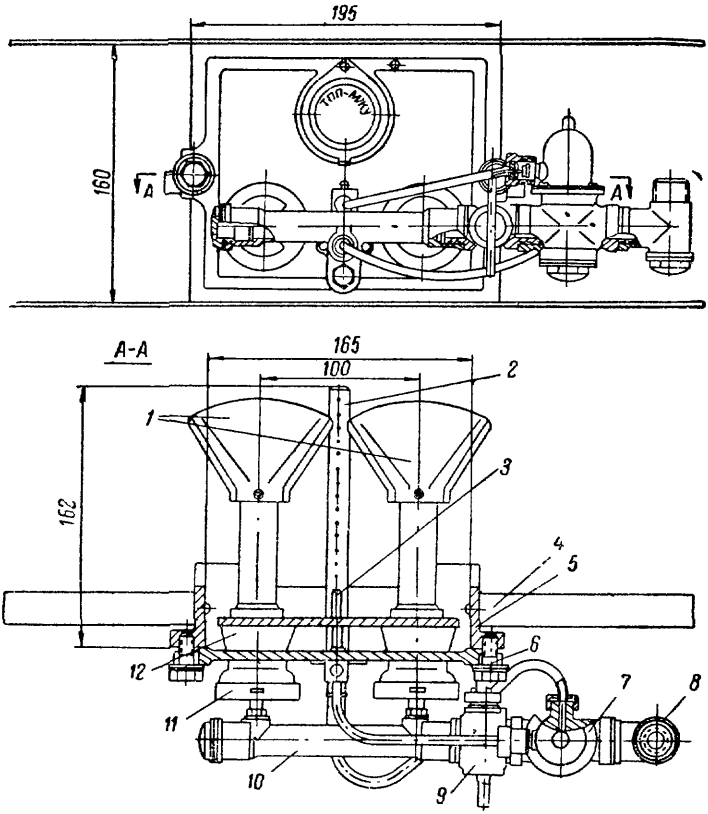


Рис. 12. Газовая горелка ГДП-1,5.

1 — основные горелки; *2* — запальник; *3* — термопара; *4* — полосы для крепления рамки; *5* — рамка; *6* — болт; *7* — электромагнитный клапан; *8* — фильтр; *9* — кран; *10* — коллектор; *11* — регулятор первичного воздуха; *12* — смеситель.

Ранее выпускались также газогорелочные устройства ГУК-1 и ГУК-2 для переоборудования комнатных печей, смонтированные (первое) на стандартной чугунной поддувальной дверце и (второе) на стандартной чугунной топочной дверце. Автоматика этих горелок аналогична

автоматике горелки ГДП-1,5, т. е. срабатывает только при погасании пламени в топливнике.

Горелки рассчитаны как на периодический, так и на непрерывный режим работы. Горелки ГУК-1 и ГУК-2 по конструкции одинаковы. Крайние две горелки — пе-

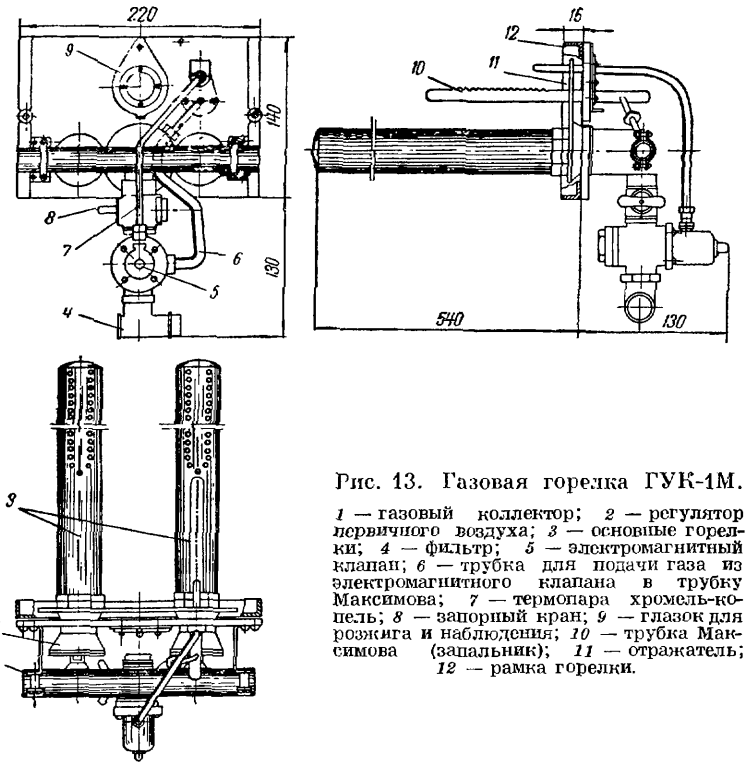


Рис. 13. Газовая горелка ГУК-1М.

1 — газовый коллектор; *2* — регулятор первичного воздуха; *3* — основные горелки; *4* — фильтр; *5* — электромагнитный клапан; *6* — трубка для подачи газа из электромагнитного клапана в трубку Максимова; *7* — термопара хромель-копель; *8* — запорный кран; *9* — глазок для розжига и наблюдения; *10* — трубка Максимова (запальник); *11* — отражатель; *12* — рамка горелки.

риодического действия, а средняя, непрерывного действия, служит одновременно и запальником.

В настоящее время выпускается модернизированная горелка ГУК-1М (*рис. 13*), снабженная дополнительно автоматикой по тяге в дымоходе. Автоматика состоит из электромагнитного клапана и трубки конструкции Максимова с термопарой, описанных выше.

На рис. 14 показана газовая горелка ГК-ГПТ. Конструктивно она аналогична описанным горелкам, однако отличается автоматикой безопасности. Автоматика состоит из термодатчика, запальника, рычага-фиксатора с пру-

жиной, регулирующего кронштейна и механического клапана.

Для того чтобы зажечь запальник, необходимо нажать кнопку механического клапана. Факел запальника нагревает термодатчик, который удлиняется по направлению

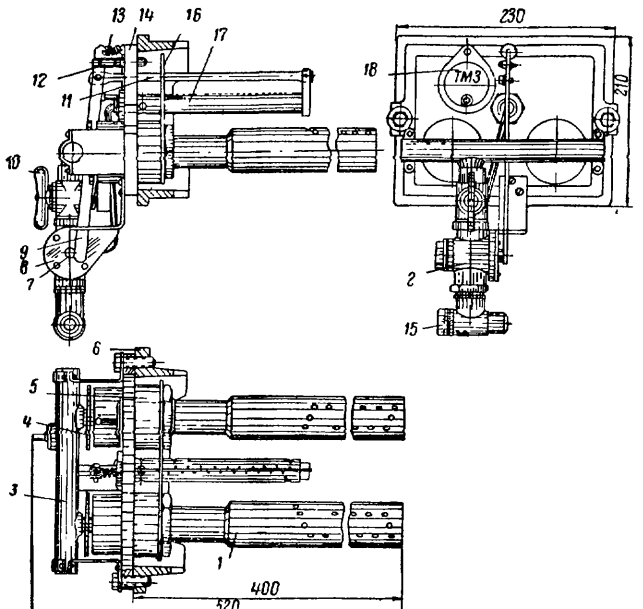


Рис. 14. Газовая горелка ГК-ГПТ.

1 — основные горелки; *2* — механический клапан; *3* — газовый коллектор; *4* — регулятор первичного воздуха; *5* — смеситель; *6* — рамка горелки; *7* — пусковая кнопка механического клапана; *8* — кронштейн, связывающий механический клапан с топочным щитком; *9* — рычаг-фиксатор; *10* — запорный кран; *11* — термодатчик; *12* — кронштейн для регулировки рычага-фиксатора; *13* — пружина; *14* — топочный щиток; *15* — фильтр; *16* — отражатель; *17* — инжекционный запальник; *18* — глазок для розжига и наблюдения.

к щитку горелки. Рычаг-фиксатор сдвигается в сторону от топочного щитка и перекрывает кнопку механического клапана. В этом положении кнопки механический клапан пропускает газ к запальнику и коллектору основной горелки. Затем открывают запорный кран коллектора горелки, и происходит воспламенение газо-воздушной смеси, выходящей из двух трубчатых насадков. При наличии тяги газогорелочное устройство разжигается за 20 ÷ ÷ 25 *сек.*

При отсутствии тяги в топливнике пламя инжекционного запальника будет неустойчивым и поэтому термодатчик не прогреется, рычаг-фиксатор не перекроет кнопку механического клапана и горелка не зажжется. В случае завала дымохода в процессе работы горелки в топливник поступает недостаточное количество вторичного воздуха для полного сгорания газа. Факел запальника станет нестабильным, и термодатчик остынет. В результате фиксатор отойдет к щитку горелки и освободит кнопку механического клапана.

Настройка рычага-фиксатора осуществляется регулирующим кронштейном. При вывинчивании или ввин-

Таблица 5

Сравнительные характеристики газовых горелок с автоматикой для отопительных печей (рис. 11 ÷ 14)

Марка горелки	Номинальная тепловая нагрузка, *ккал/ч*	Номинальное давление природного газа перед горелкой, *мм вод. ст.*	Габаритные размеры, *мм*	Вес, *кг*	Завод-изготовитель
ГДП-1,5	13 800	130	295×160×195	7,0	Ремонтно-механический завод Мосжилуправления, «Газаппарат» г. Саратов
ГДП-1,5	12 500	130	165×235×280	9,7	Ремонтно-механический завод, г. Тбилиси
ГК-17-07	14 000	100	430×220×200	6,1	«Газаппарат» г. Саратов
ГУК-1	8 000	100	405×160×200	9,7	Ремонтно-механические заводы Мосжилуправления и г. Тбилиси
ГУК-2	8 000	100	375×235×280	12,6	То же
ГУК-1М	13 500	130	670×270×220	8,5	Таганрогский механический завод
ГК-ГТП	13 500	130	520×210×230	—	То же

Примечания. 1. Диаметр подводящего газопровода для всех горелок, указанных в таблице — $^1/_2$″. 2. Все горелки (кроме ГУК-1) устанавливаются в топливнике, ГУК-1 — в поддувале.

чивании кронштейна меняется положение фиксирующего конца относительно кнопки клапана.

Время отсечки клапана при отсутствии разрежения (вызванного розжигом горелки с закрытой задвижкой печи или завалом дымохода) составляет 10 ÷ 15 *сек.*

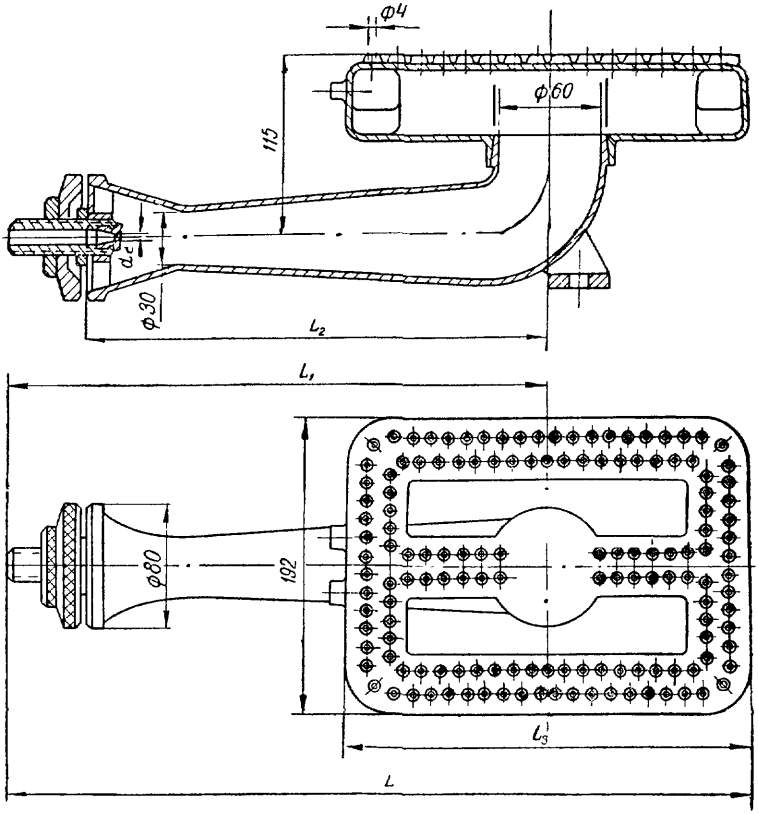


Рис. 15. Инжекционная горелка для котлов типа ВНИИСТО-Мч.

Длительная проверка автоматики показала ее надежность.

В табл. 5 приведены сравнительные характеристики горелок для отопительных печей.

Все типоразмеры водогрейных котлов ВНИИСТО-Мч снабжаются специально разработанными инжекционными горелками низкого давления.

Насадок горелки (рис. 15) имеет прямоугольную форму в виде рамки, с перемычкой посередине. Подвод газо-воз-

душной смеси из смесителя осуществляется к центру перемычки, а затем с двух сторон к выходным отверстиям, расположенным по периметру рамки. Двухрядное расположение по насадку огневых отверстий позволяет сократить его размеры, однако ухудшает условия подвода вторичного воздуха. Это несколько увеличивает длину факела по сравнению с горелками, имеющими однорядное расположение отверстий. Горелки работают устойчиво в диапазоне давлений природного газа от 5 до 180 *мм вод. ст.* и сжиженного газа — от 10 до 400 *мм вод. ст.* Основные характеристики горелок приведены в табл. 6.

Таблица 6

Характеристики инжекционных горелок для секционных котлов ВНИИСТО-Мч (рис. 15)

Технические данные	*Количество секций в котле, шт.*					
	4	5	6	8	10	12
Количество горелок, устанавливаемых на котел, шт.	1	1	1	2	2	2
Тепловая нагрузка горелки, *ккал/ч*	11 900	17 850	22 400	16 000	21 550	26 400
Расход газа, $м^3/ч$:						
природного	1,4	2.1	2,6	1,9	2,5	3,1
сжиженного	0,54	0.80	1,00	0,73	0,98	1,20
Диаметр сопла горелки, *мм*:						
для природного газа	3,2	4.0	4.5	3,8	4,3	4,8
для сжиженного газа	2,1	2,7	3,0	2,5	2,8	3,2
Диаметр газовыпускных отверстий, *мм*	4.0	4.0	4,0	4,0	4,0	4,0
Количество отверстий, шт.	98	142	142	78	110	178
Габаритные размеры, *мм*:						
длина	455	487	565	666	825	990
высота	155	155	155	191	191	191
ширина	192	192	192	130	130	130
Вес горелки, *кг*	6,9	8,9	14,3	7,7	9,4	14,8

Примечание. Номинальное давление природного газа 130 *мм вод. ст.*, сжиженного — 300 *мм вод. ст.*

Горелки устанавливаются на уровне колосниковой решетки (которая снимается при работе на газе), а вместо топочной дверки устанавливается фронтовая плита. К фронтовой плите крепится подводящий газопровод, горелка и приборы автоматики.

Институтом Мосгазпроект разработана серия горелок для установки в аппаратах, имеющих удлиненную топку (рис. 16). Рекомендуемое давление газа 10 ÷ ÷ 180 *мм вод. ст.*, горелка работает с коэффициентом избытка воздуха $\alpha_г < 1{,}0$. В зависимости от размеров топочного пространства и потребности в тепле эта конструкция имеет шесть моделей (табл. 7).

Таблица 7

Инжекционные горелки Мосгазпроекта (рис. 16)

Тип горелки	Тепловая нагрузка, *ккал/ч* ($p = 130$ *мм вод. ст.*)	Расход газа, *м³/ч* ($Q_н = 8500$ *ккал/м³*)	d_c, *мм*	d_0, *мм*	Количество выходных отверстий, шт.	L, *мм*	Вес, *кг*
ГКС-2,5	16 150	1,90	3,8	5,5	43	830	4,6
ГКС1-3,5-00	20 400	2,40	4,2	6 0	40	890	7,6
ГКС-3,5-00	20 400	2,40	4,2	5,0	65	1080	9,0
ГКС-4,5-00	23 800	2,80	4,6	5,0	89	1315	11,0
ГКС-3,5-00	28 000	3,30	5,0	4,5	106	1490	12,5
ГКС-4,5-00	28 000	3,30	5,0	6,0	66	1090	9,5

Смеситель горелки выполнен сварным. Узел сопла и регулятора первичного воздуха очень удобен при монтаже и эксплуатации горелки. Перемещая регулятор воздуха по резьбе, можно увеличивать или уменьшать инжекцию первичного воздуха. Диффузор смесителя оканчивается резьбой, на которую навертывается насадок горелки. Насадок выполнен из стальной трубы, заглушенной с одного конца.

На насадок вдоль оси горелки привариваются две полоски толщиною 8 *мм*, через которые проходят отверстия для выхода газо-воздушной смеси. На номинальной нагрузке факел имеет высоту порядка ~0,5 *м*. Для укорочения факела целесообразно подавать в зону горения вторичный воздух. При установке в топке нескольких горелок следует сохранять между ними зазор не менее 30 *мм* для доступа вторичного воздуха.

При переводе на газ секционных котлов Стреля и Стребеля большой модели и котлов НР применяют инжекционные горелки низкого давления конструкции

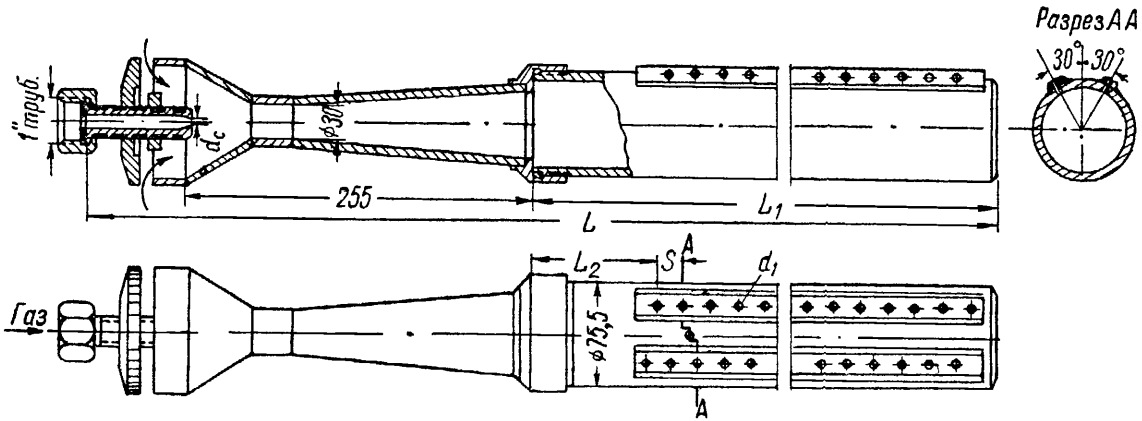


Рис. 16. Инжекционная горелка для тепловых агрегатов, имеющих удлиненную топку.

Мосгазпроекта (рис. 17). Рекомендуемое давление газа у этих горелок 10 ÷ 180 *мм вод. ст.* Коэффициент избытка воздуха $\alpha_г < 1{,}0$.

Горелки выполнены сварными, поэтому имеют небольшой вес. Длина горелок в зависимости от модификации составляет от 1160 до 1610 *мм*. Горелки устанавливаются в топке котла обычно в блоке из 3 ÷ 4 штук. Этот тип горелок применяют также иногда и для установок с удлиненной топкой и высотой не менее 600 ÷ 900 *мм*. Характеристики горелок даны в табл. 8.

Таблица 8

Инжекционные горелки низкого давления (рис. 17)

Тип горелки	Тепловая нагрузка, *ккал/ч* ($p = 130$ *мм вод. ст.*)	Расход газа, *м³/ч* ($Q_н = 8500$ *ккал/м³*)	d_c, *мм*	d_0, *мм*	Количество выходных отверстий, шт.	L, *мм*	Вес, *кг*
ГКС-6-00	39 950	4,70	5,5	6	76	1160	10,7
ГКС-8-00	44 200	5,20	6,5	6	112	1430	13,0
ГКС-1-8-00	44 200	5,20	6,5	5	134	1610	14,8
ГКС-10-00	51 850	6,10	7,0	6	134	1610	14,8

Киевский завод «Газприбор» выпускает шесть типоразмеров инжекционных горелок низкого давления для природного газа конструкции Укргипрогорпромгаза (рис. 18), которые широко применяются в мелких отопительных котлах.

В табл. 9 приведены их основные характеристики. Горелки типа ОП-0009, 0017 и 0020 выполняются сварными, а типа ОП-0184, 0185 и 0186 — литыми. Степень подсоса первичного воздуха этими горелками мала и не превышает $\alpha_г \approx 0{,}3$, поэтому горелки требуют хорошего подвода вторичного воздуха и значительного объема топки для завершения горения (высота топки не менее 600 ÷ ÷ 800 *мм*). Если же пламя горелки касается поверхностей нагрева котла, то они работают со значительной потерей тепла от химической неполноты сгорания.

При индивидуальном изготовлении горелок или изготовлении небольшими сериями целесообразно выполнять

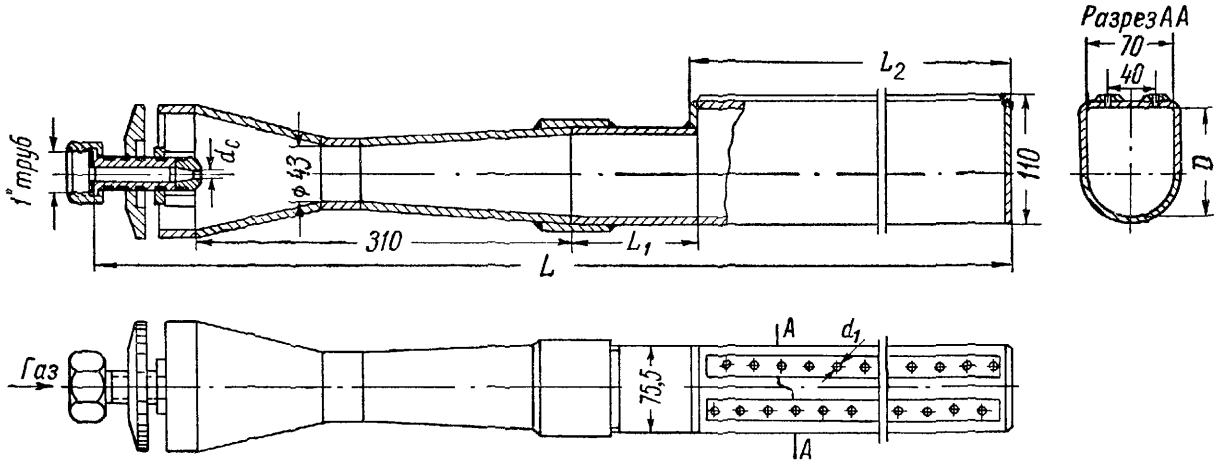


Рис. 17. Инжекционная горелка низкого давления Мосгазпроекта.

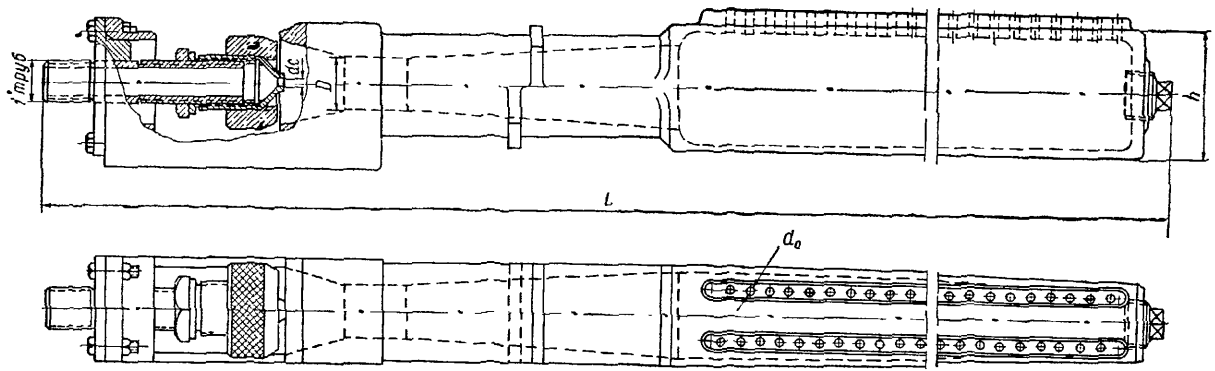


Рис. 18. Инжекционная горелка низкого давления Укргипрогорпромгаза.

Таблица 9

Инжекционные горелки низкого давления Укргипрогорпромгаза (рис. 18)

Тип горелки	Теплопроизводительность, *ккал/ч*, $p_г$ = 130 *мм вод. ст.*	Расход газа, $м^3/ч$ $Q_н$ = 8500 *ккал*/$м^3$	Размеры, *мм*			Вес, *кг*
			диаметр сопла	*L*	*h*	
ОП-0009	24 600	2,9	4,6	550	70	5,5
ОП-0017	34 000	4,0	5,4	840	85	8,2
ОП-0020	69 700	8,2	7,8	1028	90	19,3
ОП-0020	79 000	9,3	8,3	1273	90	23,7
ОП-0020	104 000	12,2	9,5	1603	90	27,0
ОП-0186	82 500	9,7	8,4	1084	95	29,8
ОП-0185	104 000	12,2	9,5	1298	100	30,9
ОП-0184	104 000	12,2	9,5	1615	100	37,6

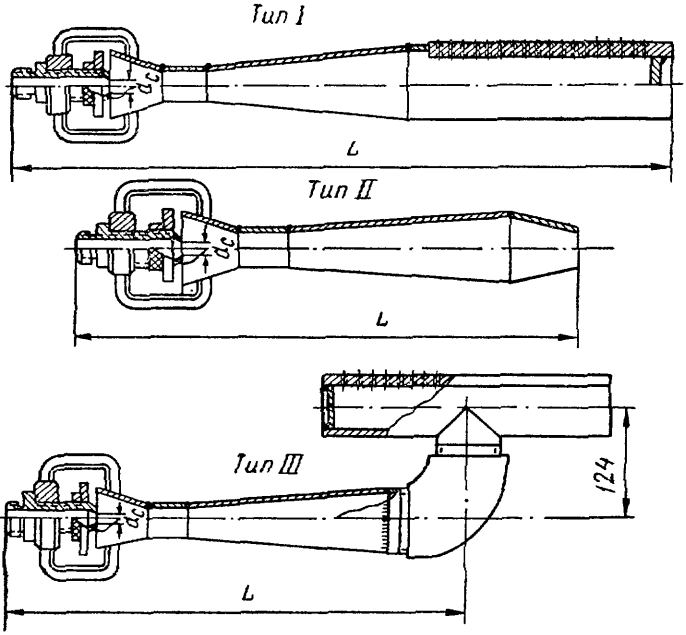


Рис. 19. Инжекционная горелка низкого давления Ленгипроинжпроекта в сварном исполнении.

их сварными из труб или листовой стали. Такие горелки изготовляются в Ленинграде и других городах.

Горелки конструкции Ленгипроинжпроекта (рис. 19) предназначены для кипятильников, варочных котлов, бучильников, ресторанных плит, секционных чугунных котлов, кондитерских печей. Имеется три типа этих горелок. Они требуют подачи вторичного воздуха, так как инжектируют первичный воздух только на 50 ÷ 60%. Необходимое давление газа 80 ÷ 150 *мм вод. ст.* Технические характеристики горелок приведены в табл. 10.

Таблица 10

Инжекционные горелки Ленгипроинжпроекта в сварном исполнении (рис. 19)

Номер горелки	Тип горелки	Расход природного газа, $м^3/ч$, при давлении, *мм вод. ст.*				d_c, *мм*	Общая длина L, *мм*	Вес, *кг*
		80	100	120	150			
1	I	0,77	0,86	0,95	1,03	2,6	535	2,19
2	I	0,97	1,08	1,18	1,31	3,0	584	2,24
3	III	0,97	1,08	1,18	1,31	3,0	400	3,72
4	I	1,15	1,29	1,42	1,56	3,3	774	3,80
4	I	1,54	1,72	1,90	2,08	3,7	881	5,00
5	I	1,54	1,72	1,90	2,08	3,7	931	5,80
5	I	1,54	1,72	1,90	2,08	3,7	1026	6,50
5	I	1,54	1,72	1,90	2,08	3,7	1131	7,30
6	I	1,92	2,15	2,36	2,60	4,2	1155	8,50
7	II	2,68	3,00	3,30	3,64	5,0	640	3,90
8	I	3,85	4,30	4,72	5,20	6,0	1465	13,00
9	II	3,85	4,30	4,72	5,20	6,0	667	4,43
10	I	5,75	6,45	7,10	7,80	7,2	1595	21,90
11	I	5,75	6,45	7,10	7,80	7,2	1835	26,20
12	I	5,75	6,45	7,10	7,80	7,2	1410	15,54
13	I	5,75	6,45	7,10	7,80	7,2	1650	18,35
14	II	5,75	6,45	7,10	7,80	7,2	845	5,40
15	I	8,50	9,50	10,40	11,50	8,8	2063	34,22
16	II	9,70	10,80	11,80	13,00	9,4	1038	12,25

Горелки, аналогичные по своему назначению описанным выше, разработаны Мосгазпроектом и выпускаются Московским заводом «Газаппарат». Они выполняются сварными и часто компонуются в блоки из двух и трех горелок, устанавливаемых на общей фронтовой плите вместе с подводящим газопроводом и переносным запальником.

Для направления вторичного воздуха к факелу (рис. 20) каждая горелка устанавливается внутри трубы

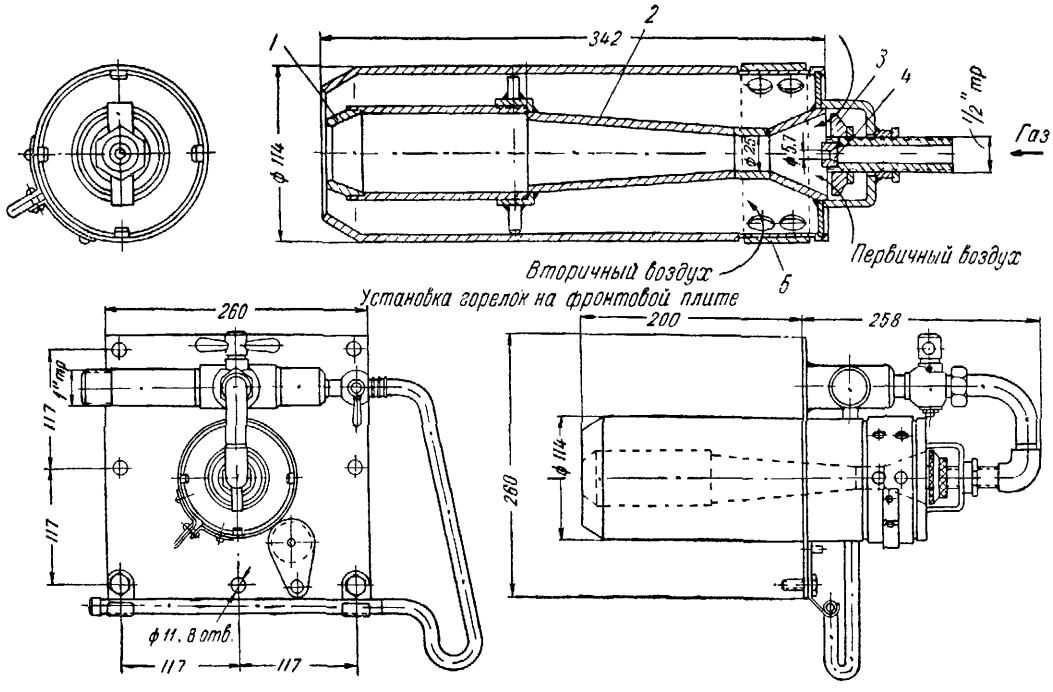


Рис. 20. Инжекционная горелка ПР-310.

1 — насадок; *2* — смеситель; *3* — регулятор первичного воздуха; *4* — сопло; *5* — регулятор вторичного воздуха.

большего диаметра. Вторичный воздух подается через кольцевой зазор между смесителем горелки и трубой. Со стороны фронтовой плиты размещен регулятор вторичного воздуха, при помощи которого можно регулировать его подачу. На расстоянии примерно 500 *мм* от выходного насадка горелок делается горка из шамотного кирпича, способствующая стабилизации горения и дожиганию продуктов неполного сгорания. Горелки работают устойчиво при давлении природного газа 10 ÷ 180 *мм вод. ст.* и сжиженного газа —20 ÷ 400 *мм вод. ст.* Тепловая нагрузка горелок при номинальном давлении колеблется в зависимости от количества горелок в блоке от 16 000 до 85 000 *ккал/ч*. Технические характеристики горелок приведены в табл. 11.

Таблица 1

Характеристики горелок для тепловых агрегатов предприятий общественного питания (рис. 20)

Тип горелки	Номинальная тепловая нагрузка, *ккал/ч*	Номинальный расход газа, $м^3/ч$		Диаметр газового сопла, *мм*	Размеры фронтовой плиты, *мм*	Вес *кг*
		Природный, $p_г = 130$ *мм вод. ст.*	Сжиженный, $p_г = 300$ *мм вод. ст.*			
ПР-310	16 150	1,9	0,74	$\frac{3,8}{2,5}$	260×260	14,0
ОГП-2	32 300	3.8	1,50	$\frac{3,8}{2,5}$	270×280	21,0
ПР-258	48 450	5,7	2,2	$\frac{3,8}{2,5}$	238×350	28,0
ОГП-1	85 000	10	3,9	$\frac{5,0}{3,3}$	385×430	41,6

Примечание. В числителе указаны диаметры для природного газа, в знаменателе — для сжиженного.

Для отопления больших помещений и цехов, предприятий общественного питания, рабочих мест на открытых

и полуоткрытых строительно-монтажных площадках, просушки стен после штукатурки и побелки, др. видов сушки и т. д. применяются горелки инфракрасного излучения.

Основное отличие горелок инфракрасного излучения от факельных горелок заключается в том, что они большую часть выделяемого тепла передают излучением. Сгорание газа у них происходит на поверхности керамического насадка без видимого факела. Излучающая по-

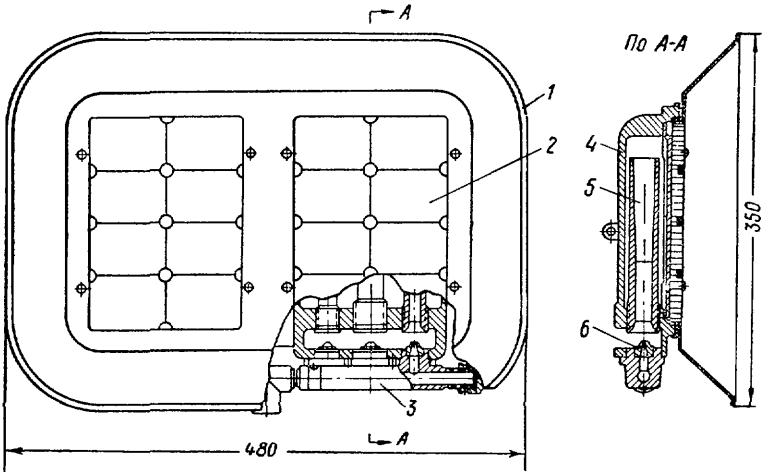


Рис. 21. Горелка инфракрасного излучения ГИИ-3.

1 — рефлектор; *2* — излучающий насадок; *3* — газовый коллектор; *4* — распределительная коробка; *5* — инжектор; *6* — сопло.

верхность горелок может иметь любые форму и размеры в зависимости от требуемой тепловой нагрузки и объекта применения.

Рассмотрим ряд горелок, разработанных в Гипропигазе (г. Саратов). В горелке инфракрасного излучения ГИИ-3 (рис. 21) газ, выходя из сопла, инжектирует весь необходимый для горения воздух. Горелки этого типа рассчитываются на работу с коэффициентом избытка воздуха $\alpha_г = 1{,}03 \div 1{,}06$, т. е. на полное предварительное смешение газа с воздухом. Газо-воздушная смесь из смесителя поступает в распределительную коробку и выходит через каналы керамического насадка. Сгорание происходит на поверхности насадка, причем температура излучающей поверхности составляет 700 ÷ 900° С.

Насадок горелки представляет собой набор отдельных керамических плиток размером 65 × 47 × 15 *мм*. Диа-

метр отверстий в плитке — 1,5 *мм*. Плитки изготовляются из следующего состава, %: часовъярская глина — 45, каолин — 25, окись хрома — 5 и тальк — 25. Собираются плитки на специальной замазке.

Незначительные отклонения избытка воздуха от указанных значений резко ухудшают условия работы горелок. Действительно, при увеличении количества первичного воздуха падает температура насадка и понижается излучательная способность горелки. При уменьшении количества первичного воздуха возникает необходимость во вторичном воздухе, доступ которого к горелке затруднен, поэтому фронт пламени становится сплошным и появляются длинные желтые языки.

Горелки снабжены специальным устройством для зажигания. Для этого используется обычная автомобильная свеча, которая монтируется в рефлекторе на изоляторе. При зажигании горелки в свечу подается электрический ток и газо-воздушная смесь воспламеняется от искры.

Газовые инфракрасные горелки изготовляются также с металлическими сетчатыми излучателями. Так, горелка ГК-27 имеет излучающую поверхность из двух рядов сетки: верхней № 2 × 1,2 и предохранительной № 063 × × 028. Процесс горения происходит в пространстве между сетками, которые, нагреваясь до высокой температуры ~800° С, становятся мощными излучателями.

Ветроустойчивая горелка ГК-23 предназначена для установки на открытых площадках. Она работает устойчиво при скорости ветра до 8 *м/сек*. Излучающая поверхность этой горелки изготовлена из керамических плиток и металлической сетки № 2 × 1,2. Керамические плитки имеют отверстия диаметром 0,85 *мм*.

Основные характеристики горелок Гипронигаза, выпускаемых Саратовским заводом «Газприбор», приведены в табл. 12.

Институтом Мосгазпроект также разработаны горелки инфракрасного излучения. По своей конструкции они сходны с горелками Гипронигаза, но отличны по системе электрического зажигания. Электрическое зажигание горелок Мосгазпроекта осуществляется от спирали — электрозапала и имеет блокировку для безопасности работы. Так, открытие соленоидного клапана, пропускающего газ к горелкам, возможно только при наличии напряжения в спирали. Технические характеристики горелок приведены в табл. 13.

Таблица 12

Горелки инфракрасного излучения Гипронигаза (рис. 21)

Тип горелки	Номинальное давление газа, *мм вод. ст.*	Диаметр газового сопла, *мм*	Расход газа, *м³/ч*	Тепловая нагрузка, *ккал/ч*	Кол-во тепла, передаваемое излучением, *ккал/ч*	Число керамических плиток, шт.	Габаритные размеры, *мм*	Вес, *кг*
ГИИ-1	130 300	2,80 1,85	1.000 0,385	8 500	4 700	20	1260×176×200	8,5
ГК-27	130 300	2,40 1,60	0,750 0,290	6 400	4 100	—	462×322×152	5,5
ГИИ-19А	130 300	2,40 1,60	0.750 0,290	6 400	3 500	16	462×322×144	6,0
ГК-1-38	130 300	4,35 2,85	2.350 0,910	20 000	11 000	50	Высота от 1200 до 1900, диаметр горелки — 200	12,1
ГК-23	2000 2500	1,80 0,80	1,500 0,580	12 750	8900	16	410×320×190	5,0

Примечания. 1. Горелка ГИИ-19А заменила ранее выпускавшиеся ГИИ-3 и ГИИ-8. 2. Горелка ГК-1-38 заменила ранее выпускавшиеся ГИИ-12 и ГИИ-14. 3. В числителе приведены значения для природного газа, в знаменателе — для сжиженного.

На рис. 22 показана горелка инфракрасного излучения (Мосгазпроекта) с номинальной тепловой нагрузкой 3400 *ккал/ч*. Горелка состоит из корпуса, блока керамики, рефлектора, узла подвода газа и электрозапала. Корпус представляет собой коробку, отштампованную из листового металла. Внутри корпуса размещен смеситель, снабженный на наружном конце устройством для установки сопла. Штуцер крепится к корпусу с помощью резьбового соединения. На нем с одной стороны размещено газовое сопло, а с другой — ниппель с накидной гайкой для присоединения газопровода. Блок керамики собран из восьми керамических плиток. К блоку керамики на фар-

Таблица 13

Горелки инфракрасного излучения Мосгазпроекта (рис. 22)

Тип горелки	Номинальное давление газа, *мм вод. ст.*	Диаметр сопла, *мм*	Расход газа, $м^3/ч$	Тепловая нагрузка горелки, *ккал/ч*	Габаритные размеры, *мм*	Вес, *кг*	Конструктивные особенности
3433-00	130 / 250	1,8 / 1,2	0,400 / 0,155	3 400	230×400×310	3,0	Один инжектор; 8 плиток
3434-00 (блок из 2-х 3433-00)	130 / 250	1,8 / 1,2	0,800 / 0,310	6 800	230×528×310	5,0	Два инжектора; 16 плиток
3435-00 (блок из 3-х 3433-00)	130 / 250	1,8 / 1,2	1,200 / 0,465	10 200	230×656×310	7,0	Три инжектора; 24 плитки
3616-00	130 / 300	1,7 / 1,1	0,680 / 0,126	5 700	92×720×251	3,7	Два инжектора; металлическая сетка

Примечание. В числителе приведены данные для природного газа, в знаменателе — для сжиженного.

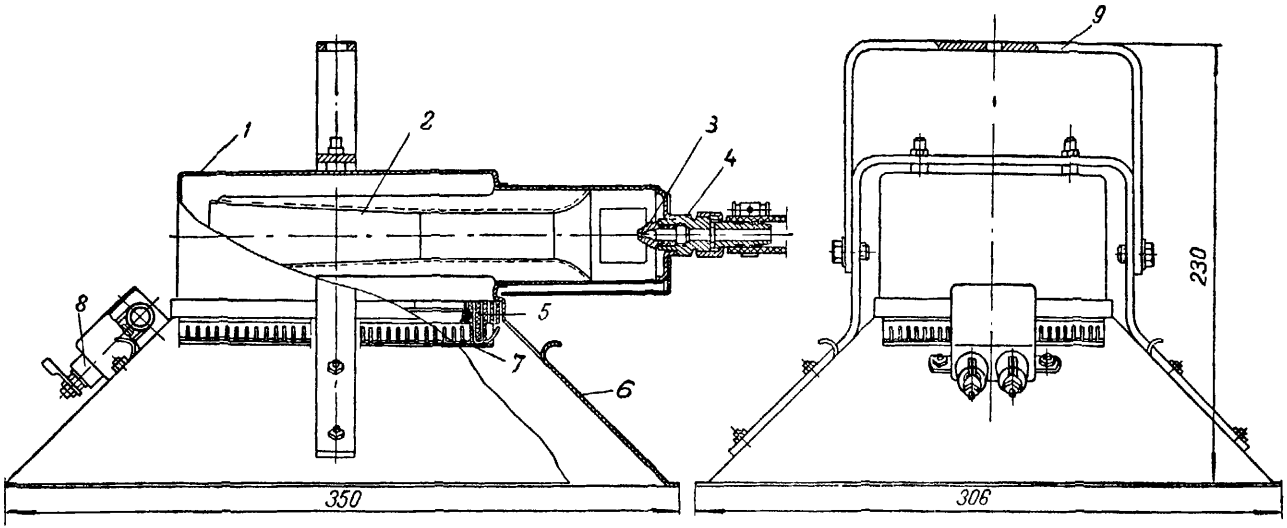


Рис. 22. Горелка инфракрасного излучения Мосгазпроекта.

1 — корпус; *2* — смеситель; *3* — газовое сопло; *4* — штуцер; *5* — керамика; *6* — рефлектор; *7* — жаропрочная сетка; *8* — электрозапал; *9* — скоба.

форовых втулках прикреплена жаропрочная хромоникелевая сетка с диаметром проволок 1,2 *мм*. Она служит стабилизатором и является источником излучения. При температуре керамики 950° С сетка нагревается примерно до 750° С.

Рефлектор горелки цельноштампованный, крепится к корпусу с помощью планки на четырех винтах. С наружной стороны к рефлектору прикреплен электрозапал для розжига горелки. Спираль электрозапала изготовлена из нихромовой проволоки и крепится к клеммам, установленным в корпусе на фарфоровых втулках.

Разработкой конструкций инжекционных горелок занимается специальное конструкторское бюро «Газприборавтоматика» Министерства газовой промышленности СССР. Горелки по чертежам СКБ выпускает калининградский завод.

Горелка инфракрасного излучения КГ-3 рассчитана на номинальную тепловую нагрузку 4250 *ккал/ч*. Для природного газа с давлением 130 *мм вод. ст.* устанавливается газовое сопло диаметром 1,6 *мм*, а для сжиженного газа с давлением 300 *мм вод. ст.* — диаметром 1,1 *мм*. Керамический насадок горелки состоит из 12 плиток. Над насадком размещена металлическая сетка. Размеры горелки 223 × 330 × 350 *мм*, вес — 3,0 *кг*.

Горелка монтируется стационарно (одиночно или группами) на опорных конструкциях. Для возможности использования этих горелок без стационарного монтажа выпускается передвижная установка ОП-2, работающая на сжиженном газе. Передвижная установка состоит из баллона емкостью 55 *л*, редуктора, горелки и тележки.

Газовые ветроустойчивые горелки инфракрасного излучения типа ГИИВ-1 и ГИИВ-2 (рис. 23) предназначены для обогрева рабочих мест, отдельных предметов и тепловой обработки материалов, расположенных на открытых площадках, которые подвержены воздействию ветра.

Корпус горелок состоит из двух штампованных деталей, сваренных контактной сваркой. В сборе корпус образует две полости: газо-воздушный смеситель и распределительную камеру. В корпусе установлена крестовина, в которую вворачиваются газовое сопло и штуцер для присоединения газопроводящего шланга. Излучатель из 10 плиток установлен в специальной рамке, которая соединена с корпусом. Над излучателем установлена с помощью двух рамок жаропрочная металлическая сетка.

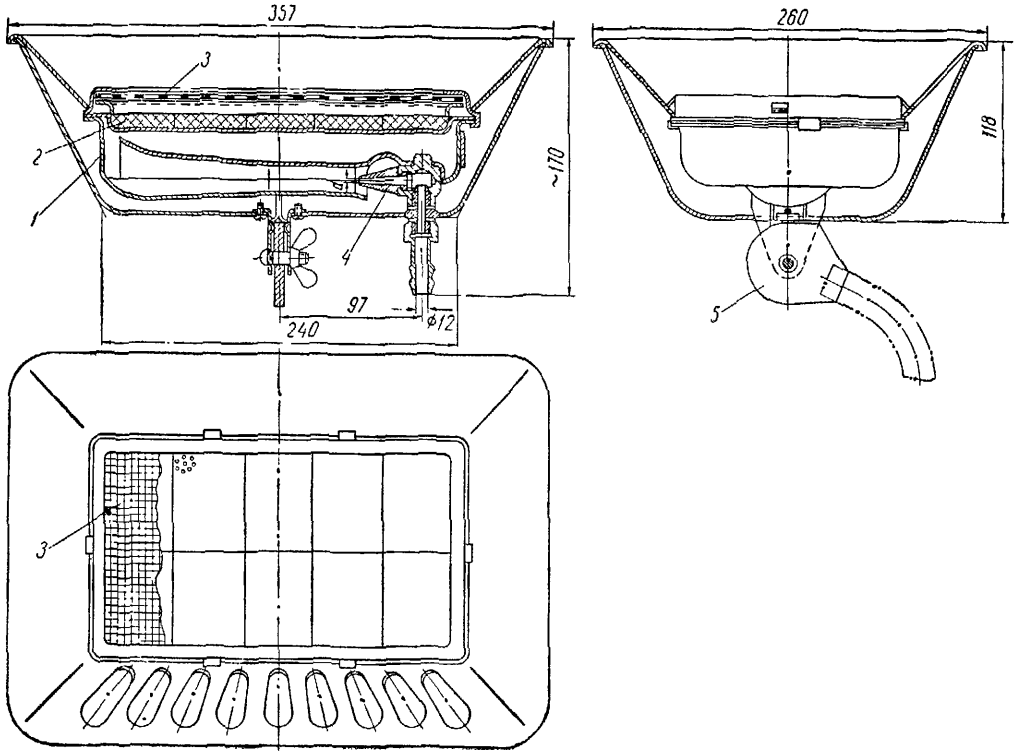


Рис. 23. Горелка инфракрасного излучения ГИИВ-1.

1 — корпус; *2* — керамические плитки; *3* — сетка; *4* — сопло; *5* — кронштейн

Для защиты от ветра и осадков горелки оборудованы специальным кожухом и рефлектором. В рефлекторе имеются прорези, которые соединяют пространство над плитками с инжекторной полостью. Порывы ветра, таким образом, создают одинаковое давление в обеих полостях и не влияют на инжекцию воздуха, т. е. не вызывают падения коэффициента избытка воздуха, что наблюдается при работе обычных горелок ГИИ на ветру.

Для крепления горелки к различным конструкциям служит кронштейн. В табл. 14 приведены основные характеристики горелок ГИИВ-1 и ГИИВ-2.

Таблица 14

Технические характеристики горелок инфракрасного излучения ГИИВ-1 и ГИИВ-2 (рис. 23)

Технические данные	ГИИВ-1		ГИИВ-2	
	На природном газе	На сжиженном газе	На природном газе	На сжиженном газе
Тепловая нагрузка, *ккал/ч*:				
максимальная	4500	4000	9000	8000
минимальная	2400	2200	4800	4400
Расход газа, *м³/ч*:				
максимальная нагрузка	0,53	0,18	1,06	0,36
минимальная нагрузка	0,28	0,10	0,56	0,20
Давление газа, *мм вод. ст.*:				
максимальное	250	500	250	500
минимальное	70	150	70	150
Диаметр газового сопла, *мм*	1,7	1,1	2,4	1,6
Температура поверхности керамики при максимальной нагрузке, °С	920	900	920	900
Максимальная скорость ветра, при которой гарантируется работа горелки, *м/сек*:				
при максимальной нагрузке	5,5	5,5	5,5	5,5
при минимальной нагрузке	3,0	3,0	3,0	3,0
Количество керамических плиток, шт.	10		20	
Габаритные размеры горелки, *мм*	357×260×118		550×240×102	
Вес, *кг*	3,2		4,7	

Примечание. Размеры плиток — 65×45×12 *мм*, диаметр отверстий плиток — 1 *мм*.

Газовая блочная горелка инфракрасного излучения ГИИБЛ по своей конструкции и характеристикам аналогична горелке ГИИВ-1. Горелка представляет собой элемент, позволяющий компоновать панели (блоки) инфракрасного излучения различных форм и размеров. Это особенно необходимо для сушки изделий с большими поверхностями (например, гипсоцементные панели и др.). В последнее время СКБ «Газприборавтоматика» разработана горелка инфракрасного излучения типа «звездочка» для отопления закрытых вентилируемых помещений с высотою потолка до 3,5 *м*. Горелка работает на природном и сжиженном газах. Характеристики горелки приведены в табл. 15.

Таблица 15

Технические характеристики горелки инфракрасного излучения типа «звездочка»

Технические данные	На природном газе ($Q_н = 8500$ *ккал/м³*)	На сжиженном газе ($Q_н = 22\,000$ *ккал/м³*)
Тепловая нагрузка, *ккал/ч*:		
максимальная	2700	2400
минимальная	1550	1300
Расход газа, *м³/ч*:		
максимальная нагрузка	0,32	0,11
минимальная нагрузка	0,18	0,06
Давление газа, *мм вод. ст.*:		
максимальное	160	400
минимальное	50	120
Диаметр газового сопла, *мм*	1,60	1,05
Температура поверхности и керамики при максимальной нагрузке, °С	920	900
Габаритные размеры горелки, *мм*	230×175×120	
Вес, *кг*	1,0	

Горелки специального назначения

Для выполнения различных технологических операций в промышленности широко используются горелки специального назначения: паяльные, стеклодувные, запальные и др.

Применявшиеся до последнего времени паяльные горелки были рассчитаны для работы на смеси воздуха со

светильным газом или ацетиленом с добавлением кислорода. Широкое внедрение природного и сжиженного газов в промышленность поставило вопрос о создании паяльных горелок для высококалорийных газов.

Ниже рассматриваются конструкции паяльных газовых горелок, работающих на природном и сжиженном газах среднего и низкого давления без добавления кислорода. Указанные горелки хорошо зарекомендовали себя в некоторых производственных организациях г. Ленинграда и могут быть использованы при паяльных работах.

Для пайки крупных изделий и лужения используется паяльная инжекционная горелка конструкции Ленгипроинжпроекта. Горелка (рис. 24) конструктивно не отличается от обычных инжекционных горелок среднего давления с кольцевыми стабилизаторами, описанных ранее. Горелка работает устойчиво при давлении природного газа от 500 до 9000 *мм вод. ст.* при $\alpha_г = 1{,}0$. Устойчивая работа горелки (без отрыва и проскока) в широком диапазоне позволила отказаться от воздушной регулировочной шайбы, что упростило ее конструкцию и эксплуатацию.

При номинальном давлении газа 3000 *мм вод. ст.* тепловая нагрузка горелки составляет 33 150 *ккал/ч*, что соответствует расходу природного газа 3,9 $м^3/ч$. Для удобства пользования паяльная горелка имеет деревянную ручку — держатель. Общий вес горелки 1 *кг*. Для сжигания природного газа устанавливается сопло $d_с = 2{,}5$ *мм*, а для сжиженного газа — $d_с = 1{,}9$ *мм*. Горелка соединяется с газопроводом резиновым шлангом.

На рис. 25 показана паяльная горелка Ленгипроинжпроекта, работающая на природном и сжиженном газе низкого и среднего давления.

Горелка имеет «игольчатый» факел и применяется для пайки небольших изделий из черного и цветного металла.

Для уменьшения расхода сжатого воздуха горелка имеет инжекционное устройство. Остальной воздух, необходимый для полного сжигания газа, подается по специальной трубке. Количество инжектируемого воздуха зависит от состава и давления газа и составляет 15 ÷ 30% от теоретически необходимого для сжигания газа.

Образовавшаяся газо-воздушная смесь проходит через отверстия в конусном стабилизаторе. Стабилизатор имеет на боковой поверхности 8 рядов отверстий диаметром

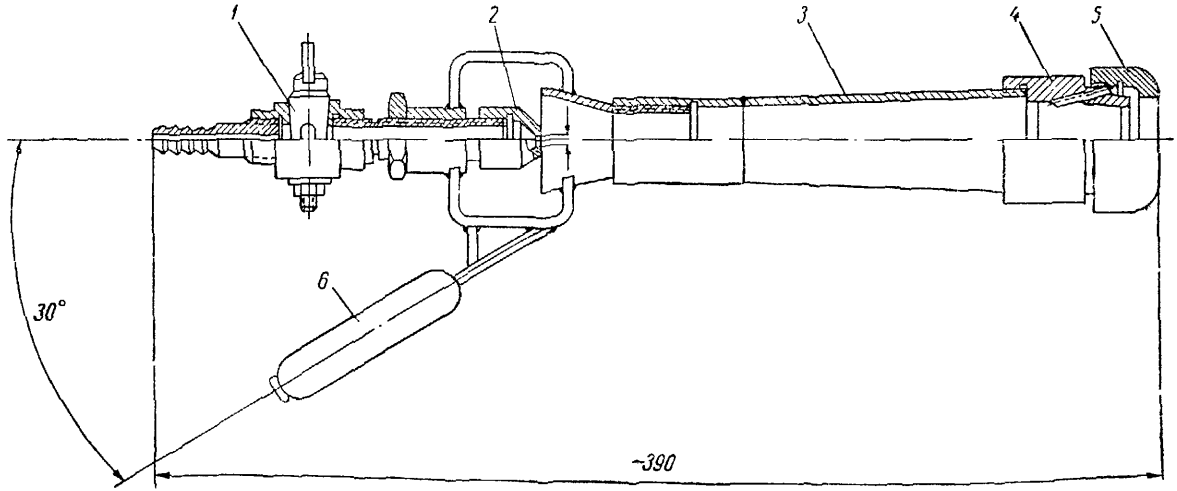


Рис. 24. Горелка среднего давления для пайки и лужения изделий.

1 — газовый кран; *2* — сопло; *3* — корпус горелки; *4* — насадок; *5* — кольцевой стабилизатор; *6* — ручка.

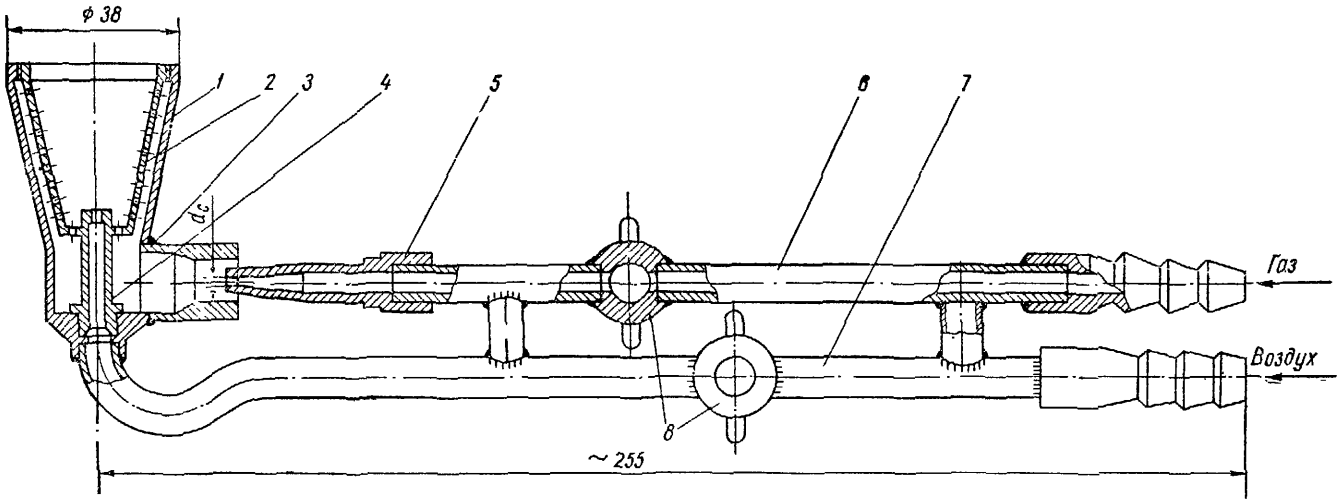


Рис. 25. Паяльная горелка Ленгипроцинкпроекта.

1 — насадок; *2* — стабилизатор; *3* — инжектор; *4* — ниппель; *5* — сопло; *6* — трубка для подвода газа; *7* — трубка для подвода воздуха; *8* — регулировочные краны.

1,2 *мм*, в каждом ряду по 12 отверстий, на торцевой поверхности 8 отверстий диаметром 3 *мм*.

Сжатый воздух поступает в конусный насадок через ниппель *4*, имеющий на торцевой поверхности 8 отверстий диаметром 0,5 *мм*. Кроме того, на боковой поверхности ниппеля имеется 2 отверстия диаметром 1,4 *мм*, через которые часть воздуха проходит в камеру, увеличивая количество воздуха в смеси, выходящей через отверстия в конусном насадке. Основной поток воздуха проходит через торцевые отверстия ниппеля, создавая острый «игольчатый» факел пламени. Расширяющийся насадок горелки увеличивает диапазон ее работы без отрыва пламени. Регулируя давление воздуха с помощью рабочего крана, можно менять форму факела и его температуру.

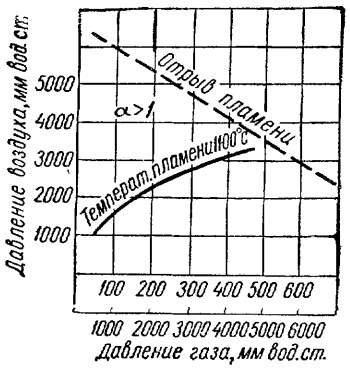


Рис. 26. График для определения необходимого давления газа и воздуха при работе паяльной горелки.

При температуре факела около 1100° С можно использовать для пайки следующие припои: оловянно-свинцовые типа ПОС, медно-цинковые типа ПМЦ, серебряные типа ПСр, нержавеющие и другие твердые припои с температурой плавления до 1100° С.

Применение сопел различных диаметров позволяет использовать горелку на разных по теплоте сгорания газах. При этом сохраняется постоянная температура пламени и размеры факела практически не изменяются. Для получения температуры пламени 1100° С горелка должна работать с коэффициентом избытка воздуха $\alpha_г \geqslant 1$, при этом следует поддерживать давление газа и воздуха в пределах, указанных на рис. 26.

Теплопроизводительность горелки сохраняется постоянной и составляет примерно 8500 *ккал/ч*. В табл. 16 приведены характеристики этой горелки. Горелка весит всего 0,5 *кг*.

Для нагрева паяльников, обмоток коллекторов электромоторов при их ремонте и других работах, где требуется местный нагрев до температуры ~900° С, можно применять инжекционную горелку среднего давления Укргипрогорпромгаза (рис. 27). Номинальное давление

Таблица 16

Техническая характеристика паяльной горелки с принудительной подачей воздуха (рис. 25)

Технические данные	Природный газ		Сжиженный газ	
Рабочее давление газа перед горелкой, *мм вод. ст.* . . .	50 ÷ 500	1000 ÷ 5000	50 ÷ 500	1000 ÷ 5000
Диаметр сопла, *мм*	1,75	1,00	1,30	0,80
Давление воздуха перед горелкой, *мм вод. ст.*	1000 ÷ 3300	1400 ÷ 3200	1000 ÷ 3400	1200 ÷ 3400
Расход газа при максимальном рабочем давлении, *м³/ч* . .	1,00	1,10	0,40	0,42
Приблизительная длина факела, *мм*	110 ÷ 350	150 ÷ 350	100 ÷ 350	150 ÷ 350

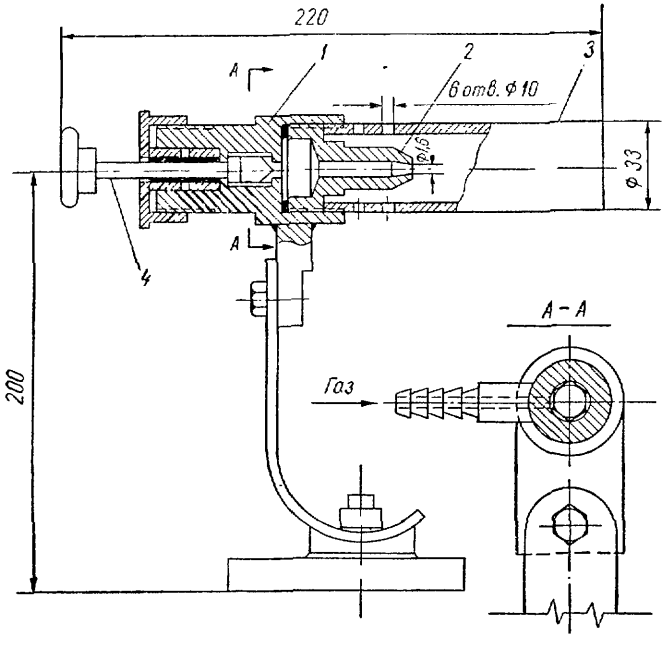


Рис. 27. Газовая горелка Укргипрогорпромгаза для нагрева паяльников.

1 — корпус горелки; *2* — сопло; *3* — камера смешения; *4* — шток с иглой.

газа 3000 *мм вод. ст.* Горелка устойчиво работает при давлении от 700 до 7000 *мм вод. ст.* Номинальная тепловая нагрузка горелки 13 600 *ккал/ч*. Диаметр сопла горелки для сжигания газа с $Q_н = 8500$ *ккал/м*^{3} — 1,6 *мм*. Горелка с подставкой весит 1,2 *кг*.

Для стеклодувных работ применяются разработанные Мосгазпроектом переносные горелки. Горелка (рис. 28) состоит из наружной трубки и внутренней, которая свободно перемещается в специальных направляющих. Шарнирная подставка, на которой укреплена горелка, позволяет удобно использовать ее в работе. Газ подается либо по центральной трубке, либо по кольцевому каналу между наружной и внутренней трубками. Воздух также подается либо по центру, либо с периферии. При подаче газа по центру пламя получается длинным и вялым. При подаче газа с периферии получается жесткое пламя. Воздействовать на структуру факела можно и установкой в центральной трубке стеклянных капилляров разной длины и площади. Кроме того, перемещение центральной трубки относительно наружной также помогает получать факел нужной конфигурации и размеров. В табл. 17 приведены характеристики двух типоразмеров этих горелок.

Таблица 17

Горелки Мосгазпроекта для стеклодувных работ с принудительной подачей воздуха (рис. 28)

Характеристики и размеры горелки	Обозначение горелки	
	3183-00	3182-00
Тепловая нагрузка, *ккал/ч*	6000	12 500
Номинальное давление, *мм вод. ст.*	130/300	130/300
Расход газа, *м*^{3}*/ч*	0,70/0,27	1,50/0,55
Диаметр газовых отверстий, *мм*	1,5/1,0	2,0/1,3
Количество отверстий для выхода газа, шт.	3/2	4/3
Номинальное давление воздуха, *мм вод. ст.*	1500	1500
Размеры, *мм*:		
L	176	286
h	130	195
D	80	170
Вес, *кг*	1,1	4,2

Примечание. В числителе указаны данные при $Q_н =$ $= 8500$ *ккал/м*^{3}, в знаменателе — при $Q_н = 22\,000$ *ккал/м*^{3}.

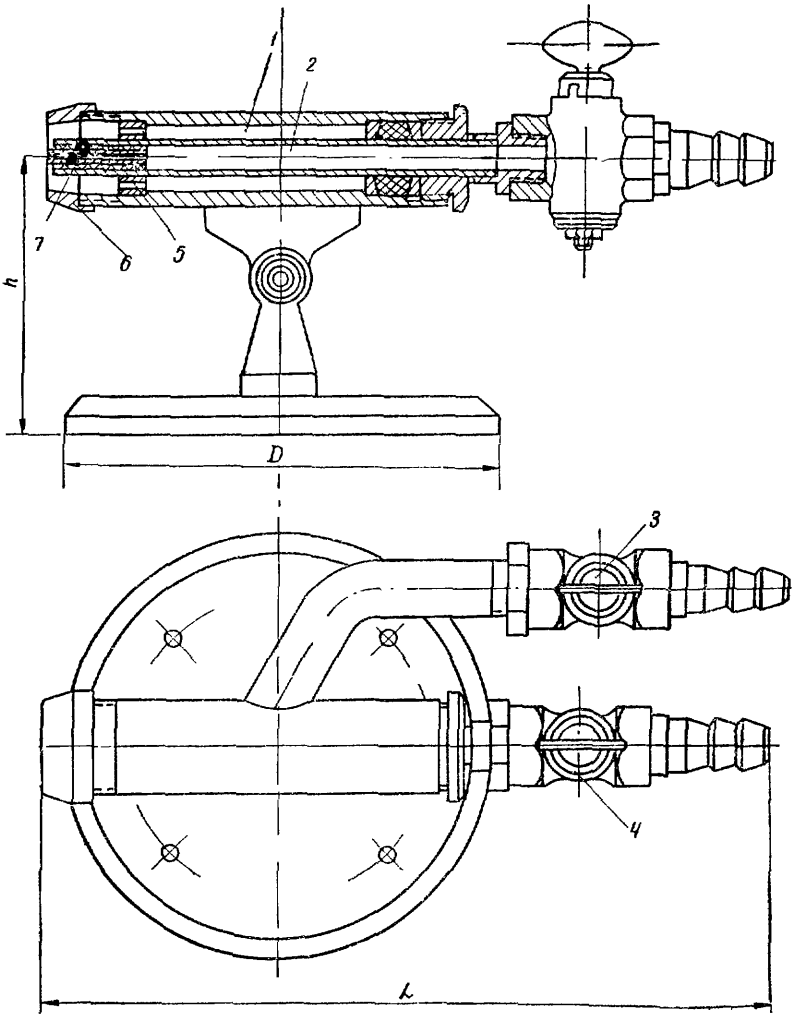


Рис. 28. Горелка для стеклодувных работ с принудительной подачей воздуха Мосгазпроекта.

1 — наружная трубка; *2* — центральная трубка; *3, 4* — краны для регулирования подачи газа и воздуха; *5* — диск с отверстиями; *6* — насадок; *7* — сменные капиллярные трубки.

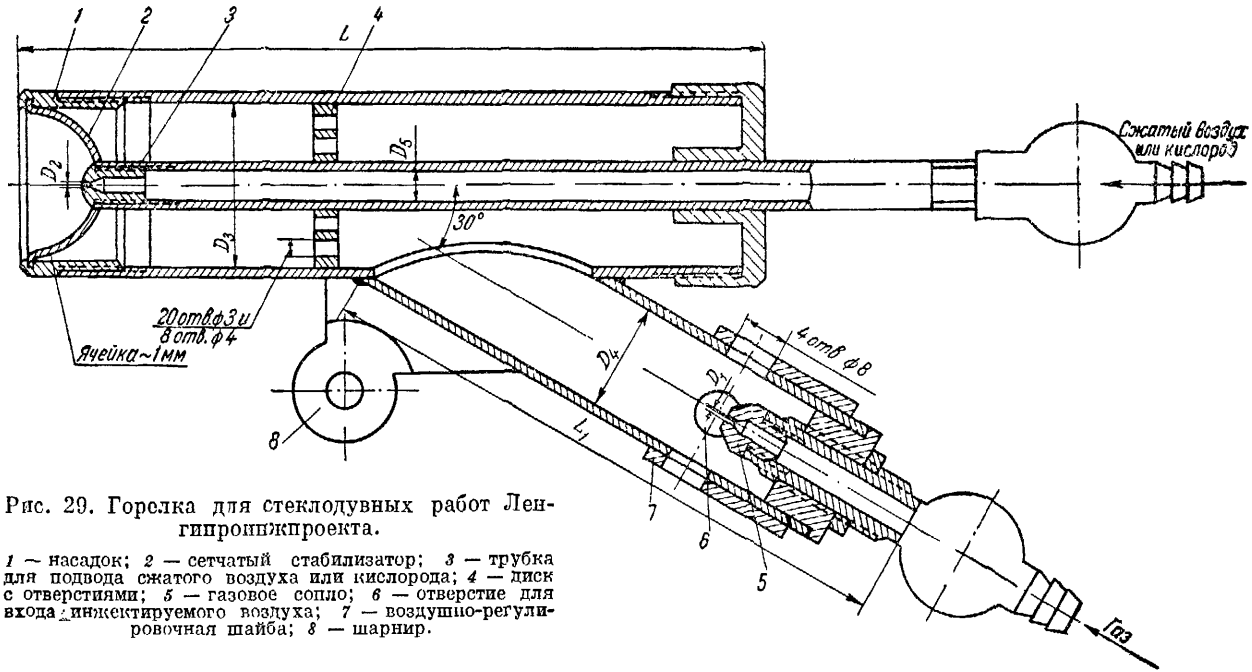


Рис. 29. Горелка для стеклодувных работ Ленгипроинжпроекта.

1 — насадок; *2* — сетчатый стабилизатор; *3* — трубка для подвода сжатого воздуха или кислорода; *4* — диск с отверстиями; *5* — газовое сопло; *6* — отверстие для входа инжектируемого воздуха; *7* — воздушно-регулировочная шайба; *8* — шарнир.

Стеклодувная горелка несколько иной конструкции, разработанная Ленгипроинжпроектом, показана на рис. 29. Воздух в горелку движется двумя потоками. Часть воздуха (около 50%) инжектируется за счет энергии струи газа, остальной воздух подается под давлением по центральной трубке в огневой насадок. Изменением количества подаваемого в горелку газа и воздуха получают пламя различной температуры и конфигурации. Для стабилизации горения в насадке установлена латунная сетка в виде полусферы с размерами ячеек 1 × 1 *мм*.

При работе с тугоплавким стеклом необходимо увеличить температуру факела. Это достигается подачей по центральной трубке вместо воздуха технического кислорода. Характеристики работы двух типов этих горелок на сжиженном газе приведены в табл. 18. При соответствующем изменении размеров горелки могут работать и

Таблица 18

Горелки для стеклодувных работ Ленгипроинжпроекта (рис. 29)

Технические данные	Тип горелки	
	Большая модель	Малая модель
Тепловая нагрузка, *ккал/ч*	12 400	6300
Номинальное давление сжиженного газа, *мм вод. ст.*	300	300
Расход газа, *м³/ч*	0,57	0.29
Температура факела при воздушном дутье, °С	1050	1050
Температура факела при кислородном дутье, °С	1300	1300
Допустимые колебания давления газа, *мм вод. ст.*	100 ÷ 2000	100 ÷ 2000
Максимальное давление воздуха, *мм вод. ст.*	8000	8000
Максимальное давление кислорода, *мм вод. ст.*	4000	4000
Длина факела, *мм*	40 ÷ 900	30 ÷ 600
Диаметр факела, *мм*	7 ÷ 100	4 ÷ 60
Основные размеры, *мм*:		
D_1	2,1	1,5
D_2	1,6	1,4
D_3	32,5	24,0
D_4	24,0	20,0
D_5	8,0	8,0
L	160	150
L_1	120	120

на природном газе. Для удобства пользования горелка укрепляется на подставке с шарниром.

Для зажигания газовых горелок получили распространение инжекционные запальные горелки (запальники). Ленгипроинжпроектом разработано 10 типоразмеров инжекционных запальников на природный и сжиженный газ среднего и низкого давления для топок, работающих с раз-

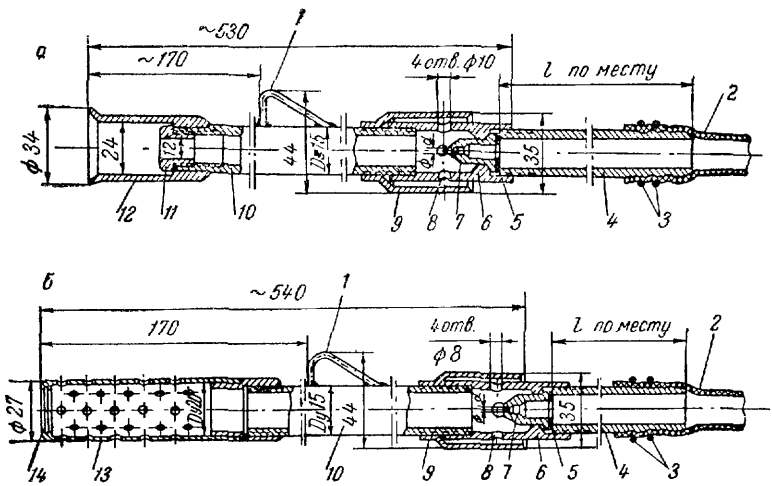


Рис. 30. Инжекционная однофакельная *а* и многофакельная *б* запальные горелки для топок с разрежением.

1 — крючок; *2* — шланг; *3* — крепление шланга проволокой; *4* — рукоятка; *5* — прокладка; *6* — корпус инжектора; *7* — сопло; *8* — отверстия для входа инжектируемого воздуха; *9* — обойма; *10* — патрубок; *11* — насадок; *12* — защитный кожух; *13* — перфорированный насадок; *14* — заглушка.

режением и противодавлением. Кроме того, для топок с противодавлением разработано два типоразмера запальных горелок с принудительной подачей воздуха. Все запальники хорошо зарекомендовали себя в работе.

На рис. 30 показан инжекционный запальник, разработанный Ленгипроинжпроектом (2 типа). Сопло запальника зажимается между корпусом инжектора и удлинителем. В корпусе инжектора сделаны 4 отверстия, через которые поступает первичный воздух. Обойма с открытым концом, направленным навстречу воздушному потоку в запальном отверстии топки, позволяет использовать динамический напор воздушной струи для повышения инжектирующей способности запальника.

Насадок однофакельного запальника помещен в защитный кожух, предохраняющий корень факела от срыва воздушным потоком при внесении запальника через запальное отверстие в топку.

Запальник обеспечивает надежное зажигание горелки, создавая устойчивый факел при разрежении в топке до 8 ÷ 10 *мм вод. ст.* Основные характеристики однофакельных запальников даны в табл. 19.

Аналогичную конструкцию имеют многофакельные запальники, только насадок у них выполнен в виде цилиндрического кожуха с отверстиями на боковой поверхности. Поэтому пламя у этих запальников состоит из мелких факелов по всему периметру насадка (табл. 20).

Запальник соединяется с газопроводом гибким шлангом. На газопроводе перед запальником устанавливается вентиль или кран. Общая длина запальника может быть изменена за счет трубы-удлинителя. Для подвески запальник снабжен специальным крючком.

На рис. 31 показан однофакельный инжекционный запальник, предназначенный для зажигания газовых горелок среднего давления, работающих на природном, смешанном и сжиженном газах в топках с противодавлением.

Инжекционное устройство запальника позволяет получать газо-воздушную смесь с коэффициентом избытка воздуха до $\alpha \approx 1{,}3$. В насадке запальника установлен стабилизатор, который при избытке воздуха $\alpha = 0{,}85$ и более создает огневое кольцо, стабилизирующее горение основного факела.

При внесении запальника с полностью открытым инжектором в запальное отверстие топки с противодавлением до +2,5 *мм вод. ст.* коэффициент избытка воздуха снижается до $\alpha = 1{,}0 \div 1{,}1$, несмотря на это обеспечивается надежное горение запальника даже при отсутствии воздуха в топке, т. е. в атмосфере продуктов сгорания. Основные характеристики запальников для топок, работающих с противодавлением, приведены в табл. 21.

При использовании газа низкого давления для топок с противодавлением до +3,0 *мм вод. ст.* применяют однофакельные запальники с принудительной подачей воздуха (рис. 32). По конструкции огневого насадка этот запальник не отличается от рассмотренного ранее запальника среднего давления для топок с противодавлением. Подача газа осуществляется через сопло, установленное внутри бокового патрубка тройника-смесителя. Воздух

Таблица 19

Однофакельные инжекционные запальники для топок с разрежением (рис. 30, *а*)

Номер запальника	Теплота сгорания газа, *ккал/м³*	Рекомендуемое давление газа, *мм вод. ст.*	Тепловая нагрузка при максимальном давлении, *ккал/ч*	Диаметр сопла, *мм*	Разрежение в топке, *мм вод. ст.*	Длина факела, *мм*
1	6 500 ÷ 8 500	50 ÷ 500	8500	2,20	0,5 ÷ 8,0	200 ÷ 350
2	6 500 ÷ 8 500	1 000 ÷ 10 000	8500	1,25	0.5 ÷ 10,0	200 ÷ 350
3	22 000 ÷ 24 000	100 ÷ 500	8400	1,25	0,5 ÷ 8,0	250 ÷ 400
4	22 000 ÷ 24 000	1 000 ÷ 10 000	8400	0,85	0,5 ÷ 10.0	250 ÷ 400

Примечание. Каждый запальник имеет 4 отверстия для воздуха диаметром 10 *мм*.

Таблица 20

Многофакельные инжекционные запальники для топок с разрежением (рис. 30, *б*)

Номер запальника	Теплота сгорания газа, *ккал/м³*	Рекомендуемое давление газа, *мм вод. ст.*	Тепловая нагрузка при максимальном давлении, *ккал/ч*	Диаметр сопла, *мм*	Кол-во и диаметр отверстий для воздуха	Разрежение в топке, *мм вод. ст.*	Размеры факелов, *мм*	
							длина	диаметр
5	6 500 ÷ 8 500	50 ÷ 500	11 500	2,50	4, ∅8	0,5 ÷ 5,0	40 ÷ 170	60 ÷ 110
6	6 500 ÷ 8 500	1 000 ÷ 10 000	11 500	1,25	4, ∅5	0,5 ÷ 5.0	60 ÷ 150	100 ÷ 180
7	22 000 ÷ 24 000	100 ÷ 500	18 000	2,00	4, ∅8	0,5 ÷ 6,0	80 ÷ 170	60 ÷ 110
8	22 000 ÷ 24 000	1 000 ÷ 10 000	18 000	1,00	4, ∅5	0,5 ÷ 6.0	100 ÷ 180	80 ÷ 120

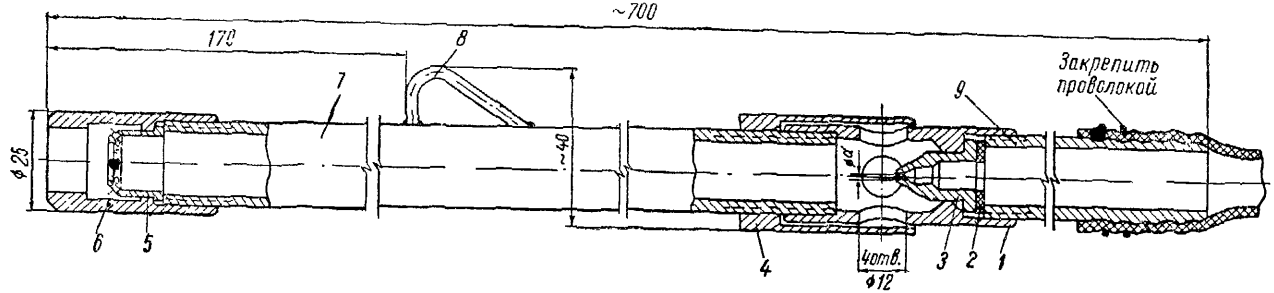


Рис. 31. Инжекционный запальник для топок с противодавлением.

1 — корпус инжектора; *2* — прокладка; *3* — сопло; *4* — заслонка инжектора; *5* — стабилизатор; *6* — насадок; *7* — патрубок; *8* — крючок; *9* — рукоятка.

Таблица 21

Однофакельные инжекционные запальники для топок с противодавлением (рис. 31)

Технические данные	Номер запальника	
	9	10
Теплота сгорания газа, *ккал/м³*	6 500 ÷ 8 500	22 000 ÷ 24 000
Рекомендуемое давление газа, *мм вод. ст.*	2 000 ÷ 10 000	2 000 ÷ 10 000
Тепловая нагрузка при максимальном давлении газа, *ккал/ч*	3800	6000
Диаметр газового сопла, *мм*	0.55	0.28
Примерная длина факела, *мм*	100	130
Допустимое противодавление (разрежение) в топке, *мм вод. ст.*	+2.5 ÷ —1,5	+2,0 ÷ —1,5

Примечание. Запальники имеют 4 отверстия для воздуха диаметром 12 *мм*.

подводится в основной патрубок тройника по гибкому шлангу с внутренним диаметром не менее 15÷20 *мм*. Рабочая длина запальника от устья до тройника (500 *мм*) может быть увеличена при его изготовлении за счет удлинения основного патрубка тройника. В табл. 22 приведены характеристики работы запальника на природном и сжиженном газах.

Таблица 22

Однофакельные запальники с принудительной подачей воздуха для топок с противодавлением (рис. 32)

Технические данные	Номер запальника	
	11	12
Теплота сгорания газа, *ккал/м³*	6500 ÷ 8500	22 000 ÷ 24 000
Рекомендуемое давление газа, *мм вод. ст.*	100 ÷ 500	150 ÷ 500
Давление воздуха, *мм вод. ст.*, не менее	80	80
Тепловая нагрузка при максимальном давлении газа, *ккал/ч*	3800	6000
Диаметр газового сопла, *мм*	1,4	0.8
Примерная длина факела, *мм*	100	120
Допустимое противодавление (разрежение) в топке, *мм вод. ст.*	+3,0 ÷ —1,0	+3,0 ÷ —1,0

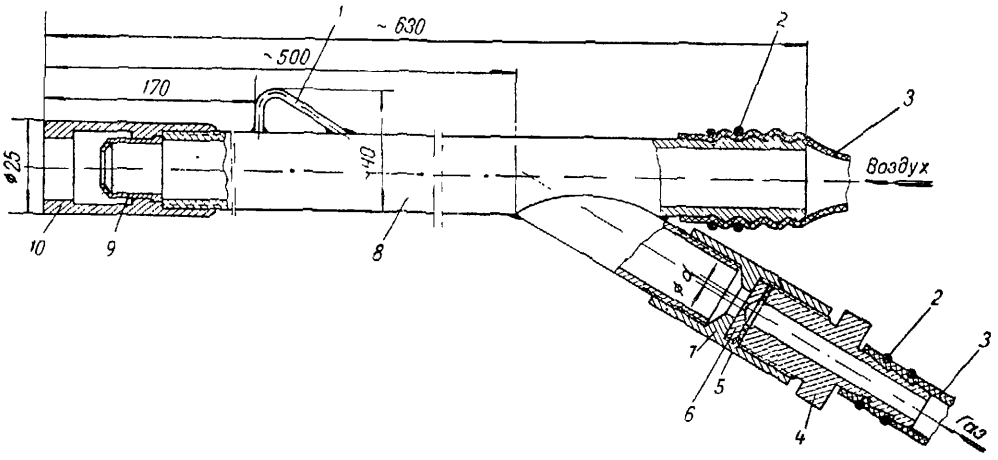


Рис. 32. Однофакельный запальник с принудительной подачей воздуха для топок с противодавлением.

1 — крючок; *2* — крепление шланга проволокой; *3* — шланг; *4* — штуцер; *5* — прокладка; *6* — сопло; *7* — муфта; *8* — патрубок-смеситель; *9* — стабилизатор; *10* — насадок.

Горелки промышленных агрегатов

В последнее время при переводе на газообразное топливо агрегатов, имеющих слоевой способ сжигания твердого топлива, все более широкое применение находят горизонтальные (подовые) щелевые горелки. По своей конструкции они очень просты. На колосниковой решетке выкладывается из огнеупорного кирпича щель, в которой устанавливается труба диаметром $1^1/_2 \div 2^1/_2''$. Труба заваривается с торца, и на ней сверлятся два ряда отверстий диаметром $2 \div 4$ *мм* с углом между рядами от 90 до 180°. Отверстия располагаются обычно в шахматном порядке с шагом между ними от 5 до 10 диаметров.

Воздух, необходимый для горения, подается под колосниковую решетку либо принудительно — от вентилятора, либо естественно — за счет разрежения в топке.

Различными организациями созданы модификации горелок этого типа.

Укргипрогорпромгазом разработана конструкция подовой горелки низкого давления для установки в секционных котлах, сушилах и других тепловых агрегатах, работающих с разрежением в топке, для которых резервным топливом служит уголь.

Горелка (рис. 33) состоит из газового коллектора с двумя рядами отверстий, расположенных в шахматном порядке, щели из огнеупорного кирпича, опор, перфорированного листа для равномерного подвода воздуха.

Для нормальной работы горелки минимальное разрежение в топке на высоте 1 *м* над горелкой должно составлять $1{,}5 \div 2{,}0$ *мм вод. ст.* При меньших значениях разрежения наблюдается неполное сжигание газа из-за недостатка воздуха. Коэффициент избытка воздуха в топке $\alpha = 1{,}25 \div 1{,}35$. Скорость воздуха в щели не должна превышать $2 \div 2{,}5$ *м/сек*. Минимальное давление газа перед горелкой 20 *мм вод. ст.* Номинальное давление газа — 130 *мм вод. ст.* Разработаны типоразмеры этой горелки с расходом газа от 5 до 75 $м^3/ч$. В табл. 23 приведены основные характеристики этих горелок.

Для установки в топках секционных котлов и других агрегатов может применяться подовая одноколлекторная многощелевая горелка, разработанная Ленгипроинжпроектом. Горелка рассчитана на сжигание природного газа низкого давления. Воздух, необходимый для горения, поступает в горелку за счет разрежения в топке. Для

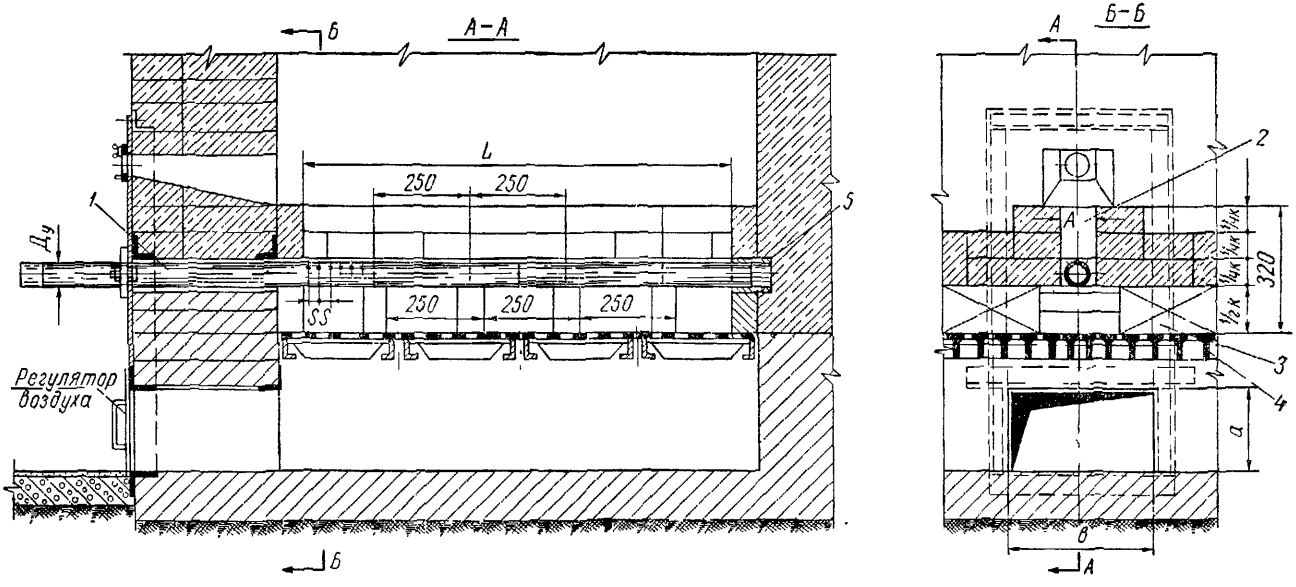


Рис. 33. Подовая горелка низкого давления Укргипрогорпромгаза.

1 — газовый коллектор; *2* — щель; *3* — опоры; *4* — колосниковое полотно (перфорированный лист); *5* — центрующий стакан.

Таблица 23

Технические характеристики подовых горелок низкого давления Укргипрогорпромгаза (рис. 33)

Тип горелки	Номинальная тепловая нагрузка, *ккал/ч*	Расход газа, $м^3/ч$, при $Q_н = 8500$ *ккал*/$м^3$	Диаметр газового коллектора $D_у$, *мм*	Диаметр газовыходных отверстий, *мм*	Ширина щели A, *мм*	Длина щели L, *мм*	Площадь сечения для подода воздуха, $м^2$	Количество газовыходных отверстий, шт.
ПГ-Н-5	42 500	5	25	1,4	90	220	0,010	26
ПГ-Н-7	59 500	7	25	1,4	90	300	0,014	38
ПГ-Н-10	85 000	10	25	1,4	90	400	0.020	52
ПГ-Н-15	127 500	15	40	1,4	110	580	0.030	76
ПГ-Н-20	170 000	20	40	1,4	110	760	0 040	100
ПГ-Н-35	297 500	35	40	1,4	110	1320	0.070	174
ПГ-Н-50	425 000	50	50	1,6	120	1720	0,100	170
ПГ-Н-75	637 500	75	50	1,6	120	2550	0,150	254

Примечание. Шаг между отверстиями для горелок ПГ-Н-5 ÷ ПГ-Н-35—15 *мм*, для горелок ПГ-Н-50 и ПГ-Н-75—20 *мм*.

нормальной работы горелки за котлом должно обеспечиваться разрежение не ниже 5 *мм вод. ст.*

Газовый коллектор горелки выполнен из трубы диаметром 48 *мм* с двумя рядами отверстий, расположенными под углом 90° относительно друг друга. Футеровка щели выполнена таким образом, что сверху она перекрыта тремя рядами кирпича, образующими четыре щели для выхода газо-воздушной смеси. В результате факел разбит на четыре отдельных факела, чем достигается сокращение его длины [Эстеркин, Цыпин, 1964].

В результате испытания многощелевой горелки (табл. 24) выявлено, что теплотехнические показатели работы котла улучшаются по сравнению с работой однощелевой горелки. Наблюдается повышение к. п. д. котла на 3 ÷ 5% за счет снижения температуры уходящих газов и уменьшения оптимального коэффициента избытка воздуха.

Разработаны шесть типоразмеров горелки на номинальное давление газа 100 *мм вод. ст.* Минимальное давление газа — 15 *мм вод. ст.* В табл. 25 приведены основные характеристики этих горелок.

Таблица 24

Показатели работы многощелевой одноколлекторной подовой горелки на котле НРч-25
(результаты испытаний)

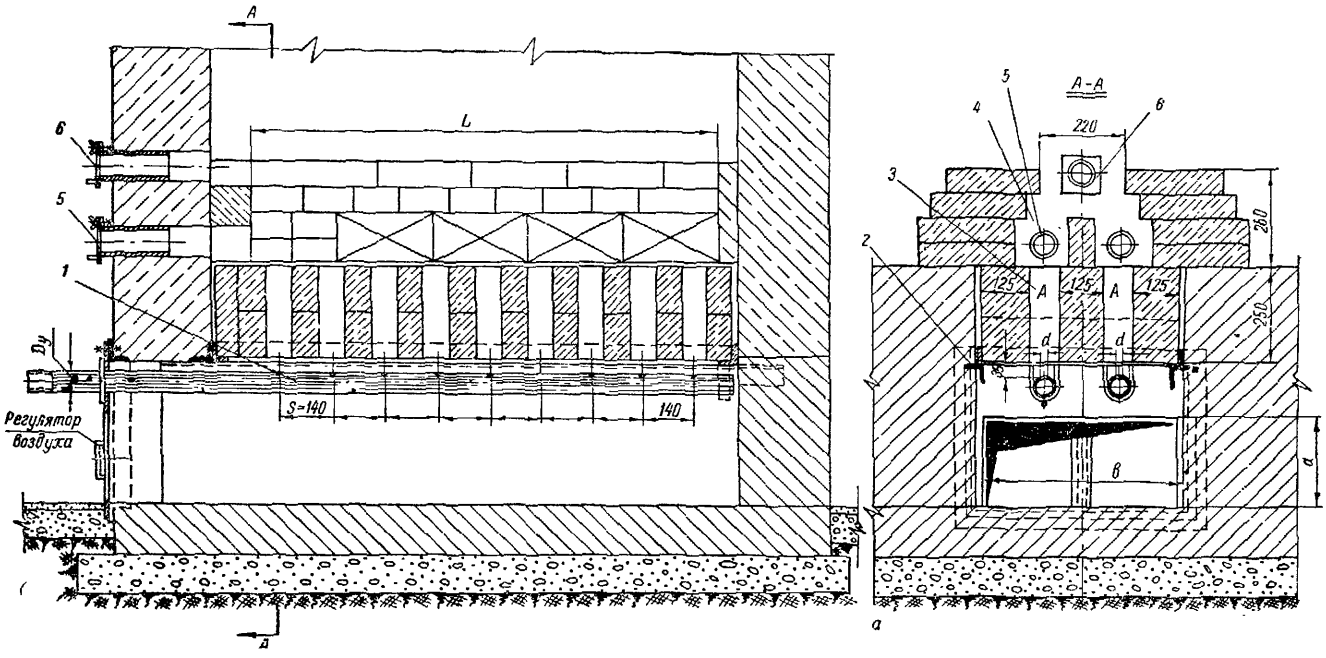
Характеристики	Паропроизводительность котла от номинальной, %			
	60	80	100	120
Расход газа на котел, $м^3/ч$	26	37	45	56
Давление газа перед горелкой, *мм вод. ст.*	27	50	71	110
Коэффициент избытка воздуха за котлом	1,46	1,35	1,22	1,41
Температура уходящих газов, °С	118	138	174	208
Потери тепла, %:				
с уходящими газами	6,3	6,2	7,5	10,3
от химической неполноты горения	0	0	0,25	0
в окружающую среду	11,8	8,7	7,5	5,8
Коэффициент полезного действия котла, %	81,9	85,1	84,75	83,9

Таблица 25

Технические характеристики многощелевой одноколлекторной подовой горелки

Номинальная тепловая нагрузка, *ккал/ч*	Расход газа, $м^3/ч$, при $Q_н = 8500$ *ккал*/$м^3$	Диаметр газовыходных отверстий, *мм*	Шаг между отверстиями, *м.м*	Кол-во отверстий, шт.
264 000	31	2,0	16	85
374 000	44	2,2	19	98
580 000	68	2,2	16	166
655 000	77	2,2	17	186
730 000	86	2,2	17	208
810 000	95	2,2	18	230

Укргипрогорпромгаз разработал конструкцию инжекционной горелки (рис. 34) с индивидуальными керамическими смесителями и общим туннелем, которая названа «форкамерной». Горелка устанавливается на поду топки агрегата. Конструкция горелок низкого и среднего давления идентична. Горелка состоит из металлической трубы


А
L
6
5
1
Ду
Регулятор воздуха
S=140
140
Д
А-А
4
5
6
220
3
2
250
125
А
125
А
125
d
d
250
в
а
а

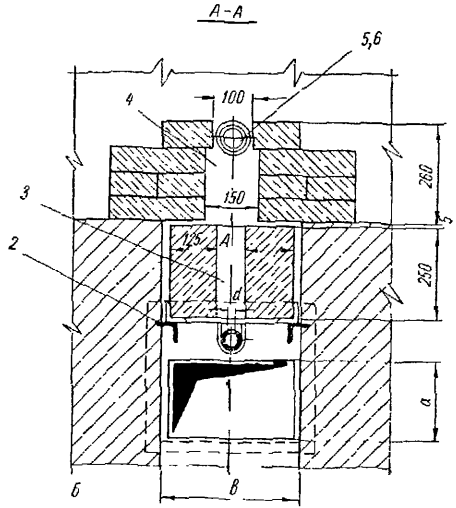


Рис. 34. Форкамерная горелка конструкции Укргипрогорпромгаза: *а* — низкого давления с двумя коллекторами; *б* — среднего давления с одним коллектором.

1 — газовый коллектор с соплами; *2* — опорная рама; *3* — керамический блок-смеситель; *4* — форкамера; *5* — отверстия для зажигания горелки; *6* — смотровое окно.

с одним рядом газовых отверстий (диаметр 3,0 ÷ 6,0 *мм*, шаг 140 *мм*), кирпичной огнеупорной кладки (моноблок), *образующей ряд каналов-смесителей и форкамеры* (туннеля) из огнеупорного кирпича. Моноблок выполнен из стандартного кирпича, высота и длина каналов-смесителей равны соответственно 250 и 75 *мм*, а ширина *определяется расчетом.*

Моноблок выкладывается на металлической раме, к которой крепится труба горелки, имеющая специальные направляющие штыри. Поступление воздуха для горения *осуществляется за счет инжектирующей способности струй* газа. В каналах-смесителях происходит смешение газа с воздухом, подогрев газо-воздушной смеси и зажигание на выходе из канала. Из каналов смесь поступает в общий огнеупорный туннель-форкамеру, где и происходит, в основном, сгорание газа.

Тепловое напряжение топочного объема может достигать на газе низкого давления до 550 тыс. *ккал/м³·ч* и на газе среднего давления — до 800 тыс. *ккал/м³ · ч*. Номинальное давление газа принимается 130 *мм вод. ст.* для низкого давления и 3000 *мм вод. ст.* для среднего давления.

Испытания форкамерных горелок низкого и среднего давления на секционных отопительных котлах (МГ-2, НР-18, «Энергия», «Универсал»), вертикально-цилиндрических (ВГД, ММЗ, ТМЗ) и котлах типа ДКВР показали, что при таком методе переоборудования котлов на газ могут быть достигнуты высокие теплотехнические показатели.

Зажигание форкамерной горелки производится инжекционным запальником. Факел подносится к первому смесителю горелки, а в остальных смесителях газ воспламеняется от соседних струй. Так как вся горелка размещена внутри агрегата, шум при работе форкамерных горелок меньше, чем при работе инжекционных, и не превышает 70 *дб*.

При разрежении в топке на высоте 1 *м* над горелкой не менее 0,5 *мм вод. ст.* она может работать без химического недожога при коэффициенте избытка воздуха $\alpha_г = 1{,}10 \div 1{,}15$. В табл. 26 приведены характеристики форкамерной горелки низкого давления.

Горелка среднего давления отличается только тем, что состоит из одного коллектора с отверстиями для выхода газа. Ее основные характеристики приведены в табл. 27. Номинальное давление газа 3000 *мм вод. ст.*, минимально

Таблица 26

Технические характеристики форкамерной горелки низкого давления с двумя коллекторами (рис. 34, *а*)

Тип горелки	Номинальная тепловая нагрузка, *ккал/ч*	Расход газа, $м^3/ч$, при $Q_н = 8500$ *ккал/м³*	Диаметр газового коллектора D_y, *мм*	Диаметр газовыходных отверстий, *мм*	Ширина смесителя *A*, *мм*	Длина форкамеры *L*, *мм*	Кол-во газовыходных отверстий, шт.	Площадь сечения для подвода воздуха, $м^2$
ГИФ-Н-15	127 500	15	32	4,7	80	420	3	0,0225
ГИФ-Н-20	170 000	20	40	4,7	80	560	4	0,0300
ГИФ-Н-35	297 500	35	50	5,5	80	700	5	0,0525
ГИФ-Н-50	425 000	50	60	5,6	100	1120	7	0,0750
ГИФ-Н-75	637 000	75	70	5,7	100	1400	10	0,1120
ГИФ-Н-100	850 000	100	80	5,8	100	1820	13	0,1500

Примечание. Номинальное давление газа — 130 *мм вод. ст.*, *минимальное — 20 мм вод. ст.*

допустимое — 100 *мм вод. ст.* При разрежении в топке на высоте 1 *м* над горелкой не менее 1,5 *мм вод. ст.* го-

Таблица 27

Технические характеристики форкамерной горелки среднего давления с одним коллектором (рис. 34, *б*)

Тип горелки	Номинальная тепловая нагрузка, *ккал/ч*	Расход газа, $м^3/ч$, при $Q_н = 8500$ *ккал/м³*	Диаметр газового коллектора *Dy*, *мм*	Диаметр газовыходных отверстий, *мм*	Ширина смесителя *A*, *мм*	Длина форкамеры *L*, *мм*	Кол-во газовыходных отверстий, шт.	Площадь сечения для подвода воздуха, $м^2$
ГИФ-С-15	127 500	15	15	3,1	70	420	3	0,0225
ГИФ-С-20	170 000	20	20	3,1	70	560	4	0,0300
ГИФ-С-35	297 500	35	25	3,7	70	700	5	0,0525
ГИФ-С-50	425 000	50	32	3,7	70	980	7	0,0750
ГИФ-С-75	637 000	75	32	3,9	70	1260	9	0,1120
ГИФ-С-100	850 000	100	40	4,3	110	1400	10	0,1500
ГИФ-С-150	1 275 000	150	50	4,9	110	1680	12	0,2250
ГИФ-С-200	1 700 000	200	50	5,2	110	1960	14	0,3000
ГИФ-С-250	2 125 000	250	70	5,3	110	2240	16	0,3750

релка работает без химического недожога при коэффициенте избытка воздуха $\alpha_т = 1{,}05 \div 1{,}1$.

Для установки в топках котлов и сушил предназначены подовые однотрубные и двухтрубные горелки низ-

кого и среднего давления с принудительной подачей воздуха конструкции Укргипрогорпромгаза.

Подовая однотрубная горелка низкого давления состоит из трубы с отверстиями для выхода газа, опор, перфорированного листа для равномерного распределения воздуха и щели из огнеупорного кирпича. Горелка полного предварительного смешения газа с воздухом ($\alpha_т \geqslant \geqslant 1{,}0$). Конструктивно не отличается от ранее упомянутой подовой горелки (рис. 33), только воздух в нее подается не за счет разрежения в топке, а от вентилятора. Номинальное давление газа 130 *мм вод. ст.*, воздуха — 25 *мм вод. ст.* Горелка работает без потерь тепла от химической неполноты сгорания при коэффициенте избытка воздуха в топке $\alpha = 1{,}15 \div 1{,}25$. Минимальное давление газа 20 *мм вод. ст.*, диапазон устойчивой работы горелки 1 : 2,5.

Аналогичную конструкцию имеет и горелка среднего давления. Номинальное давление газа 3000 *мм вод. ст.*, воздуха — 25 *мм вод. ст.* При коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1{,}15 \div 1{,}25$ обеспечивается полное сжигание газа в топке. Минимальное давление газа 100 *мм вод. ст.*, диапазон устойчивой работы 1 : 5,5.

Основные технические характеристики описанных выше горелок приведены в табл. 28 и 29.

Таблица 28

Технические характеристики подовых однотрубных горелок низкого давления с принудительной подачей воздуха

Тип горелки	Номинальная тепловая нагрузка, тыс. *ккал/ч*	Расход газа, *м³/ч*, при $Q_н = 8500$ *ккал/м³*	Диаметр трубы горелки, *мм*	Диаметр газовых отверстий, *мм*	Кол-во газовыходных отверстий, шт.	Длина щели, *мм*	Ширина щели, *мм*
ПГОД-Н-15	127	15	32	1,5	66	510	90
ПГОД-Н-20	170	20	40	1,5	88	680	100
ПГОД-Н-35	297	35	50	1,8	106	810	110
ПГОД-Н-50	425	50	50	1,8	136	1030	110
ПГОД-Н-75	637	75	80	2,2	144	1100	130
ПГОД-Н-100	850	100	80	2,2	194	1470	130

Двухтрубная подовая горелка низкого давления (рис. 35) состоит из двух труб с отверстиями для выхода газа, расположенными под углом 45°, опорной рамы

Таблица 29

Технические характеристики подовых однотрубных горелок среднего давления с принудительной подачей воздуха

Тип горелки	Номинальная тепловая нагрузка, тыс. *ккал/ч*	Расход газа, $м^3/ч$, при $Q_н = 8500$ *ккал/м³*	Диаметр трубы горелки, *мм*	Диаметр газовых отверстий, *мм*	Кол-во газовыходных отверстий, шт.	Длина щели, *мм*	Ширина щели, *мм*
ПГОД-С-50	425	50	50	1,50	46	480	100
ПГОД-С-75	637	75	50	1,55	68	700	100
ПГОД-С-100	850	100	50	1,60	80	820	100
ПГОД-С-150	1275	150	50	1,70	106	1080	100
ПГОД-С-200	1700	200	70	1,80	126	1280	120
ПГОД-С-250	2125	250	70	2,00	128	1300	120
ПГОД-С-300	2550	300	70	2,00	154	1560	120
ПГОД-С-500	4250	500	70	2,20	210	2120	120

с перфорированным листом для равномерного распределения воздуха и щели из огнеупорного кирпича. Горелка обеспечивает хорошее смешение газа с воздухом. Номинальное давление газа 130 *мм вод. ст.*, воздуха — 50 *мм вод. ст.* Минимальное давление газа 20 *мм вод. ст.* Коэффициент избытка воздуха в топке $\alpha = 1{,}15$. Характеристики горелки помещены в табл. 30.

Конструкция двухтрубной подовой горелки среднего давления с принудительной подачей воздуха не отличается от горелки низкого давления. Номинальное давление газа 3000 *мм вод. ст.*, воздуха — 50 *мм вод. ст.* Минимальное давление газа 100 *мм вод. ст.* В табл. 31 приведены технические характеристики этой горелки.

Инжекционные горелки, работающие на газе среднего давления, как правило, являются горелками полного предварительного смешения. Большим преимуществом этих горелок является возможность работы без принудительной подачи воздуха. Отпадает необходимость в установке вентилятора, и экономится электроэнергия. Горелки могут работать с малыми коэффициентами избытка воздуха

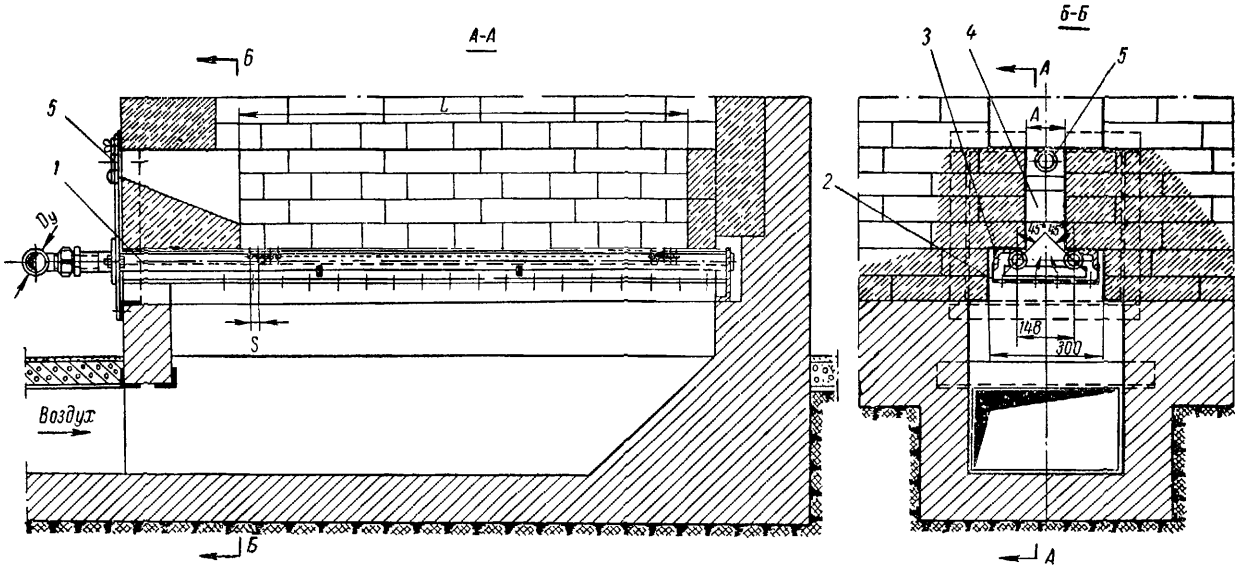


Рис. 35. Подовая горелка низкого и среднего давления с принудительной подачей воздуха.

1 — коллектор с отверстиями для выхода газа; *2* — опорная рама; *3* — перфорированный лист; *4* — щель в кладке из огнеупорного кирпича; *5* — смотровое окно (отверстие для зажигания).

Таблица 30

Технические характеристики подовых двухтрубных горелок низкого давления с принудительной подачей воздуха (рис. 35)

Тип горелки	Номинальная тепловая нагрузка, тыс. *ккал/ч*	Расход газа, *м³/ч*, при $Q_н = 8500$ *ккал/м³*	Диаметр подводящего газопровода, *мм*	Диаметр газовыходных отверстий, *мм*	Кол-во газовыходных отверстий, шт.	Длина щели, *мм*
ПГД-Н-15	127	15	32	1,5	66	510
ПГД-Н-20	170	20	40	1,5	88	680
ПГД-Н-35	297	35	50	1,8	106	810
ПГД-Н-50	425	50	60	1,8	136	1030
ПГД-Н-75	637	75	70	2,2	144	1100
ПГД-Н-100	850	100	80	2,2	194	1470
ПГД-Н-150	1270	150	100	2,4	238	1810
ПГД-Н-200	1700	200	125	2,7	248	1880

Примечание. Для всех горелок ширина щели 110 *мм*.

Таблица 31

Технические характеристики подовых двухтрубных горелок среднего давления с принудительной подачей воздуха (рис. 35)

Тип горелки	Номинальная тепловая нагрузка, тыс. *ккал/ч*	Расход газа, *м³/ч*, при $Q_н = 8500$ *ккал/м³*	Диаметр подводящего газопровода, *мм*	Диаметр газовыходных отверстий, *мм*	Кол-во газовыходных отверстий, шт.	Длина щели, *мм*
ПГД-С-50	425	50	32	1,50	46	480
ПГД-С-75	637	75	32	1,55	68	700
ПГД-С-100	850	100	40	1,60	80	820
ПГД-С-150	1275	150	50	1,70	106	1080
ПГД-С-200	1700	200	50	1,80	126	1280
ПГД-С-250	2125	250	70	2,00	128	1300
ПГД-С-300	2550	300	70	2,00	154	1560
ПГД-С-500	1250	500	80	2,20	210	2120

Примечание. Для всех горелок ширина щели 110 *мм*.

($\alpha_т = 1{,}05 \div 1{,}10$) в результате хорошего предварительного перемешивания газа с воздухом.

Однако односопловые инжекционные горелки имеют и ряд недостатков: у горелок производительностью выше 60 $м^3/ч$ чрезвычайно большие габариты (длина около 1,5 $м$) и вес. Их работа сопровождается сильным шумом, утомляющим обслуживающий персонал. Горелки произ-

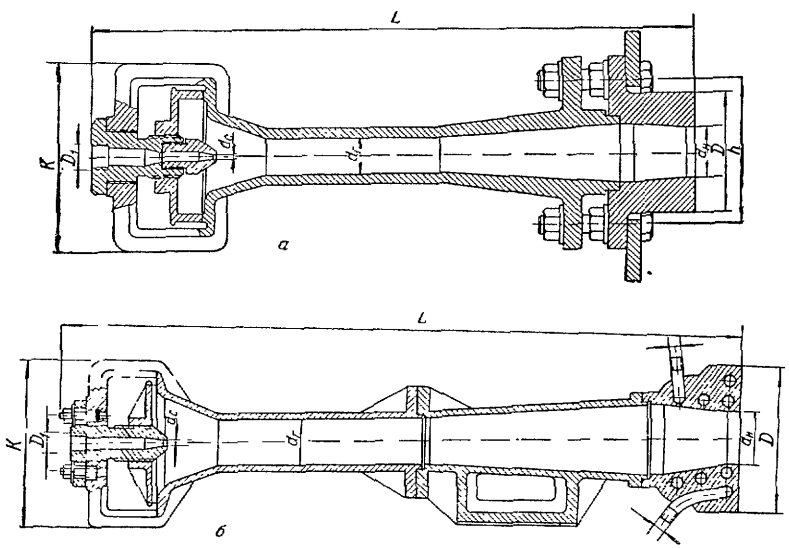


Рис. 36. Инжекционная горелка среднего давления Стальпроекта, тип В: *а* — без охлаждения насадка; *б* — с охлаждаемым водой насадком.

водительностью от 60 $м^3/ч$ и выше имеют малый предел регулирования по производительности.

Таким образом, мы видим, что этот тип горелок имеет наряду с неоспоримыми достоинствами и недостатки, поэтому их следует применять исходя из конкретных условий работы установок.

Рядом проектных институтов созданы инжекционные односопловые горелки различной производительности и модификаций. По своей конструкции все они аналогичны и отличаются только размерами и стабилизирующими устройствами.

Инжекционные горелки среднего давления изготовляются по нормалям институтов: Стальпроекта, ЛО Теплопроекта, Ленгипроинжпроекта, Мосгазпроекта и др.

Стальпроектом разработаны три типа инжекционных горелок:

1) горелки типа В (рис. 36), предназначенные для газа с повышенной теплотой сгорания (природный, коксовый, смешанный) при работе на холодном воздухе;

2) горелки типа Н (рис. 37, *а*), предназначенные для газов с низкой теплотой сгорания (доменный и смешанный

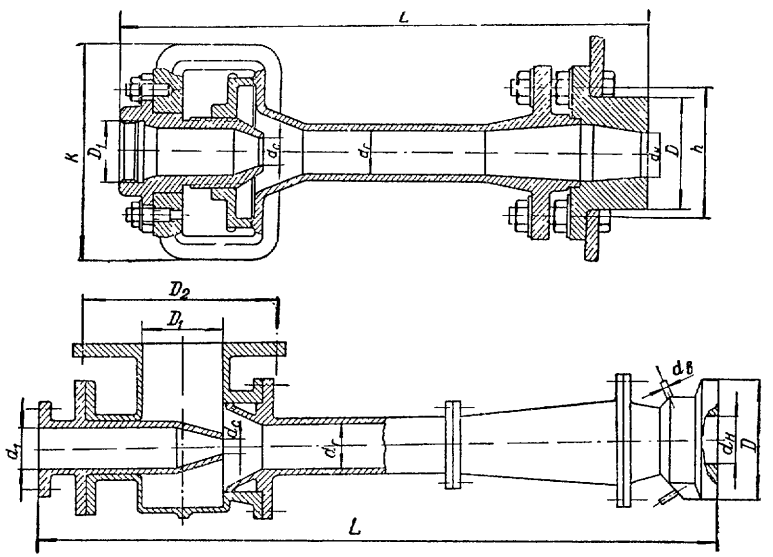


Рис. 37. Инжекционная горелка среднего давления Стальпроекта: *а* — тип Н; *б* — тип П.

коксодоменный $Q_н = 900 \div 2000$ *ккал/м*³) при работе на холодном воздухе. Предусмотрена также возможность сжигания газов с теплотой сгорания до 1400 *ккал/м*³ подогретых до 300° С;

3) горелки типа П (рис. 37, *б*), предназначенные для работы на подогретом воздухе и на подогретом или холодном газах с низкой теплотой сгорания — $Q_н = 900 \div 2000$ *ккал/м*³.

Горелки типа В и Н имеют двадцать типоразмеров с диаметром выходного насадка $d_н$ от 15 до 235 *мм*. Горелки обоих типов с $d_н$ = до 75 *мм* выполняются с не охлаждаемыми водой насадками. Горелки с $d_н$ более 75 *мм* выполняются с охлаждаемыми водой насадками, это расширяет их диапазон регулирования, так как уменьшается вероятность проскока пламени в смесительную

часть. Горелки типа П имеют одиннадцать типоразмеров с $d_н$ от 65 до 270 *мм*, все они выполняются с охлаждаемыми водой насадками.

Типоразмеры горелок выбраны с таким расчетом, чтобы две соседние горелки при одинаковых условиях отличались по производительности на 25%. Горелки оканчиваются *туннелем*, выполненным из огнеупорного материала. Диаметр туннеля принят $2{,}5d_н$, а его длина — $6{,}5d_н$ (где $d_н$ — диаметр выходного насадка *горелки*). Для горелок больших номеров допускается установка туннелей укороченной длины, равной $L_т = (3 \div 4)\, d_г$.

Основные характеристики этих горелок приведены в табл. 32, 33 и 34.

Таблица 3

Инжекционные горелки Стальпроекта, тип В (рис. 36)

Типоразмер горелки	Тепловая нагрузка, тыс. *ккал/ч*, при $p = 5000$ *мм вод. ст.*		D_1, дюйм	$d_с$, *мм*, при		$d_г$, *мм*	$d_н$, *мм*	D, *мм*	L, *мм*	Вес *кг*
	$Q_и = 4080$ *ккал/м³*	$Q_и = 8350$ *ккал/м³*		$Q_и = 4080$ *ккал/м³*	$Q_и = 8350$ *ккал/м³*					
В15/$d_с$	10,8	6,1	1/2	1,6	1,0	12	15	60	220	5,
В18/$d_с$	15,5	9,2	1/2	2,0	1,2	14	18	60	250	5,5
В21/$d_с$	21,1	12,5	1/2	2,3	1,4	17	21	60	275	5,6
В24/$d_с$	27,6	15,7	1/2	2,6	1,6	19	24	80	300	8,8
В28/$d_с$	37,6	21,8	1/2	3,0	1,8	22	28	80	335	9,0
В32/$d_с$	48,3	27,5	1/2	3,5	2,1	25	32	80	375	9,4
В37/$d_с$	65,6	37,6	1/2	4,0	2,4	30	37	100	440	14,2
В42/$d_с$	84,2	48,8	1/2	4,5	2,7	33	42	100	490	14,2
В48/$d_с$	111,0	63,5	1/2	5,2	3,1	38	48	120	545	21,0
В56/$d_с$	151,0	85,3	3/4	6,1	3,6	45	56	120	625	26,0
В65/$d_с$	202,0	118,0	3/4	7,0	4,2	52	65	140	700	33,5
В75/$d_с$	269,0	156,0	3/4	8,1	4,8	60	75	140	800	35,2
В86/$d_с$	354,0	206,0	1	9,3	5,5	69	86	220	960	58,7
В100/$d_с$	479,0	272,0	1	10,8	6,4	80	100	260	1095	81,0
В116/$d_с$	646,0	380,0	1 1/4	12,6	7,5	93	116	300	1240	107,0
В134/$d_с$	863,0	490,0	1 1/4	14,5	8,6	107	134	350	1420	151,0
В154/$d_с$	1135,0	645,0	1 1/2	16,7	9,9	123	154	410	1615	216,0
В178/$d_с$	1520,0	862,0	1 1/2	19,3	11,4	142	178	470	1840	240,0
В205/$d_с$	2010,0	1140,0	2	22,2	13,2	164	205	490	2130	342,0
В235/$d_с$	2640,0	1510,0	2	25,4	15,1	188	235	510	2400	401,0

Горелки типа В рассчитаны на сжигание газа с давлением от 1000 до 14 000 *мм вод. ст.*, типа Н — от 300 до 3000 *мм вод. ст.*, а типа П — от 200 до 1800 *мм вод. ст.*

Стальпроектом разработаны также горелки для природного газа с одним инжекционным смесителем на не-

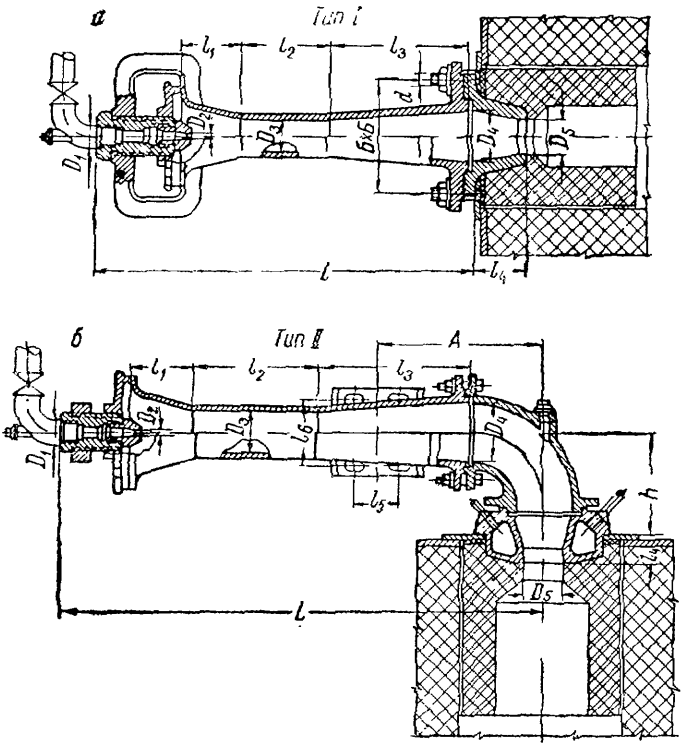


Рис. 38. Инжекционная горелка среднего давления Теплопроекта: *а* — горелки ГИП-1 ÷ ГИП-6; *б* — горелки ГИП-7 ÷ ГИП-9.

сколько горелок (от двух до двенадцати) Имеется семь типоразмеров смесителей.

Серия горелок Теплопроекта (рис. 38) состоит из девяти типоразмеров, причем каждый из них выполнен в двух вариантах: прямой и угловой. Последние три типоразмера имеют насадки с водяным охлаждением. Горелки могут устойчиво работать в диапазоне давлений от 1000 до 10 000 *мм вод. ст.* Технические характеристики и основные размеры этих горелок даны в табл. 35.

Типоразмер горелки	Тепловая нагрузка, тыс. ккал/ч, при $p=1500$ мм вод. ст.					D_1	
	Холодный газ (20° С)			Подогретый газ (300° С)			
	$Q_н=900$ ккал/м³	$Q_н=1600$ ккал/м³	$Q_н=2200$ ккал/м³	$Q_н=900$ ккал/м³	$Q_н=1400$ ккал/м³	мм	дюймы
Н15/d_c	20,6	17,7	14,1	18,8	18,2	—	3/4
Н18/d_c	30,2	25,4	20,6	27,0	26,2	—	3/4
Н21/d_c	40,5	34,6	27,6	36,8	35,8	—	1
Н24/d_c	52,7	45,1	36,0	48,0	46,6	—	1
Н28/d_c	71,9	61,5	49,1	65,4	63,5	—	1 1/4
Н32/d_c	93,5	80,0	63,8	85,0	82,5	—	1 1/4
Н37/d_c	125,5	107,3	85,7	114,0	112,0	—	1 1/4
Н42/d_c	161,5	138,0	110,0	147,0	142,5	—	2
Н48/d_c	211,0	180,0	144,0	192,0	186,0	—	2
Н56/d_c	288,0	246,0	197,0	262,0	254,0	—	2
Н65/d_c	387,0	331,0	264,0	352,0	342,0	75	—
Н75/d_c	516,0	440,0	352,0	468,0	455,0	75	—
Н86/d_c	678,0	580,0	463,0	617,0	600,0	100	—
Н100/d_c	918,0	784,0	626,0	834,0	810,0	100	—
Н116/d_c	1240,0	1060,0	845,0	1125,0	1090,0	125	—
Н134/d_c	1650,0	1410,0	1127,0	1500,0	1460,0	150	—
Н154/d_c	2175,0	1860,0	1480,0	1980,0	1920,0	150	—
Н178/d_c	2910,0	2490,0	1985,0	2645,0	2570,0	200	—
Н205/d_c	3850,0	3290,0	2630,0	3500,0	3400,0	250	—
Н235/d_c	5070,0	4340,0	3460,0	4600,0	4470,0	250	—

проекта, тип Н (рис. 37, *а*)

d_c, *мм*, при					$d_г$, *мм*	$d_н$, *мм*	D, *мм*	L, *мм*	Вес, *кг*
$t_г = 20°$ С			$t = 300°$ С						
$Q_н = 900$ *ккал/м³*	$Q_н = 1600$ *ккал/м³*	$Q_н = 2200$ *ккал/м³*	$Q_н = 900$ *ккал/м³*	$Q_н = 1400$ *ккал/м³*					
8,0	5,5	4,0	9,2	7,0	15	15	60	220	5,4
9,8	6,4	4,8	11,0	8,5	18	18	60	245	5,7
11,5	7,5	5,5	13,0	10,0	21	21	60	275	6,3
13,0	8,5	6,5	14,5	11,5	24	24	80	305	9,5
15,0	10,0	7,5	17,0	13,0	28	28	80	340	10,6
17,5	11,5	8,5	19,5	15,0	32	32	80	375	11,1
20,0	13,5	10,0	22,5	17,5	37	37	100	420	14,1
23,0	15,0	11,0	26,0	20,0	42	42	100	480	16,9
26,0	17,5	13,0	29,0	23,0	48	48	120	530	23,6
30,0	20,0	15,0	34,0	26,0	56	56	120	600	27,4
35,0	24,0	17,0	40,0	31,0	65	65	140	760	44,6
41,0	27,0	20,0	46,0	35,0	75	75	140	845	44,7
47,0	31,0	23,0	52,0	40,0	86	86	220	990	81,3
54,0	36,0	27,0	61,0	47,0	100	100	260	1110	97,5
63,0	42,0	31,0	71,0	55,0	116	116	300	1250	128,0
73,0	48,0	36,0	82,0	63,0	134	134	350	1435	190,0
84,0	56,0	41,0	94,0	73,0	154	154	410	1595	258,0
97,0	64,0	48,0	109,0	84,0	178	178	470	1840	343,0
111,0	74,0	55,0	126,0	97,0	205	205	490	2120	479,0
128,0	85,0	64,0	144,0	111,0	235	235	510	2365	531,0

Таблица 34

Инжекционные горелки Стальпроекта, тип П (рис. 37, *б*)

Типоразмер горелки	Тепловая нагрузка, тыс. *ккал/ч*, при $p = 1200$ *мм вод. ст.*					d_1	D_1	d_c, *мм*, при					$d_г$, *мм*	$d_ц$, *мм*	D, *мм*	L, *мм*	Вес, *кг*
	$t_г = 300°$ C, $t_в = 600°$ C	$t_г = 200°$ C, $t_в = 500°$ C		$t_г = 20°$ C, $t_в = 500°$ C				$t_г = 300°$ C, $t_в = 600°$ C	$t_г = 200°$ C, $t_в = 500°$ C		$t_г = 20°$ C, $t_в = 500°$ C						
	$Q_н = 900$ *ккал/м³*	$Q_н = 1300$ *ккал/м³*	$Q_н = 1500$ *ккал/м³*	$Q_н = 1400$ *ккал/м³*	$Q_н = 2000$ *ккал/м³*			$Q_н = 900$ *ккал/м³*	$Q_н = 1300$ *ккал/м³*	$Q_н = 1500$ *ккал/м³*	$Q_н = 1400$ *ккал/м³*	$Q_н = 2000$ *ккал/м³*					
П165/d_c	275	283	245	215	156	75	125	35	26	23	19	14	65	65	170	1035	113
П75/d_c	367	377	326	287	208	75	125	40	30	26	23	16	75	75	190	1145	122
П186/d_c	482	495	430	377	274	100	200	46	34	31	26	18	86	86	220	1360	206
П100/d_c	652	670	581	510	370	100	200	54	40	36	31	22	100	100	260	1530	227
П116/d_c	880	904	774	688	500	125	250	63	47	41	36	25	116	116	300	1740	282
П134/d_c	1170	1210	1047	918	656	150	300	73	55	48	42	29	134	134	350	2000	429
П154/d_c	1545	1590	1380	1210	877	150	300	84	62	55	48	33	154	154	410	2245	489
П178/d_c	2070	2120	1840	1620	1170	200	350	95	71	63	55	39	178	178	470	2585	697
П205/d_c	2740	2810	2440	2140	1550	250	350	109	82	71	63	44	205	205	490	2915	920
П235/d_c	3600	3700	3210	2815	2040	250	350	125	92	82	71	50	235	235	510	3290	925
П270/d_c	4750	4870	4230	3720	2700	300	450	144	106	94	82	57	270	270	510	3695	1062

Таблица 35

Инжекционные горелки Теплопроекта (рис. 38)

Типоразмер горелки		Тепловая нагрузка, тыс. ккал/ч, при $p_г = 5000$ мм вод. ст.	D_1, дюйм	$d_с$, мм	$d_г$, мм	d, мм	L, мм	Вес, кг
ГИП-1	I	23,7	1/2	1,9	27	30	299	5,0
	II	21,4		1,8			375	8,0
ГИП-2	I	44,6	3/4	2,6	36	40	399	11
	II	41,2		2,5			490	17
ГИП-3	I	55,4	3/4	2,9	41	45	445	12
	II	51,5		2,8			552	20
ГИП-4	I	95,1	1	3,8	53	58	562	18
	II	85,3		3,6			680	29
ГИП-5	I	158,0	1 1/4	4,9	68	75	701	26
	II	139,0		4,6			839	40
ГИП-6	I	222,0	1 1/2	5,8	80	88	839	51
	II	198,0		5,5			1004	69
ГИП-7	I	370,0	2	7,5	106	117	1125	97
	II	370,0		7,5			1265	122
ГИП-8	I	595,0	2	9,5	132	144	1388	154
	II	595,0		9,5			1523	190
ГИП-9	I	798,0	2 1/2	11,0	156	171	1593	197
	II	798,0		11,0			1783	241

Горелки работают с коэффициентом избытка воздуха $\alpha_г = 1{,}05$. Диапазон устойчивой работы этих горелок равен $\sim 1 : 3$. Горелки рекомендуется устанавливать в печах с колебанием давления в топке в пределах от $-2{,}0$ до $+2$ *мм вод. ст.*

Горелочные камни, из которых составляется туннель, поставляются вместе с горелками. Горелочные камни изготовляются из высокоглиноземистого шамота с

содержанием глинозема не менее 50%. Для высокотемпературных печей устанавливают туннели сокращенной длины ($L_т = 3.75\ d$). В низкотемпературных печах, когда требуется завершение сжигания газа в туннеле, он выполняется нормальной длины ($L_т = 6d$). В случае отсутствия горелочных камней туннель может быть изготовлен по шаблону из огнеупорной массы.

Горелки конструкции Ленгипроинжпроекта в литом исполнении (рис. 39) изготовляются также двух типов: прямые (тип I) и с поворотом на 90° (тип II). Эти горелки

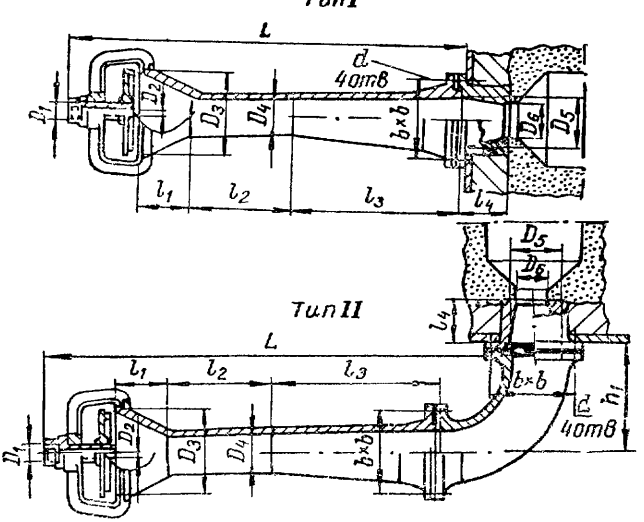


Рис. 39. Инжекционная горелка среднего давления Ленгипроинжпроекта в литом исполнении.

запроектированы для давлений газа до 9000 *мм вод. ст.* Характеристики и основные размеры горелок приведены в табл. 36. Все десять номеров горелок выполнены с неохлаждаемыми насадками, что значительно упрощает их конструкцию, однако для больших номеров горелок это, естественно, приводит к уменьшению диапазона устойчивой работы.

В табл. 37 приведены значения давления газа, при которых наблюдается проскок пламени в смесительную часть горелки, и даны диапазоны регулирования горелок. Для газа иного состава диапазон устойчивой работы горелок можно определять расчетным путем с помощью

Таблица 3

Инжекционные горелки Ленгипроинжпроекта (рис. 39)

Номер и тип горелки		Тепловая нагрузка, тыс. *ккал/ч*, при $p = 5000$ *мм вод. ст.*	D_1, дюйм	d_c, *мм*	$d_г$, *мм*	d, *мм*	L, *мм*	Вес *кг*
1М	I	34,60	1/2	2,3	32	35	383	5,0
	II						488	7,6
2М	I	55,08	1/2	2,9	40	44	457	6,7
	II						577	10,2
3М	I	71,31	3/4	3,3	45	50	523	9,2
	II						651	14,2
4М	I	84,91	3/4	3,6	51	56	589	11,2
	II						727	18,0
5М	I	99,62	3/4	3,9	55	60	626	14,3
	II						774	21,8
6М	I	121,10	1	4,3	60	66	692	19,1
	II						857	28,2
7М	I	170,34	1	5,1	72	79	808	23,1
	II						993	33,8
8М	I	243,78	1 1/4	6,1	85	93	995	36,0
	II						1164	52,2
9М	I	294,00	1 1/4	6,7	94	104	1030	43,0
	II						1264	59,8
10М	I	349,10	1 1/4	7,3	102	112	1125	48,3
	II						1359	70,2

полученных автором на базе экспериментальных исследований формул.

При сжигании газа в керамическом туннеле

$$W_{отр} = c_1 a^{-2} S^{1,5} \left(\frac{D_т}{a}\right)^{0,5},$$

где $W_{отр}$ — скорость выхода газо-воздушной смеси из горелки, при которой наступает отрыв пламени, *м/сек*;

$c_1 = 0{,}575 \cdot 10^2$ — опытный коэффициент;

S — нормальная скорость распространения пламени, *м/сек*;

$D_т = 2{,}5\,d$ — диаметр туннеля, *м*;

a — коэффициент температуропроводности *м²/ч*.

$$W_{пр} = c_2 S^2 \frac{d}{a},$$

где $W_{пр}$ — скорость выхода газо-воздушной смеси на горелки, при которой наступает проскок пламени ($\alpha_т = 1{,}0$), *м/сек*;

$c_2 = 7{,}75 \cdot 10^{-3}$ — опытный коэффициент;

d — диаметр насадка горелки.

Таблица 37

Минимально допустимое давление газа и диапазон регулирования инжекционных горелок конструкции Ленгипроинжпроекта

Номер горелки	Минимально допустимое давление газа, *мм вод. ст.*, при $\alpha_т = 1{,}0$	Диапазон устойчивой работы горелки *
1М	75	1 : 9,0
2М	100	1 : 8,0
3М	150	1 : 7,0
4М	200	1 : 6,0
5М	300	1 : 5,0
6М	400	1 : 4,0
7М	500	1 : 3,5
8М	650	1 : 3,1
9М	725	1 : 3,0
10М	800	1 : 2,9

* Верхний предел давления газа принят 9000 *мм вод. ст.* Нижний предел — давление, при котором наступает проскок пламени.

Испытания горелок в лабораториях и эксплуатационных условиях показали, что при правильно выбранном диаметре сопла во всем диапазоне давлений горелки инжектируют более 100% теоретически необходимого количества воздуха, что обеспечивает полное сжигание газа. Наблюдается снижение абсолютной величины коэффициента избытка воздуха с повышением давления газа от 1000 до 9000 *мм вод. ст.*

При работе горелок с разрежением в топочной камере до —3 *мм вод. ст.* коэффициент избытка воздуха возрастает, а с противодавлением до +3 *мм вод. ст.* — падает, но не бывает меньше единицы на всех режимах.

Горелки с поворотом на 90° (тип II) инжектируют меньшее количество воздуха. Это происходит в результате того, что горелка с поворотом имеет большее сопротивление по пути газо-воздушной смеси, чем прямая, поэтому горелки с поворотом имеют меньший коэффициент избытка воздуха — в среднем на 5%. Для создания условий, обеспечивающих одинаковый избыток воздуха в горелках прямых и с поворотом на 90°, у последних иногда уменьшают диаметр сопла. Это приводит к тому, что увеличивается инжекция воздуха за счет увеличения отношения $\frac{d_г}{d_с}$, но в то же время снижается, естественно, тепловая нагрузка горелки при неизменном номинальном давлении газа. Испытания также показали, что открытие воздушно-регулировочной шайбы более чем на 8 оборотов не оказывает никакого влияния на избыток воздуха, и он остается практически постоянным.

Нормальная устойчивая работа горелок при коэффициенте избытка первичного воздуха $\alpha_г \geqslant 1{,}0$ обеспечивается только при наличии стабилизаторов фронта горения (керамические туннели, зажигательные пояса, горки и т. п.)

Специальные опыты были проведены в камере печи на двух размерах инжекционных горелок. Измерялись температуры и определялись концентрации продуктов сгорания по оси факела. Коэффициент избытка воздуха в опытах поддерживался равным 1,15, а скорость выхода газо-воздушной смеси из насадка горелки — 25 *м/сек*. На рис. 40 представлены результаты этих испытаний. Из графика видно, что максимальная температура на оси факела достигнута на расстоянии $\frac{l}{d} = 6{,}0$. На этом же расстоянии, если судить о выгорании в факеле по концентрации CO_2, в продуктах сгорания содержится около 90% CO_2 от теоретически возможного (при данном избытке воздуха максимальное содержание CO_2 в продуктах сгорания составляет 11,0%). Полное завершение процесса горения, т. е. достижение максимального содержания CO_2 в продуктах сгорания, происходит на расстоянии $\frac{l}{d} = 8{,}0$. Например, для горелки № 8М-I ($d_0 = 93{,}0$ *мм*) горение в факеле заканчивается при $\alpha_г = 1{,}15$ уже на расстоянии $l = 0{,}93 \times 8 = 0{,}75$ *м* от насадка горелки.

На рис. 6 показана инжекционная горелка среднего давления со стабилизатором в виде зажигательного кольца

конструкции Ленгипроинжпроекта. Подробно принцип действия и конструкция этого стабилизатора описаны в гл. II. Горелки этого типа имеют те же характеристики, что и обычные инжекционные горелки, рассмотренные выше. Кольцо стабилизатора, надевающегося на насадок горелки, выполняется из жаропрочного чугуна. Горелки с кольцевыми стабилизаторами иногда применяют в виде блока горелок, когда вместе скомпоновано несколько горелок одинаковой производительности. Так, например, для установки в жаровой трубе котла применяют блок из восьми горелок № 2М-I с кольцевыми стабилизаторами, расположенными по окружности.



Рис. 40. Распределение температур и концентрация CO_2 по оси факела при работе инжекционных горелок с $\alpha_г = 1{,}15$ и $W = 25$ *м/сек*.

1 — для горелок № 1-I; *2* — для горелок № 8-I.

Для выявления характера протекания процесса горения в факеле инжекционных горелок с кольцевыми стабилизаторами снимались поля газового состава. Известно, что о завершенности процесса горения в факеле прямоточных горелок можно судить по распределению концентраций продуктов сгорания на его оси. Поэтому все анализы делались (на хроматографе типа ГСТЛ) только по оси факела. Опыты проводились при различных избытках воздуха и номинальных тепловых нагрузках инжекционных горелок с кольцевыми стабилизаторами № 3 и 8. По результатам исследований была построена кривая (рис. 41). По оси абсцисс графика отложен коэффициент избытка воздуха, а по оси ординат — относительное расстояние от устья насадка до точки, где заканчивается

процесс горения. Об окончании горения суждение составлялось по достижению максимального содержания CO_2 в факеле и отсутствию химической неполноты сгорания.

Следует отметить, что при малых коэффициентах избытка воздуха $\alpha_г = 1{,}05$ процесс горения затягивается и заканчивается полностью только на расстоянии 10 диаметров насадка от устья горелки. Увеличение избытка воздуха до $\alpha_г = 1{,}2$ значительно сокращает длину факела,

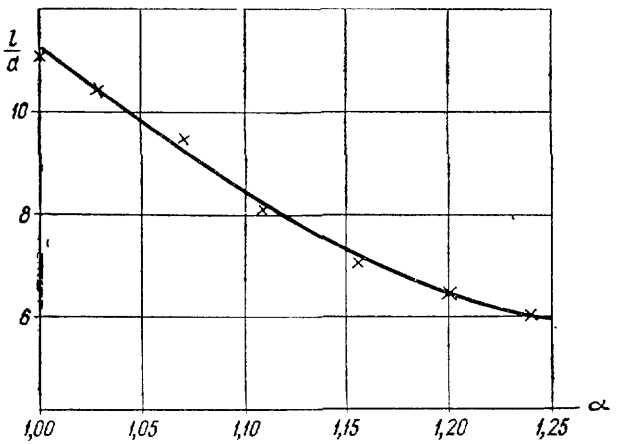


Рис. 41. Зависимость длины факела от коэффициента избытка воздуха для инжекционных горелок с кольцевым стабилизатором.

в этом случае горение заканчивается уже на расстоянии 6,5 диаметров от устья горелки. Поэтому выбор коэффициента избытка воздуха на выходе из горелки должен производиться исходя из конструктивных особенностей установок, использующих газообразное топливо. Так, например, для агрегатов, длина топочной камеры которых более 15 диаметров выходного насадка горелки, при применении соответствующих номеров горелок и их фронтовой компоновке рекомендуется принимать избыток воздуха на выходе из горелки $\alpha_г = 1{,}05 \div 1{,}1$. Для установок, имеющих малую длину топочной камеры по направлению развития факела, рекомендуется принимать коэффициент избытка воздуха на выходе из горелки $\alpha_г = 1{,}2$.

Для сжигания природного газа в топках котлов и низкотемпературных печах служат горелки среднего давления с пластинчатыми стабилизаторами типа ИГК

(рис. 7) конструкции Мосгазпроекта. Горелки работают в диапазоне давлений газа 300 ÷ 6000 *мм вод. ст.* Конструкция и принцип действия стабилизатора подробно описаны в гл. II. У горелок этого типа отпадает необходимость в туннеле. При нормальной работе горелок стабилизатор охлаждается проходящей газо-воздушной смесью, благодаря чему срок службы его достаточно

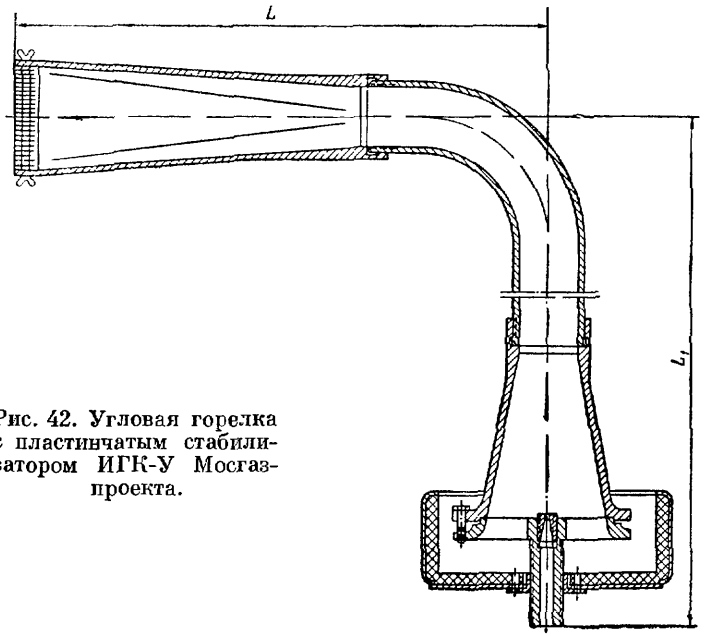


Рис. 42. Угловая горелка с пластинчатым стабилизатором ИГК-У Мосгазпроекта.

велик. При выключении горелки нельзя закрывать воздушно-регулировочную шайбу во избежание перегрева стабилизатора. Эксплуатация горелок показала, что они спокойно зажигаются с полностью открытыми устройствами для подвода воздуха. К положительным качествам этих горелок следует отнести то, что сразу же после включения они могут работать с полной нагрузкой, так как не нужно прогревать туннель.

Для уменьшения длины выступающей части горелки они могут изготовляться угловыми ИГК-У (рис. 42), либо прямыми, но с подводом газа под углом 90° — ИГК-М. В табл. 38 приведены основные характеристики

горелок ИГК. При правильном выборе основных конструктивных размеров инжекционные горелки среднего давления работают без потерь тепла от химической неполноты

Таблица 38

Технические характеристики инжекционных горелок среднего давления ИГК Мосгазпроекта (рис. 7 и 42)

Тип	Тепловая нагрузка, тыс. *ккал/ч*, при $p_г = 3000$ *мм вод. ст.*	Диаметр сопла, *мм*, при $Q_н = 8500$ *ккал/м³*	Диаметр горла, *мм*	Размеры насадка, *мм*	L, *мм*	L_1, *мм*	Вес, *кг*
ИГК-25	124	4,5	53	102×102	756	—	12,5
ИГК-25У	124	4,5	53	102×102	530	545	13,5
ИГК-25М	113	4,3	53	93×93	650	—	12,5
ИГК-60	308	7,1	80	146×146	1033	—	26,4
ИГК-60У	308	7,1	80	146×146	700	890	27,0
ИГК-60М	282	6,8	89	132×132	940	—	12,1
ИГК-120	496	9,0	108	172×172	1327	—	29,0
ИГК-120У	442	8,5	108	182×182	1035	1150	31,0
ИГК-170	715	10,8	131	203×203	1596	—	40,0
ИГК-170У	542	9,4	131	200×200	1095	1400	45,0
ИГК-250	1070	13,2	150	254×254	1914	—	50,0

сгорания в широком диапазоне изменений тепловых нагрузок. Причем для этого основным является определение отношения площади входного сечения смесителя (горла) к площади газового сопла, обеспечивающего поступление необходимого для полного сгорания количества воздуха.

Для расчета инжекционной способности горелки применяют уравнение:

$$\frac{d_г}{d_с} = \sqrt{(1+A)\left(1+A\frac{\gamma_в}{\gamma_г}\right)},$$

где A — объемный коэффициент инжекции, *м³/м³*;

$d_г$ — диаметр входного сечения смесителя, *м*;

$d_с$ — диаметр сопла, *м*;

$\gamma_в$ — удельный вес воздуха, *кг/м³*;

$\gamma_г$ — удельный вес инжектирующего газа, *кг/м³*.

Однако это уравнение, как показали исследования, проведенные с участием автора, справедливо только при давлении инжектирующего газа $p_г = 5000$ *мм вод. ст.* и отсутствии разрежения в топке ($S_т = 0$ *мм вод. ст.*). Для режимов, отличных от указанных, необходимо вводить поправки к коэффициенту избытка воздуха, приведенные в табл. 39.

Таблица 39

Поправка к коэффициенту избытка воздуха на выходе из горелки

Поправка к коэффициенту избытка воздуха	Давление газа перед горелкой, *мм вод. ст.*				
	1000	3000	5000	7000	9000
На давление газа перед горелкой при $S_т = 0$ *мм вод. ст.*	+0,08	+0,04	0	—0,04	—0,08
На разрежение или противодавление в топочной камере, *мм вод. ст.*					
± 1,0	0,04	0,02	0,008	0,005	0,0036
± 2,0	0,08	0,04	0,016	0,010	0,0072
± 3,0	0,12	0,06	0,024	0,015	0,0108

Рассмотрим для примера, с каким коэффициентом избытка воздуха будет работать горелка конструкции Теплопроекта *ГИП-8*.

В горелке сжигается природный газ, удельный вес которого $\gamma_г = 0{,}755$ *кг/м³*, $V_0 = 9{,}5$ *м³/м³*. Удельный вес воздуха $\gamma_в = 1{,}29$ *кг/м³*. Диаметр горла горелки $d_г = 132$ *мм*, диаметр сопла $d_с = 9{,}5$ *мм* (табл. 35). Необходимо проверить, с каким коэффициентом избытка воздуха будет работать горелка в диапазоне давлений газа от 2000 до 7000 *мм вод. ст.* и разрежении (противодавлении) в топке ± 2,0 *мм вод. ст.*

Определяем соотношения $\frac{d_г}{d_с} = \frac{132}{9{,}5} = 13{,}9$ и $\frac{\gamma_в}{\gamma_г} = \frac{1{,}29}{0{,}755} = 1{,}71$ и по номограмме (рис. 40) находим величину

$$A = 10 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Значит, при давлении газа 5000 *мм вод. ст.* и нулевом разрежении в топке горелка будет работать с коэффициентом избытка воздуха

$$\alpha^0_{5000} = \frac{A}{V_0} = \frac{10}{9{,}5} = 1{,}05.$$

Проверим теперь работу горелки в заданном диапазоне давлений газа и разрежении в топке —2,0 *мм вод. ст.*

$$\alpha_{2000}^{-2} = 1{,}05 + 0{,}06 + 0{,}06 = 1{,}17,$$

$$\alpha_{7000}^{-2} = 1{,}05 - 0{,}04 + 0{,}01 = 1{,}02.$$

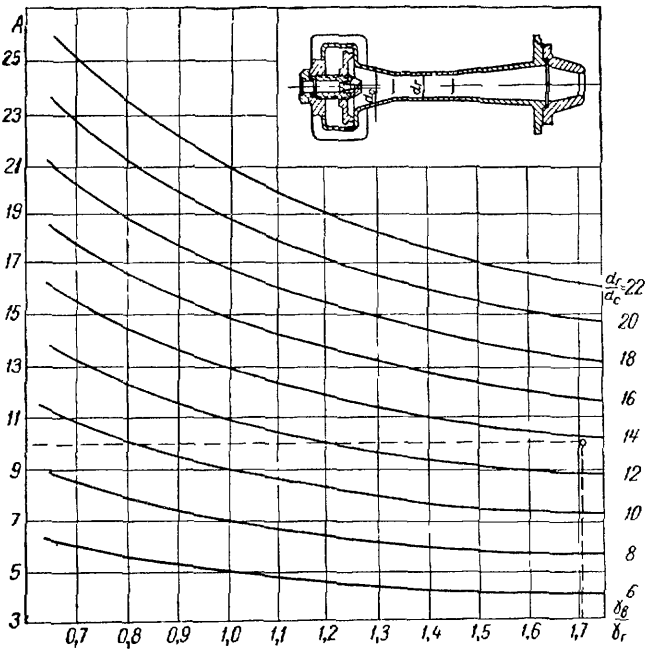


Рис. 43. Номограмма для расчета инжекционной способности односопловых горелок среднего давления при $p_г = 5000$ *мм вод. ст.* и $S_т = 0$ *мм вод. ст.*

Таким образом, во всем диапазоне работы горелки коэффициент избытка воздуха больше единицы.

Рассмотрим, как будет работать горелка в этом же диапазоне давлений газа и противодавлении в топке +2,0 *мм вод. ст.*

$$\alpha_{2000}^{+2} = 1{,}05 + 0{,}06 - 0{,}06 = 1{,}05,$$

$$\alpha_{7000}^{+2} = 1{,}05 - 0{,}04 - 0{,}01 = 1{,}0.$$

Для удобства построена номограмма (рис. 43), позволяющая наряду с поправками производить инженерный расчет инжекционной способности односопловых горелок. Так, например, если известны конструктивные

размеры горелки, характеристики газа и условия работы горелки, то, пользуясь номограммой и табл. 39, можно проверить, будет ли горелка инжектировать достаточное количество воздуха для полного сгорания газа.

Стремление к уменьшению длины выступающих частей горелок привело к созданию многосопловых инжекционных горелок, в которых смешение газа с воздухом происходит на более коротком пути. Получили распространение такие горелки конструкции тепловой лаборатории Московского автозавода им. Лихачева. Первоначально были разработаны и внедрены две горелки этого типа ТЛ-100 и ТЛ-125 с индивидуальными смесителями и общим охлаждаемым насадком. Охлаждение насадка осуществлено газом, поступающим затем на горение. Газ подается в смеситель через семь сопел, благодаря чему размер горелки уменьшается вдвое по сравнению с односопловыми инжекционными горелками. Горелки устойчиво работают с укороченными огнеупорными туннелями. Характеристики этих горелок приведены в табл. 40. Компактность и хорошие эксплуатационные показатели этих горелок обусловили их применение на печах и сушилах.

Таблица 40

Технические характеристики многосопловых инжекционных горелок типа ТЛ при номинальном давлении газа 6000 *мм вод. ст.* (рис. 44)

Показатели	Типоразмер горелки				
	ТЛ-100	ТЛ-125	ТЛ-210	ТЛ-250	ТЛ-350
Номинальная тепловая нагрузка, тыс. *ккал/ч*	357	552	1120	1660	3000
Минимальное давление газа, *мм вод. ст.*	1000	1500	500	700	800
Расход природного газа, $м^3/ч$:					
при номинальном давлении	42	65	132	196	350
при минимальном давлении	17	32	37	67	140
Диаметр газового сопла *, *мм*	2,5	3,1	4,7	5,6	7,5
Диаметр насадка, *мм*	100	125	210	250	350
Диаметр стабилизирующего конуса, *мм*	—	—	80	80	150
Длина горелки, *мм*	452	540	818	995	1228
Вес, *кг*	47	65	79	190	220
Диапазон устойчивой работы	1 : 2,5	1 : 2,0	1 : 3,6	1 : 2,9	1 : 2,7

* Горелка имеет семь сопел.

Вместе с тем в процессе их эксплуатации выявлены и некоторые недостатки: большое гидравлическое сопротивление по тракту инжектируемого воздуха, перегрев насадка при временном отключении газа, недостаточная стойкость футеровки туннеля при установке в высокотемпературных печах.

Новая конструкция многосопловой инжекционной горелки (рис. 44) предусматривает облегченный доступ инжектируемого воздуха и стабилизацию факела специ-

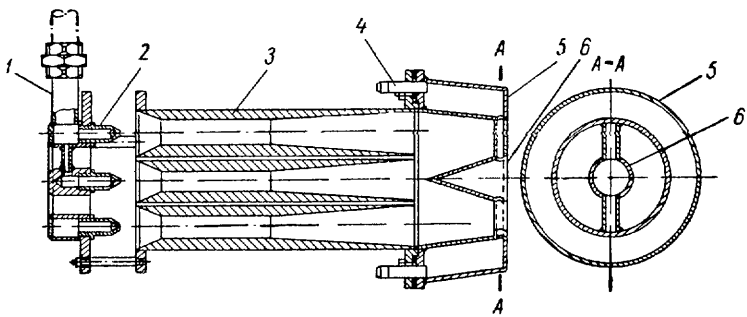


Рис. 44. Многосопловая инжекционная горелка типа ТЛ со стабилизирующим конусом.

1 — газовый коллектор; *2* — сопло; *3* — смеситель; *4* — подвод охлаждающей воды; *5* — насадок; *6* — стабилизирующий конус.

альным конусом, в результате чего отпадает необходимость в керамическом туннеле. Насадок горелки и закрытый центральный конус стабилизатора охлаждаются водой. Торец центрального конуса изолирован. Конус стабилизатора размещен так, что его ось совпадает с осью насадка, а основание находится в одной плоскости с выходным сечением насадка. Испытания горелок показали, что стабилизатор новой конструкции работает надежно. Диапазон устойчивой работы горелок увеличился за счет снижения значения критической скорости истечения газовоздушной смеси, при которой наступает проскок пламени. Отрыва пламени не наблюдалось при абсолютном давлении газа до 1,5 *ат*. Таким образом, горелки полного предварительного смешения могут устойчиво работать со стабилизаторами подобной конструкции и отпадает необходимость в керамических туннелях.

При отсутствии противодавления в печи коэффициент избытка воздуха составляет $\alpha_г = 1{,}05 \div 1{,}08$. Потери тепла с охлаждающей насадок водой составляют 2,5 ÷

÷ 3,0% и могут быть снижены путем изоляции торцевых поверхностей насадка.

В отраслевой лаборатории газовой теплотехники Куйбышевского политехнического института разработана серия плоских многосопловых инжекционных горелок с тепловой нагрузкой от 2,4 до 8 млн. *ккал/ч*, т. е. расходом газа от 300 до 1000 $м^3/ч$. По сравнению с односопловыми горелками одинаковой теплопроизводительности плоские многосопловые горелки имеют в два раза меньшую длину и в три раза меньший вес.

Горелка (рис. 45) имеет литой водоохлаждаемый насадок и сварной корпус. Регулирование подачи воздуха осуществляется специальным шибером. Изменение расхода газа производится посредством запорных устройств перед горелкой. Две горелки такой конструкции (тепловая нагрузка 3,55 млн. *ккал/ч*) прошли промышленное испытание на котле ДКВР-10-13. Горелки были установлены на фронте котла в горизонтальном положении. Туннели горелок были выложены из шамотного кирпича класса Б.

Испытания показали устойчивую работу горелок без проскока и отрыва пламени при изменении давления газа от 500 до 8000 *мм вод. ст.*, что соответствует диапазону устойчивой работы 1 : 4. При сжигании газа в плоских многосопловых горелках химический недожог отсутствовал при коэффициенте избытка воздуха $\alpha_т = 1{,}05$ и разрежении в топке 0,5 *мм вод. ст.* Продукты сгорания в топке имели следующий состав (%): $CO_2 = 11{,}0$, $O_2 = 1{,}2$, $CO = 0{,}0$, $H_2 = 0{,}0$, $CH_4 = 0{,}0$.

Следует отметить, что плоские многосопловые инжекционные горелки создают меньше шума при работе. Даже на расстоянии 0,5 *м* от горелки при номинальной ее тепловой нагрузке и полностью открытом шибере для воздуха уровень звукового давления не превышает допустимой санитарной инспекцией величины.

Оригинальная конструкция инжекционных горелок с периферийной подачей газа (*ГИЛ*)* разработана в Ленинградском научно-исследовательском институте Академии коммунального хозяйства по авторскому предложению Ю. И. Лобынцева.

---

* В книге И. А. Шур «Перевод отопительных котлов на газообразное топливо», Недра, 1966, автором сотовых горелок ошибочно назван институт Ленгипроинжпроект, который только применил в ряде проектов горелки ЛНИИ АКХ типа ГИЛ. *Ред.*

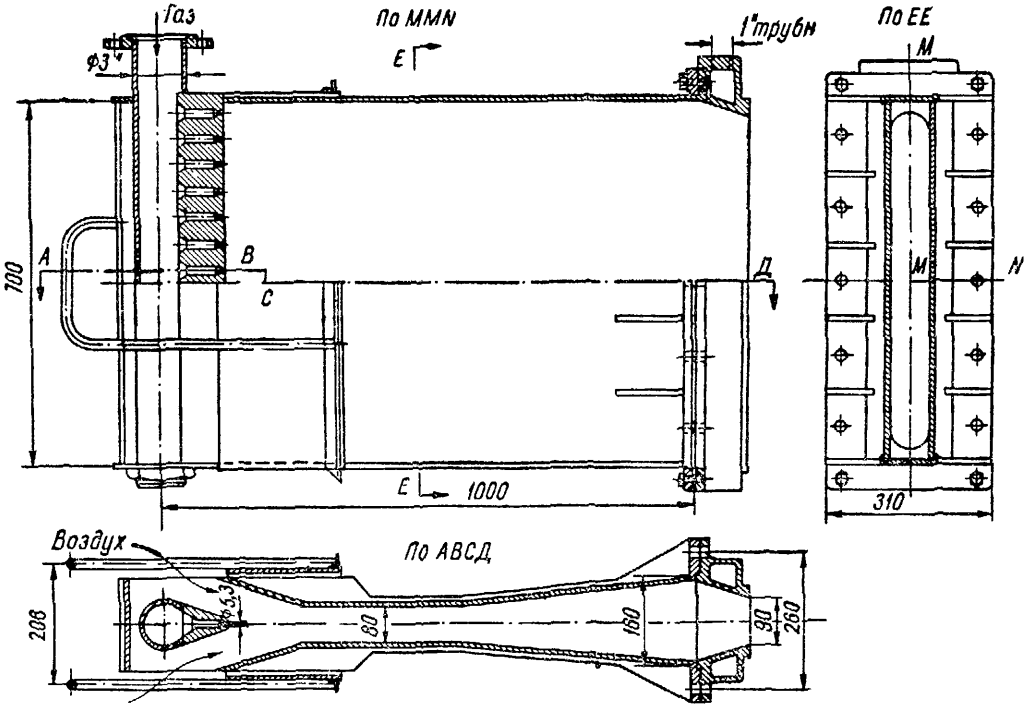


Рис. 45. Плоская многосопловая инжекционная горелка Куйбышевского политехнического института.

При конструировании горелок впервые осуществлены следующие принципы: 1) периферийная подача активных струй газа под малым углом от стенки при осевом входе пассивного воздушного потока; 2) гидродинамически гладкие смесители малого диаметра круглого сечения, органически объединенные в одну горелку сотового типа; 3) компоновка горелки в кладке агрегата с заглублением в нишу, что с акустической точки зрения представляет собой ступень глушителя. Горелки в сварном исполнении ГИЛ-1 разработаны в двух вариантах: щелевые и сотовые, а горелки из литых и штампованных деталей ГИЛ-2 — сотовые.

Горелки ГИЛ-1 щелевого типа нашли применение на установках небольшой мощности с расходами газа до 100 *м*³/*ч*. Горелка (рис. 46) имеет щелевой цилиндрический смеситель, в передней части которого по периферии расположены в шахматном порядке газовые сопла. Подача газа на малом расстоянии от стенки и под малым углом от нее позволяет улучшить гидравлические характеристики горелки, повысить ее инжекционную способность и уменьшить чувствительность к колебаниям давления в топке.

Горелка выполнена сварной из листовой стали толщиною 3 и 5 *мм*, имеет 24 сопла с отверстиями для выхода газа 1,5 *мм*. Тепловая нагрузка горелки 550 000 *ккал/ч* при абсолютном давлении 0,9 *ат*. Диапазон устойчивой работы горелки большой и составляет 1 : 6. Проскок же пламени в смесительную часть легко устраняется путем повышения давления газа, и нет необходимости выключать горелку и вновь разжигать ее. Размеры горелки и вес выгодно отличают ее от односопловых инжекционных горелок (меньше в ~ 4 раза). Горелки щелевого типа хорошо зарекомендовали себя при работе на печах и горнах.

Горелка ГИЛ-1 сотового типа в сварном исполнении отличается от щелевой только формой сечения смесителя. Горелка состоит из одинаковых смесителей малого диаметра, расположенных на расстояних, обеспечивающих надежное зажигание друг от друга. Горелки различной производительности и назначения отличаются только количеством и расположением элементов. Производительность одного элемента составляет $\sim 7{,}5$ *м*³/*ч*. Наличие нескольких газовых сопел в каждом смесителе обеспечивает хорошее смешение газа с воздухом, позволяя работать без потери тепла от химической неполноты сгорания при минимальных избытках воздуха $\alpha_т = 1{,}02 \div 1{,}03$.

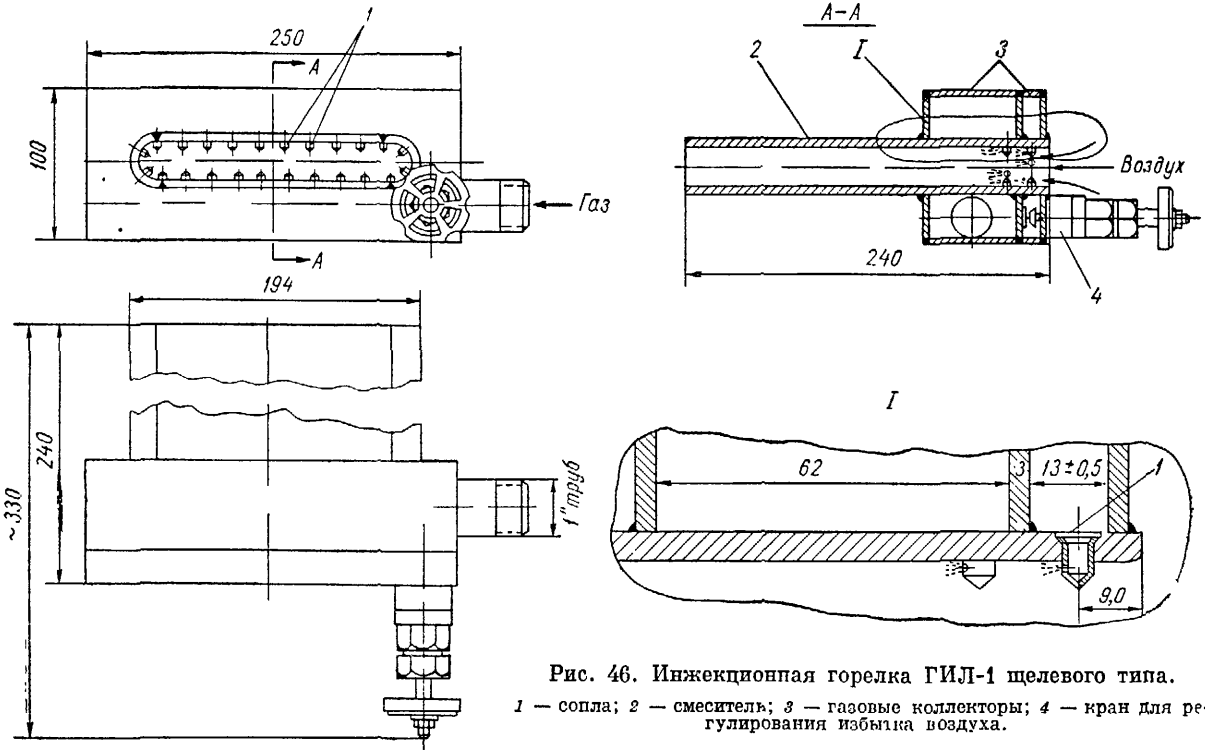


Рис. 46. Инжекционная горелка ГИЛ-1 щелевого типа.

1 — сопла; *2* — смеситель; *3* — газовые коллекторы; *4* — кран для регулирования избытка воздуха.

Небольшая длина смесителей позволяет удобно компоновать горелки в кладке агрегата с заглублением в нишу, что в сочетании с периферийной подачей газа обеспечивает бесшумную работу горелки даже при значительных ее форсировках. Стабилизаторы горения также не выступают в топочное пространство.

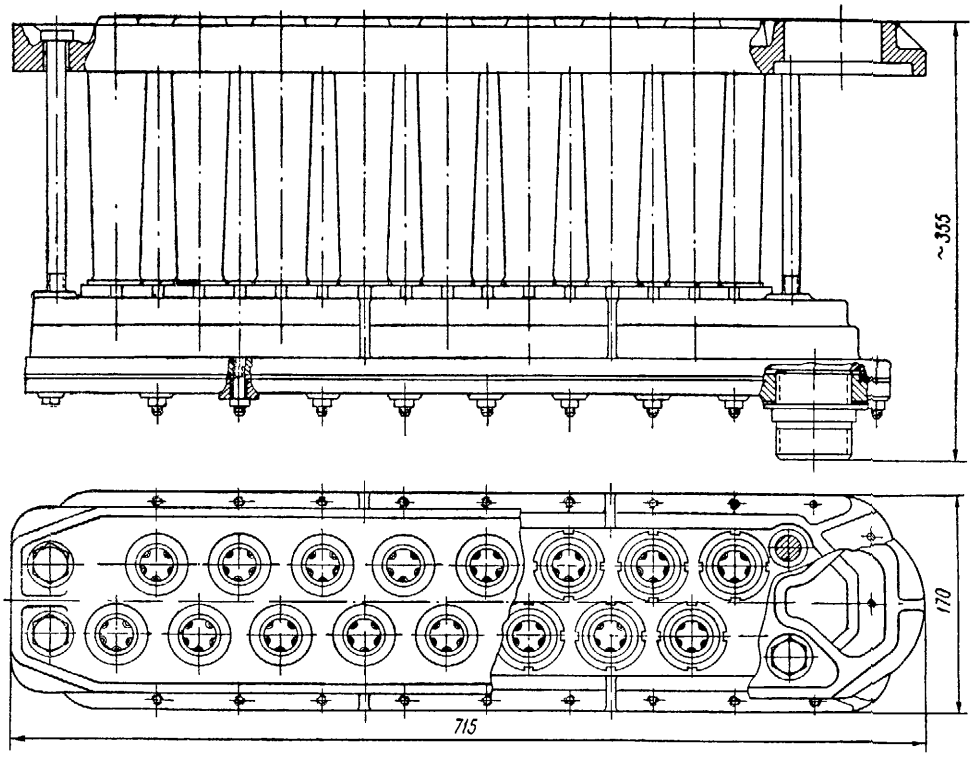
Особенно удобно сотовые горелки компонуются на боковых стенках котлов типа ДКВ, так как смесители легко размещаются между экранными трубками и не требуется вырезки трубок, что имеет место при применении вертикально-щелевых горелок. Вся горелка размещается в кладке толщиною в два кирпича.

Эксплуатация в течение ряда лет горелок сварной конструкции ГИЛ-1 показала, что они имеют хорошие теплотехнические данные. Для упрощения технологических операций при изготовлении и возможности организации централизованного призводства горелок сотового типа были разработаны горелки из литых и штампованных деталей — ГИЛ-2 (рис. 47). Эти горелки также состоят из одинаковых элементов, расположенных в шахматном порядке. В них предусмотрена возможность использования электрозапального устройства и устройства контроля горения, что позволяет применять данные горелки в автоматизированных установках.

Горелка состоит из 16 элементов и работает с тепловой нагрузкой до 1 000 000 *ккал/ч*. Специального устройства для регулирования инжекционной способности горелка не имеет, однако при ее компоновке с заглублением в нишу возможно использование для этой цели дросселирующих воздух шторок. К горелке может быть присоединен кожух с воздухопроводом, что превращает ее из инжекционной в двухпроводную. Непосредственно перед входом в смесители можно разместить подогреватель газа, который использует тепло нагретого воздуха, подаваемого в горелку. Подогрев газа повышает устойчивость работы горелки при колебаниях давления в топке.

Мосгазпроектом разработаны и внедрены горелки низкого давления с принудительной подачей воздуха, предназначенные для установки в агрегатах, имеющих топочные камеры небольших объемов.

На рис. 48 показана одна из горелок этого типа. Горелки рассчитаны для сжигания газов с теплотой сгорания от 3400 до 8500 *ккал/м*^{3}. Горелки работают без потерь тепла от химического недожога при избытке воздуха



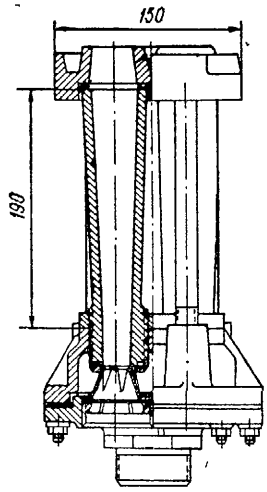


Рис. 47. Инжекционная горелка ГИЛ-2 сотового типа из литых и штампованных деталей.

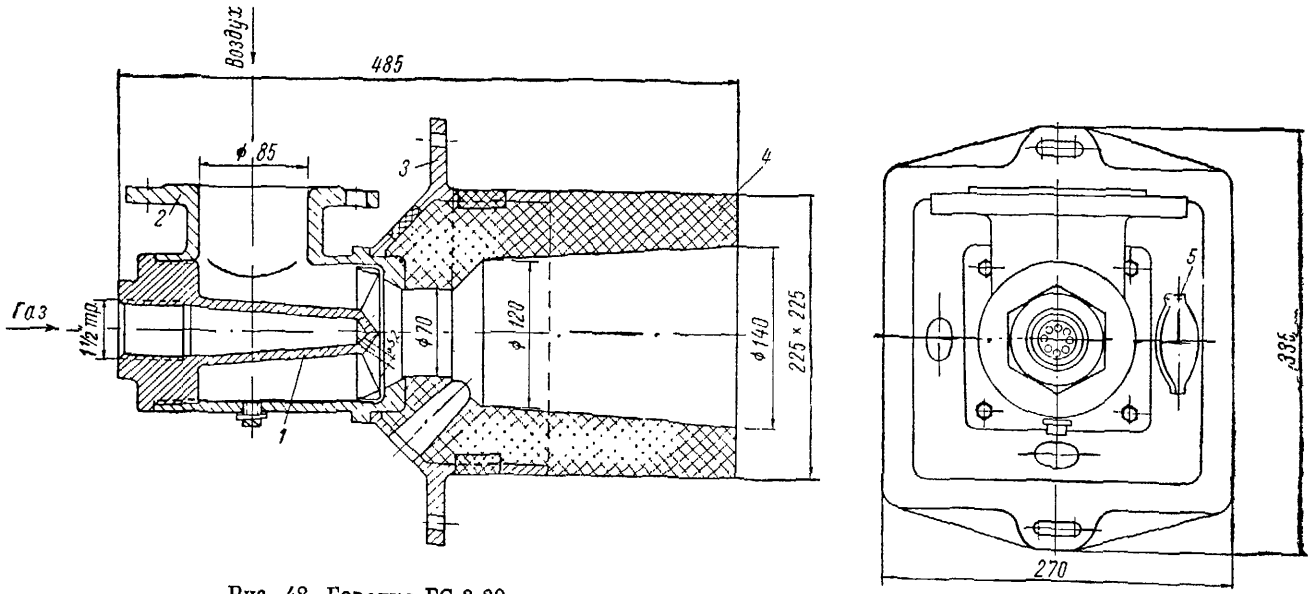


Рис. 48. Горелка ГС-3-20 низкого давления с принудительной подачей воздуха.

1 — сопло; *2* — корпус горелки; *3* — фронтовая плита; *4* — керамический туннель; *5* — глазок.

$\alpha_г = 1{,}05 \div 1{,}1$. Номинальное давление газа и воздуха составляет 130 *мм вод. ст.*

Для лучшего смешения газ *подается в виде* мелких струй в закрученный поток воздуха. Вращательное движение воздуха создается за счет прохождения его через лопатки, расположенные на газовом сопле. В газовом сопле имеется 8 отверстий для выхода газа, расположенных под углом 30° к оси горелки. Горелка заканчивается керамическим туннелем, в котором размещено запальное отверстие для зажигания горелки.

В табл. 41 приведены технические *характеристики* горелок этого типа.

Таблица 41

Характеристики двухпроводных горелок Мосгазпроекта типа ГС (рис. 48)

Тип горелки	Тепловая нагрузка, тыс. *ккал/ч*, при $p_г = p_в = 130$ *мм вод. ст.*	Расход, $м^3/ч$		Диаметр газовыпускных отверстий, *мм*	Количество газовых отверстий, *шт.*	Длина, *мм*	Вес, *кг*
		природного газа	воздуха (при $\alpha_г = 1{,}1$)				
ГС-2-10	50	7	72	3,7	8	400	8,5
ГС-2-20	119	14	145	3,7	16	400	15,3
ГС-3-20	119	14	145	4,5	8	485	35,0
ГС-40	238	28	290	4,5	16	485	75,0

Горелки легко регулируются, работают надежно и *устойчиво*, с небольшим шумом, однако к их недостаткам следует отнести необходимость в подаче воздуха довольно высокого давления.

Горелка Куйбышевского политехнического института для промышленных и отопительных котлов (рис. 49) не требует принудительной подачи *воздуха*. Хорошее перемешивание газа с воздухом в горелке достигается за счет многоструйного выхода газа под углом к оси горелки, *что приводит* к закручиванию потока.

В табл. 42 приведены значения наименьшего разрежения в топке для нормальной работы горелок КИИ различной производительности и даны их основные конструктивные размеры.

Горелки предназначены для природных и попутных газов с $Q_н = 8000 \div 12000$ *ккал/м*³. Давление газа может быть как низким (60 ÷ 100 *мм вод. ст.*), так и средним (1000 ÷ 3000 *мм вод. ст.*). Размеры и число тангенциальных щелей зависят от давления и теплоты сгорания газа.

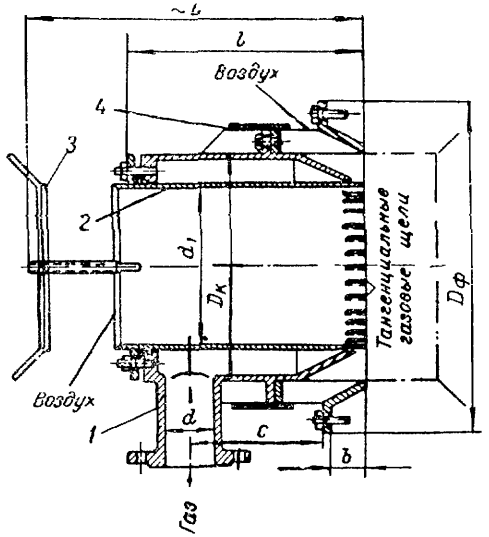


Рис. 49. Горелка Куйбышевского политехнического института.

1 — корпус горелки; *2* — внутренний цилиндр; *3, 4* — воздушные регистры.

Таблица 42

Характеристики горелок Куйбышевского политехнического института (рис. 49)

Тепловая нагрузка горелки, тыс. *ккал/ч*, при номинальном давлении	Расход газа, *м*³/*ч* при $Q_н = 8500$ *ккал/м*³	d, *мм*	d_1, *мм*	$D_к$, *мм*	$D_ф$, *мм*	L, *мм*	l, *мм*	Разрежение в топке, *мм вод. ст.*, не менее
383	45	32	100	200	370	400	230	2,0
510	60	50	150	250	440	460	300	2,5
850	100	70	207	300	500	530	360	3,0
1275	150	80	259	350	570	600	420	3,5
1700	200	80	259	400	650	670	500	4,0

На рис. 50 показана горелка конструкции Мосгазпроекта, получившая широкое распространение. Газ подводится по патрубку в камеру, откуда движется по трубкам, закрепленным в трубной доске. На концы трубок навинчиваются наконечники, имеющие отверстия для выхода газа. Количество трубок, диаметр отверстий для выхода газа и их число зависит от типоразмера горелки. Воздух нагнетается вентилятором в корпус горелки и затем распределяется к каждому наконечнику. Лопатки, укрепленные на наконечнике, закручивают воздушный поток.

В центре горелки расположена труба, которая при работе на газе используется для зажигания и наблюдения за горением. В случае отсутствия газа труба служит для установки мазутной форсунки с паровым распылом типа ЭН-497-52.

Заводское изготовление горелок этого типа упрощено, так как в зависимости от производительности используется разное количество одинаковых элементов.

Горелка имеет факел небольшой длины, так как, во-первых, достигается хорошее предварительное смешение газа с воздухом, а, во-вторых, факел разбит на ряд мелких факелов. Длина факела горелок при максимальных нагрузках не превышает 1,0 ÷ 1,5 *м*.

Горелки (технические данные приведены в табл. 43) допускают регулирование в широких пределах, так как работают устойчиво при давлении газа от 5 до 150 *мм вод. ст.* и разрежение в топке 1 ÷ 2 *мм вод. ст.* Для предохранения стальных деталей этих горелок от излучения топки вся передняя часть горелки футеруется слоем огнеупорной массы следующего состава (об. %): шамотный порошок класса А — 75, глина огнеупорная — 10, песок кварцевый — 5 и раствор — 10. Состав раствора (%): жидкое стекло — 60 и 17%-ный раствор каустической соды — 40.

Горелки крепятся к агрегатам при помощи фланца, приваренного к корпусу.

Горелки этого типа обладают хорошими теплотехническими показателями. Так, испытания, проведенные на котле ДКВР-6,5-13, оборудованном двумя горелками ГА-102, показали, что к. п. д. котла при сжигании природного газа довольно высок и составляет 87 ÷ 88%. Оптимальный коэффициент избытка воздуха $\alpha_{опт} = 1{,}07$. Следует отметить, что в описанных выше испытаниях можно было бы достичь еще лучших результатов, если бы производительность горелок соответствовала производительности котла. Во время испытаний производительность

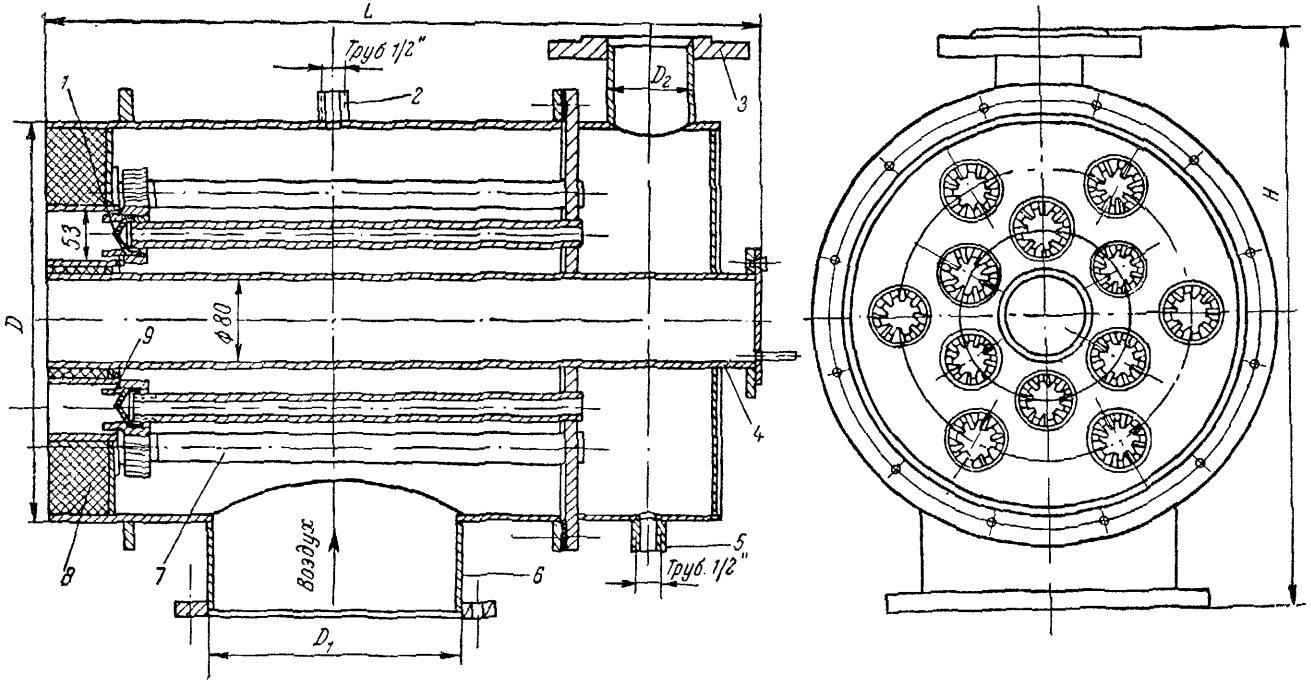


Рис. 50. Горелка с принудительной подачей воздуха Мосгазпроекта.

1 — головка газовой трубки; *2* — штуцер для измерения давления воздуха; *3* — присоединение газопровода; *4* — труба для установки мазутной форсунки; *5* — штуцер для измерения давления газа; *6* — присоединение воздухопровода; *7* — газовая трубка; *8* — огнеупорная футеровка; *9* — завихритель воздуха.

Таблица 43

Технические характеристики горелок Мосгазпроекта (рис. 50)

Тип горелки	Тепловая нагрузка, тыс. *ккал/ч*	Расход газа, *м³/ч*, при $Q_н = 8500$ *ккал/м³*	Кол-во газовых трубок, *шт.*	Диаметр отверстий, *мм* при		Число отверстий в головке газовых трубок, шт.	D, *мм*	D_1, *мм*	D_2, *мм*	L, *мм*	Вес, *кг*
				$p_г = 130$ *мм вод. ст.*	$p_г = 3000$ *мм вод. ст.*						
1230-00	340	40	5	3,1	1,3	8	275	220	50	570	41
1229-00	536	63	8	3,1	1,3	8	320	260	70	665	60
1228-00	800	94	12	3,1	1,3	8	394	310	80	700	78
1227-00	1200	141	18	3,1	1,3	8	440	350	100	715	92
ГА-102	1920	226	8	4,3	2,1	12	400	375	100	835	115
ГА-106	2880	340	12	4,3	2,1	12	490	480	100	875	144
ГА-110	4320	510	18	4,3	2,1	12	530	—	125	1000	195

Примечание. 1. Номинальное давление газа $p_г =$ $= 130$ *мм вод. ст.* или $p_г = 3000$ *мм вод. ст.*, воздуха — $p_в =$ $= 100$ *мм вод. ст.* 2. Горелка ГА-110 имеет воздуховод прямоугольного сечения размером 378×580 *мм*.

котла изменялась от 40 до 120%, загрузка горелок составляла всего 30 ÷ 90%, т. е. горелки работали не на номинальном режиме, а это, безусловно, снизило их показатели.

Горелки низкого давления с принудительной подачей воздуха в сварном исполнении (рис. 51) конструкции Ленгипроинжпроекта предназначены для сжигания природного газа ($Q_н = 8500$ *ккал/м³*) в топках котлов и сушил. Они имеют шесть номеров: № 1, 2 и 4 делятся на две группы — *а* и *б*, а номера 3, 5 и 6 — на три группы — *а*, *б* и *в*. Горелки одного номера, но разных групп имеют одинаковые габаритные размеры и отличаются только размерами газовыпускных отверстий и соответственно — расходом газа.

Горелки рассчитаны для работы на природном газе с давлением 130 *мм вод. ст.*, однако устойчиво работают при давлении газа до 180 *мм вод. ст.* и выше.

Хорошее смешение газа с воздухом в горелках достигается за счет того, что поток газа разбит на 42 струйки,

направленные под углом 45° к потоку воздуха. Основные характеристики горелки приведены в табл. 44 и 45.

Для устойчивой работы этих горелок при нормальном избытке воздуха $\alpha_г = 1{,}05 \div 1{,}1$ необходима стабилизация фронта горения.

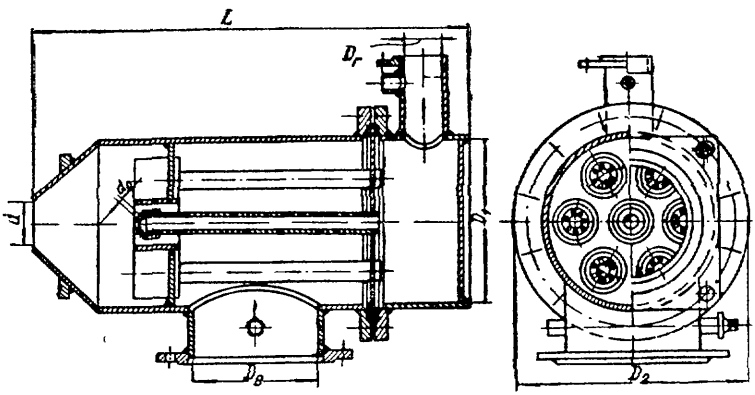


Рис. 51. Горелка с принудительной подачей воздуха Ленгипроинжпроекта.

На рис. 52 приведены распределения температур в огнеупорной камере при сжигании газа горелки № 2*а* и 4*а* с различными коэффициентами избытка воздуха. Максимум температур находится на близком расстоянии

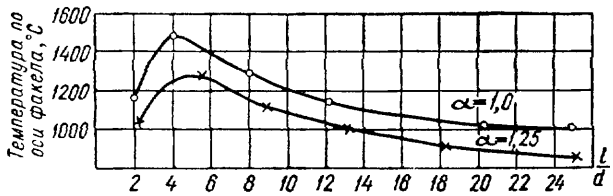


Рис. 52. Распределение температур по оси факела при сжигании газа в горелках с принудительной подачей воздуха Ленгипроинжпроекта.

от устья горелки, так как в ней осуществлено хорошее предварительное смешение газа с воздухом, и зависит, как и следовало ожидать, от избытка воздуха. Наивысшее значение температуры наблюдается при сжигании газа с $\alpha_г = 1{,}0$. С увеличением коэффициента избытка воздуха

Таблица 4

Горелки низкого давления Ленгипроинжпроекта
(рис. 51)

Номер горелки	Тип сопла	Диаметр отверстия d_0, *мм*	Тепловая нагрузка, тыс. *ккал/ч* при номинальном давлении газа 130 *мм вод. ст.*	Номинальное давление воздуха, *мм вод. ст.*	d, *мм*	D_1, *мм*	$D_в$, *мм*	$D_г$, *мм*	L, *мм*	Вес, *кг*
1	а	1,5	93	60	30	140	70	25	396	17,0
	б	1,6	107	70						
2	а	2,1	163	60	45	165	100	40	463	22,5
	б	2,3	196	80						
3	а	2,7	280	50	70	219	150	50	602	48,0
	б	3,1	370	75						
	в	3,5	470	110						
4	а	4,1	655	50	90	273	200	70	770	72,5
	б	4,7	858	75						
5	а	5,4	1050	40	120	377	250	80	971	147,5
	б	5,8	1208	50						
	в	6,1	1350	60						
6	а	6,8	1780	60	150	426	275	100	1080	207,4
	б	7,2	2000	70						
	в	7,6	2220	85						

Примечание. Каждое сопло имеет 6 отверстий.

значение максмальной температуры снижается с 1450 °С до 1280 °С, а ее местоположение сдвигается к концу факела $\left(\frac{l}{d} = 4{,}0 \text{ для } \alpha_г = 1{,}0 \text{ и } \frac{l}{d} = 5{,}5 \text{ для } \alpha_г = 1{,}25\right)$.

На рис. 53 приведена конструкция горелки ЛО Теплопроекта с принудительной подачей воздуха для установки на промышленных печах и сушилах. Горелка рассчитана для сжигания природного газа и имеет 9 типоразмеров. Давление газа и воздуха 60 *мм вод. ст.* Диапазон

Таблица 45

Диапазоны устойчивой работы горелок низкого давления с принудительной подачей воздуха Ленгипроинжпроекта
(сопло типа «а»)

Номер горелки	Минимально допустимое давление газа, *мм вод. см.* при $\alpha_г = 1{,}0$	Диапазон устойчивой работы горелки *
1	5	1 : 6,0
2	5	1 : 6,0
3	5	1 : 6,0
4	10	1 : 4,2
5	15	1 : 3,5
6	20	1 : 3,0

* Верхний предел давления газа принят 180 *мм вод. ст.* нижний — давление, при котором наступает проскок пламени.

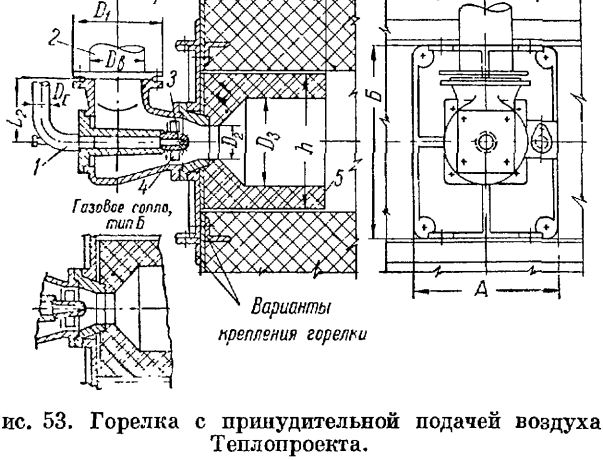


Рис. 53. Горелка с принудительной подачей воздуха Теплопроекта.

1 — подвод газа; *2* — подвод воздуха; *3* — газовое сопло; *4* — завихритель воздуха; *5* — туннель.

устойчивой работы горелки 1 : 4, что требует изменения давления газа от 15 до 240 *мм вод. ст.* Для каждой горелки предусмотрены наконечники газового сопла двух типов — А и Б. Тип А обеспечивает наиболее короткий факел, тип Б — наиболее удлиненный факел.

Это достигается следующим конструктивным приемом. У наконечника газового сопла типа А делается от четырех

до шести отверстий (в зависимости от тепловой нагрузки горелки) для выхода газа, благодаря чему осуществляется хорошее предварительное смешение. У наконечника типа Б делается одно центральное отверстие для выхода газа. Предварительное смешение происходит в этом случае значительно хуже, что и приводит к удлинению факела.

Основные технические характеристики горелок приведены в табл. 46. Горелки рассчитаны для работы на хо-

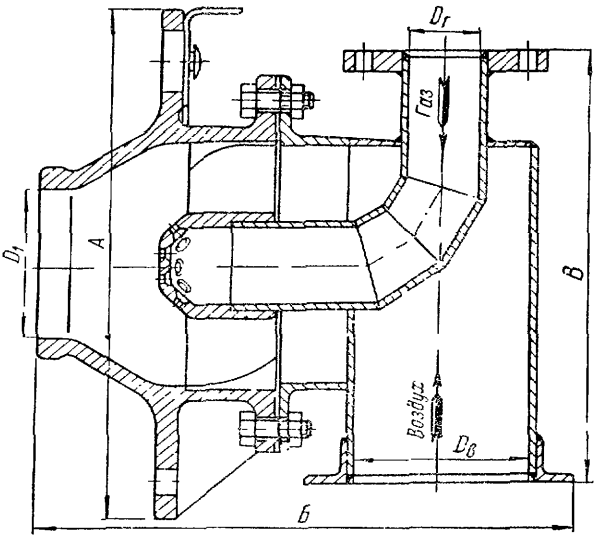


Рис. 54. Горелка с принудительной подачей воздуха Укргипрогорпромгаза.

лодном и горячем воздухе. При применении нагретого воздуха расход газа при тех же давлениях снижается в зависимости от температуры воздуха (табл. 47).

Укргипрогорпромгазом применяется для установки на агрегатах горелка низкого давления с принудительной подачей воздуха. Горелка (рис. 54) имеет довольно простую конструкцию. Газ подводится по центральной трубе и выходит через ряд отверстий под некоторым углом к направлению потока воздуха, который закручивается специальными лопатками. Однако вследствие выхода газа через отверстия сравнительно большого диаметра и слабой закрутки воздушного потока в горелке не обеспечивается хорошее качество смешения и факел имеет длину более 2 ÷ 2,5 *м*. Испытания этих горелок на котлах

Типоразмер горелки	Тепловая нагрузка, тыс. *ккал/ч*, при $p_г = 60$ *мм вод. ст.*	d_1, *мм*	n, шт.	L, *мм*
ГНП-1	25,5 / 34,0	3,2 / 5,5	4 / 1	165
ГНП-2	42,5 / 55,2	4,2 / 7,0	4 / 1	180
ГНП-3	85 / 110	4,8 / 10,0	6 / 1	220
ГНП-4	1275 / 157	5,8 / 12.0	6 / 1	250
ГНП-5	222 / 285	7,8 / 16,0	6 / 1	285
ГНП-6	340 / 445	9,6 / 20,0	6 / 1	320
ГНП-7	510 / 645	11,8 / 24,0	6 / 1	360
ГНП-8	664 / 875	13,5 / 28,0	6 / 1	405
ГНП-9	890 / 1070	15,5 / 31,0	6 / 1	445

Примечание. Значения тепловой нагрузки, диаметров и числа теле, а с соплом типа Б — в знаменателе.

показали, что, несмотря на наличие дожигательной решетки, потери тепла от химической неполноты сгорания составляют $q_з = 2 \div 3\%$. В зависимости от расхода газа горелка имеет шесть типоразмеров.

В табл. 48 приведены технические характеристики горелок этого типа.

На рис. 55 приведена горелка, имеющая улиткообразный подвод воздуха. Горелка имеет семь типоразмеров с расходом газа от 40 до 400 *м³/ч*.

Таблица 46

тельной подачей воздуха
53)

d, *мм*	$D_в$, *мм*	$D_г$, *мм*	А×Б, *мм*	Вес, *кг*
25	36	20	130×240	5,2
32	40	20	240×310	6,5
46	70	25	240×310	12,2
55	80	25	240×380	14,7
74	100	32	360×400	22,5
92	125	40	380×500	29,0
112	150	50	500×600	38,0
130	175	70	500×600	47,0
145	175	70	500×600	68,6

газовыходных отверстий даны для горелок с соплом типа А в числи-

Горелки рассчитаны на коксовый и сланцевый газ с давлением 80 ÷ 100 *мм вод. ст.* Давление воздуха 150 ÷ ÷ 200 *мм вод. ст.* Без изменения размеров они могут быть использованы для сжигания природного газа при снижении его давления. Горелки компактны и удобны при монтаже. Основные технические характеристики этих горелок даны в табл. 49.

Закручивание потока воздуха по сравнению с прямоточной его подачей имеет ряд особенностей. Закрученная

Таблица 47

Расход газа горелками ГНП в зависимости от температуры воздуха

Температура воздуха, °С	Расход газа, %	Температура воздуха, °С	Расход газа, %
0	100	300	69
100	85	350	66
150	80	400	64
200	76	450	62
250	72	500	60

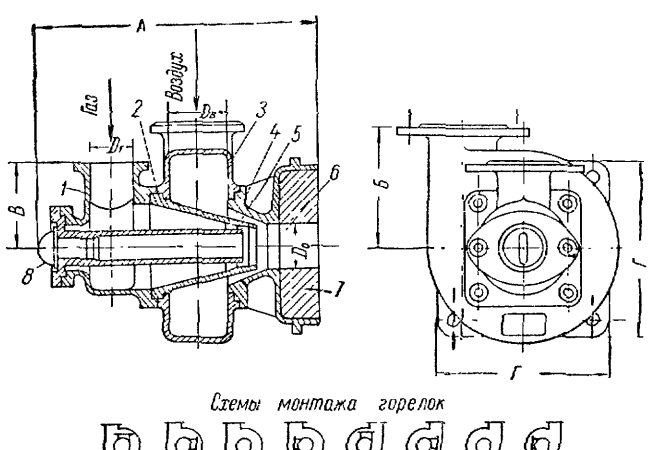


Рис. 55. Горелка с вращательным движением воздуха.

1 — газоподводящий тройник; *2* — газовое сопло; *3* — воздухоподводящая улитка; *4* — кольцевая щель для газа; *5* — кольцевая щель для воздуха; *6* — смесительная камера; *7* — футеровка; *8* — устройство для наблюдения за горением.

струя воздуха имеет меньшую дальнобойность, а интенсивность смешения газа с воздухом увеличивается. Это приводит к сокращению длины факела, что для топок с небольшими размерами имеет большое значение.

Горелки, в которых газ подается в закрученный поток воздуха, часто называют *турбулентными*. Турбулентные горелки выполняются как чисто газовые, так и комбинированные. Различные модификации горелок различаются между собой в основном: а) конструкцией газовыпускных устройств; б) скоростью газа на выходе из газо-

Таблица 48

Горелки низкого давления Укргипрогорпромгаза
(рис. 54)

Тип горелки	Тепловая нагрузка при номинальном давлении газа, тыс. *ккал/ч*	Номинальное давление газа, *мм вод. ст.*	Номинальное давление воздуха, *мм вод. ст.*	*А*, *мм*	*Б*, *мм*	$D_в$, *мм*	$D_г$, *мм*	D_1, *мм*	Вес, *кг*
ГНД-1	420	60	60	340	272	120	57	100	30
ГНД-2	610	60	60	390	317	140	76	130	42
ГНД-3	840	60	60	425	332	160	89	160	62
ГНД-4	1450	60	60	500	403	200	108	200	94
ГНД-5	2900	100	80	550	448	250	133	250	113
ГНД-6	3780	120	80	600	515	315	159	315	148

Таблица 49

Горелки с вращательным движением воздуха
(рис. 55)

Тепловая нагрузка, тыс. *ккал/ч*, при $p_г = 100$ *мм вод. ст.*	$D_о$	$D_г$	$D_в$	*А*, *мм*	*Б*, *мм*	*В*, *мм*	*Г*, *мм*
160	50	50	65	365	220	100	250
240	60	65	75	395	220	110	250
320	75	75	100	450	220	125	250
400	100	100	125	540	280	140	310
600	125	125	150	615	320	170	350
1000	150	150	200	715	420	190	460
1600	200	200	250	855	540	235	580

выпускных отверстий; в) конструкций аппарата для закручивания воздушного потока; г) формой и размерами амбразуры.

Газовыпускные отверстия обычно располагаются в шахматном порядке в 2 ряда. Диаметр отверстий варьируется в пределах 3,0 ÷ 12,0 *мм*. Угол атаки, т. е. угол встречи между струями газа и направлением потока воздуха, принимается для отверстий 1-го ряда 80 ÷ 85°, для отверстий 2-го ряда — 50 ÷ 60°.

Для установки под паровыми котлами производительностью от 2 до 10 *т/ч* Ленгипроинжпроектом разработана *турбулентная газомазутная горелка* с периферийной подачей газа в закрученный поток воздуха. Горелки могут применяться в других агрегатах соответствующей теплопроизводительности, когда *основным топливом является* природный газ, а резервным — мазут.

Горелка (рис. 56) состоит из улитки, газового коллектора, мазутной форсунки, защитного кожуха, который удаляется при работе горелки на газе, языкового шибера. Газ через два ряда газовыпускных отверстий в кольцевом коллекторе выдается в закрученный поток воздуха от периферии к центру. Благодаря хорошему смешению газа с воздухом факел получается коротким.

Исследование этих горелок показало, что они работают устойчиво и экономично при давлении газа от 20 до 600 *мм вод. ст.* Потери тепла от химической неполноты сгорания отсутствуют при коэффициенте избытка воздуха на выходе из горелки $\alpha_т = 1{,}03 \div 1{,}05$ и теплонапряжении топочного объема $300 \cdot 10^3$ *ккал/м³·ч*.

Длина факела этих горелок не превышает 1 ÷ 1,2 *м*. При этом наиболее быстрое выгорание происходит при скоростях выхода газа из отверстий 45 ÷ 50 *м/сек* и $\frac{W_г}{W_в} = 11 \div 12{,}5$. В этом режиме длина факела составляет всего 0,8 *м*.

Работа этих горелок исследовалась на промышленных котлах. В период испытаний производительность агрегата изменялась от 40 до 140% от номинальной, при этом потери тепла от химической неполноты сгорания отсутствовали, а к. п. д. котла составлял от 85,5 до 90%.

При переходе на жидкое топливо в центре горелки устанавливается мазутная форсунка с паровым или механическим распылом, а газовый коллектор закрывается защитным устройством. Имеющийся языковый шибер используется при работе на мазуте для разрушения

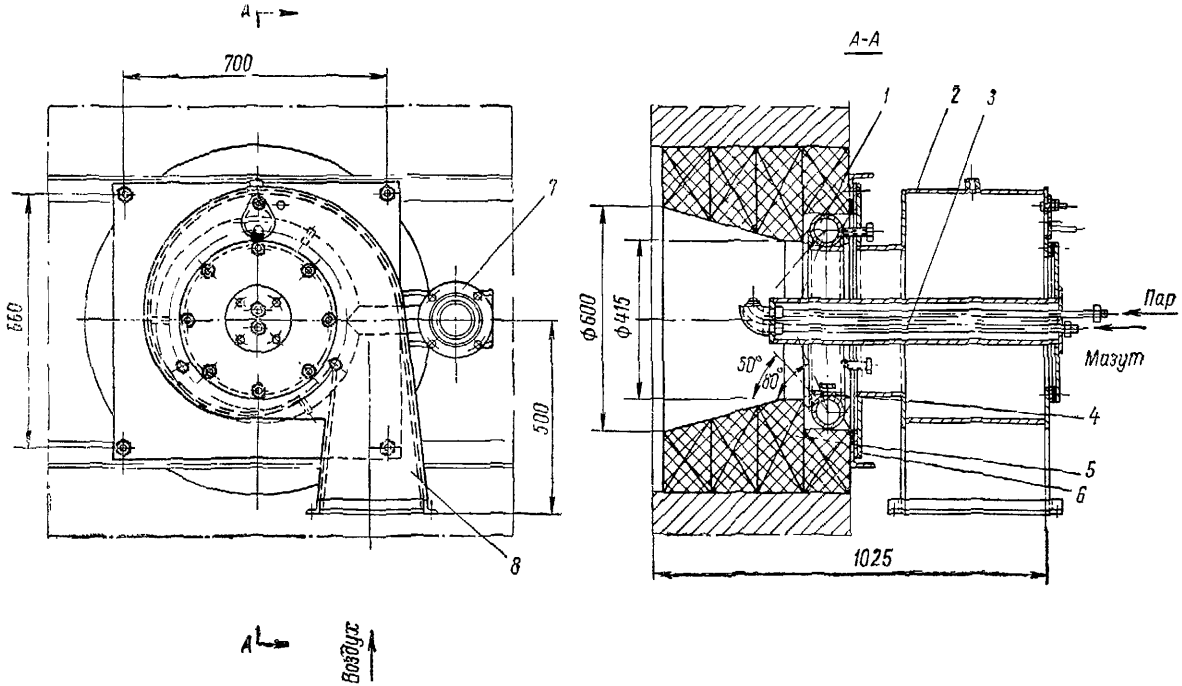


Рис. 56. Турбулентная газомазутная горелка Ленгипроинжпроекта с периферийной подачей газа.

1 — кольцевой газораспределительный коллектор; *2* — улитка; *3* — мазутная форсунка; *4* — защитное устройство для работы на мазуте; *5* — амбразура; *6* — фронтовой лист; *7* — газовый патрубок; *8* — воздушный патрубок.

крутки, что предотвращает зажигание мазута в начальной части амбразуры.

Разработано три типоразмера этой горелки. Характеристики приведены в табл. 50.

Таблица 50

Характеристика турбулентных газомазутных горелок Ленгипроинжпроекта (при номинальном давлении газа 200 *мм вод. ст.*)

(рис. 56)

Технические показатели	Типоразмер горелки		
	I	II	III
Тепловая нагрузка горелки, *ккал/ч*	1 530 000	1 920 000	2 525 000
Номинальное давление воздуха, *мм вод. ст.*	20	35	55
Расход газа при номинальном давлении, *м³/ч*	180	225	300
Расход мазута ($Q_р$=9420 *ккал/кг*) при номинальном давлении, *кг/ч*	162	204	268
Количество отверстий в ряду, шт.	39	49	66
Шаг между отверстиями, *мм*	33,1/31,9 *	26,3/25,4	19,5/18,9
Диаметр амбразуры, *мм*:			
на входе		415	
на выходе		600	
Размер фронтовой плиты, *мм*		660×700	

* Значения в числителе относятся к 1-му ряду отверстий, в знаменателе — ко 2-му. Диаметр газовыходных отверстий 5 *мм*.

Турбулентные горелки иногда выполняются с двумя газораспределительными камерами. Корпус двухкамерной турбулентной горелки выполняется из двух стальных труб, расположенных концентрично. Во внутреннюю трубу вставляется в период растопки котла запальник, а во время работы горелки труба закрывается донышком.

Газ подводится к двум самостоятельным кольцевым камерам. Передняя газовая камера (со стороны топки) имеет на своей поверхности два ряда газовыпускных отверстий, а у второй газовой камеры отверстия расположены в три ряда. Газ из этих отверстий выходит со скоростью 25 ÷ 35 *м/сек* в закрученный поток воздуха и, смешиваясь с ним, направляется в топку. Испытания горелки, проведенные Промэнергогазом, показали, что она работает вполне удовлетворительно; при избытке воздуха

на выходе из горелки $\alpha_г = 1{,}03 \div 1{,}05$ потери тепла от химической неполноты сгорания отсутствуют.

На рис. 57 показана щелевая горелка с принудительной подачей воздуха.

Горелочное устройство состоит из стального корпуса, коллекторов с газовыми соплами, общего газового коллектора, керамического блока из огнеупорного кирпича и устройства для подвода воздуха. Горелка рассчитана на принудительную подачу воздуха от вентилятора низкого давления. При нагрузках ниже 50% от номинальной и наличии разрежения в топке агрегата она может работать и без принудительной подачи воздуха.

Минимальное давление газа 500 *мм вод. ст.*, диапазон устойчивой работы 1 : 3. Укргипрогорпромгазом разработано три типоразмера этих горелок. Их характеристики приведены в табл. 51.

Таблица 51

Характеристики щелевой горелки с принудительной подачей воздуха (рис. 57)

Технические показатели	Типоразмер горелки		
	ГДЩ-С-100	ГДЩ-С-150	ГДЩ-С-250
Номинальная тепловая нагрузка, тыс. *ккал/ч*, при давлении $p_г$ = 3000 *мм вод. ст.*	850	1275	2125
Номинальный расход газа, $м^3/ч$	100	150	250
Номинальное давление воздуха, *мм вод. ст.* при $\alpha = 1{,}1$	25	40	40
Диаметр газового сопла, *мм*	3,0	3,5	3,5
Количество газовых сопел, шт.	21	24	40
Диаметр подводящего газопровода, дюймы	2	$2^1/_2$	$2^1/_2$
Размеры керамического блока, *мм*	280×330	250×385	385×425
Размеры подводящего воздухопровода, *мм*	314×330	480×300	415×435
Вес горелки, *кг*	26,0	29,5	37,2

Для перехода с твердого топлива на газообразное и обратно без демонтажа горелочных устройств Ленгипроинжпроектом разработана конструкция вертикально-ще-

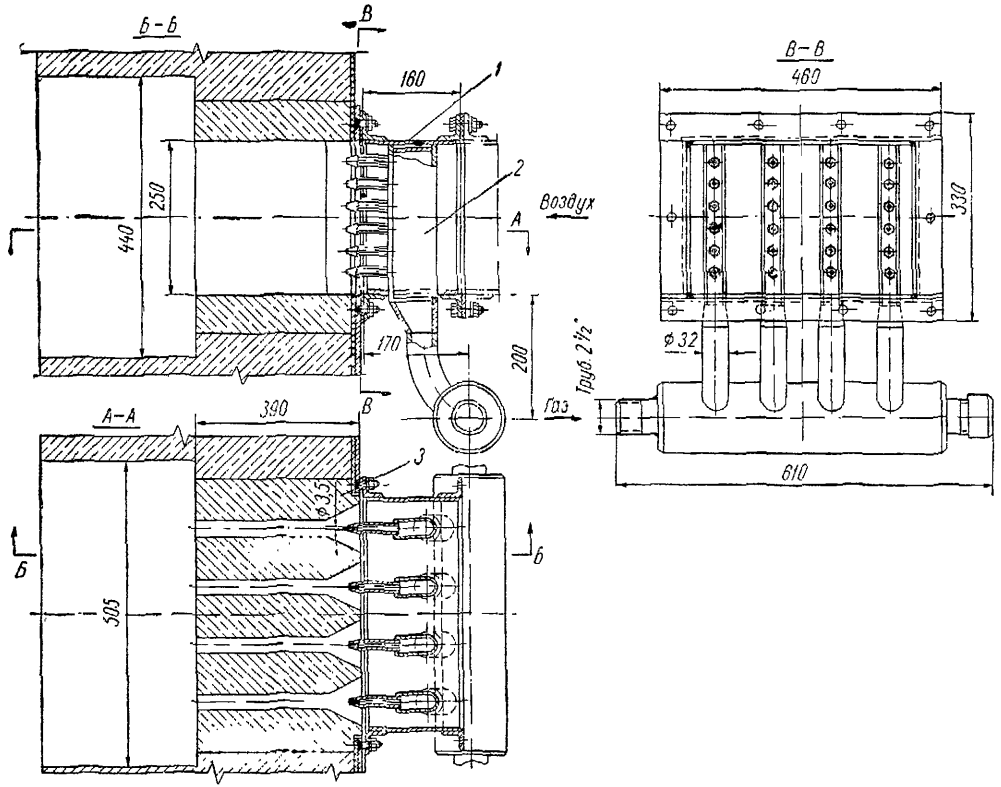


Рис. 57. Щелевая горелка с принудительной подачей воздуха.

1 — корпус; *2* — коллектор с газовыми соплами; *3* — блок из огнеупорного кирпича.

левой горелки. Эти горелки устанавливаются на боковых стенках топки котлов ДКВ и ДКВР при сохранении располагаемого с фронта топочного устройства ПМЗ-ЦКТИ *для сжигания твердого топлива.*

Вертикально - щелевая горелка (рис. 58) состоит из металлического короба, в котором вмонтированы две газораспределительные трубы диаметром 40 ÷ ÷ 60 *мм*. На каждой трубке расположен один ряд газовыходных отверстий под углом 45° к оси горелки. Газ, выходя из отверстий, смешивается с воздухом, поступающим от вентилятора в воздушный короб горелки. Затем газо-воздушная смесь поступает в щель глубиною 250 *мм* и шириною 80 *мм*, прорезанную в обмуровке. Высота щели изменяется в зависимости от производительности горелки.

Испытания работы вертикально - щелевых горелок, проведенные на котле ДКВР-2,5, показали, что горелки работают устойчиво при изменении давления газа от 200 до 3500 *мм вод. ст.*, что соответствует диапазону устойчивой работы 1 : 4. Полное сжигание газа достигается при

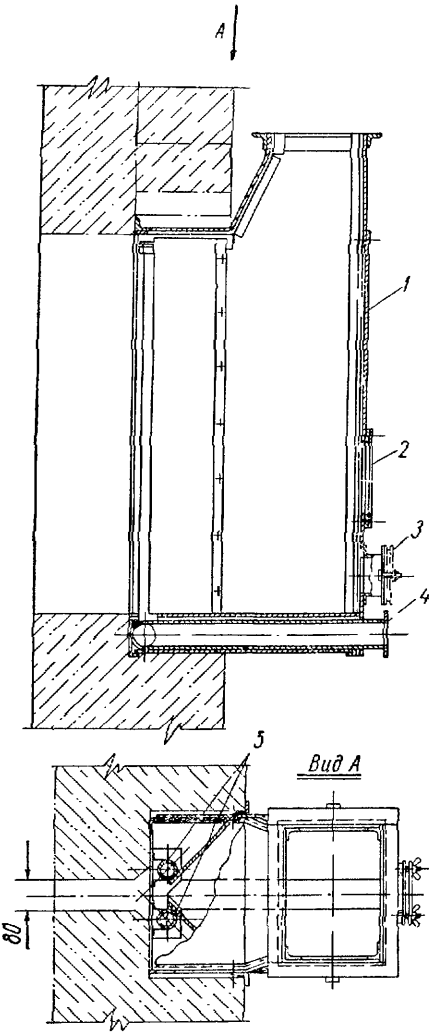


Рис. 58. Вертикально-щелевая горелка с принудительной подачей воздуха.

1 — воздушный короб; *2* — смотровое окно; *3* — отверстия для зажигания; *4* — газоподводящая труба; *5* — газовые коллекторы с отверстиями.

коэффициенте избытка воздуха на выходе из горелки $\alpha_т = 1{,}05 \div 1{,}1$. Разработано четыре типоразмера вертикально-щелевых горелок для установки на котлах производительностью от 2,5 до 10 *т/ч*. На котел устанавливается четыре горелки, по две на каждой боковой стенке топки. Характеристика горелок помещена в табл. 52, а в табл. 53 приведены результаты испытаний этих горелок на котле ДКВР-10-13.

Таблица 52

Характеристики вертикально-щелевых горелок (рис. 58)

Технические показатели	Типоразмер горелки			
	I	II	III	IV
Номинальная тепловая нагрузка ($p_г$ = = 1500 *мм вод. ст.*), тыс. *ккал/ч*	765	980	1275	1910
Номинальный расход газа ($Q_н$ = 8500 *ккал/м³*), *м³/ч*	90	115	150	225
Расход воздуха, *м³/ч* (номинальное давление воздуха = 25 *мм вод. ст.*)	900	1150	1500	2250
Диаметр газовыходных отверстий, *мм*	1,8	2,0	2,1	2,2
Количество газовыходных отверстий на одной трубе, шт.	42	42	48	70
Высота огнеупорной щели, *мм*	600	600	700	1000
Размеры выступающего воздушного короба, *мм*	200×250	200×250	200×250	250×350
Высота воздушного короба, *мм*	920	920	1020	1340

В горелке Мосэнергопроекта осуществляется центральная подача газа в закрученный поток воздуха. Выходные щели газового наконечника размещены в полости амбразуры на некотором расстоянии от выходного сечения. Газ подается в горелку (рис. 59) через патрубок и движется по межтрубному пространству, образованному двумя трубами. Воздух подается в корпус горелки и закручивается проходя через лопатки. Смешение газа с воздухом начинается при истечении его из щелей. Щели имеют прямоугольное сечение размером 4 × 40 *мм*. Продоль-

Таблица 53

Показатели работы вертикально-щелевой горелки на котле ДКВР-10-13

Показатели	Производительность котла, % от номинальной				
	30	55	70	90	110
Расход газа на котел, *м³/ч* . . .	260	485	620	790	980
Давление газа перед горелкой, *мм вод. ст.*	140	490	760	760	1970
Давление воздуха перед горелкой, *мм вод. ст.*	1,5	5,0	8,0	13,0	19,0
Коэффициент избытка воздуха за котлом	1,69	1,16	1,22	1,10	1,13
Температура уходящих газов, °С	156	193	212	236	266
Потери тепла, %:					
с уходящими газами	9,0	7,7	8,5	9,5	10,8
от химической неполноты сгорания	0	0	0	0	0
в окружающую среду	3,3	1,8	1,4	1,0	1,0
Коэффициент полезного действия котла, %	87,7	90,5	90,1	89,5	88,2

ные оси щелей наклонены к оси трубы под углом 15°. Воздушные и газовые потоки закручены в одну сторону. Расстояние от места истечения газа до выходного сечения амбразуры невелико и составляет всего половину диаметра амбразуры, поэтому в амбразуре происходит только начальная стадия смешения. В результате горелки имеют довольно длинный факел. При переходе на сжигание мазута в центральную трубу горелки вставляется мазутная форсунка. Испытания горелок этого типа при работе на газе показали, что они работают без потерь тепла от химической неполноты сгорания при коэффициенте избытка воздуха за котлом $\alpha = 1{,}15 \div 1{,}20$. Основные характеристики горелок приведены в табл. 54.

Конструкция газомазутной горелки типа ГМ-Н с малой тепловой нагрузкой показана на рис. 60. Выпускается пять модификаций горелки. Их производительность по газу колеблется от 10 до 70 *м³/ч* при давлении 130 *мм вод. ст.* Давление мазута поддерживается 0,2 *кГ/см²*, а расход изменяется от 8 до 48 *кг/ч*. Горелки требуют довольно высокого давления воздуха — 300 ÷ 500 *мм вод. ст.*, что следует отнести к их недостаткам.

Мазутная форсунка представляет трубку с сужающимся концом. Распыл мазута осуществляется воздухом.

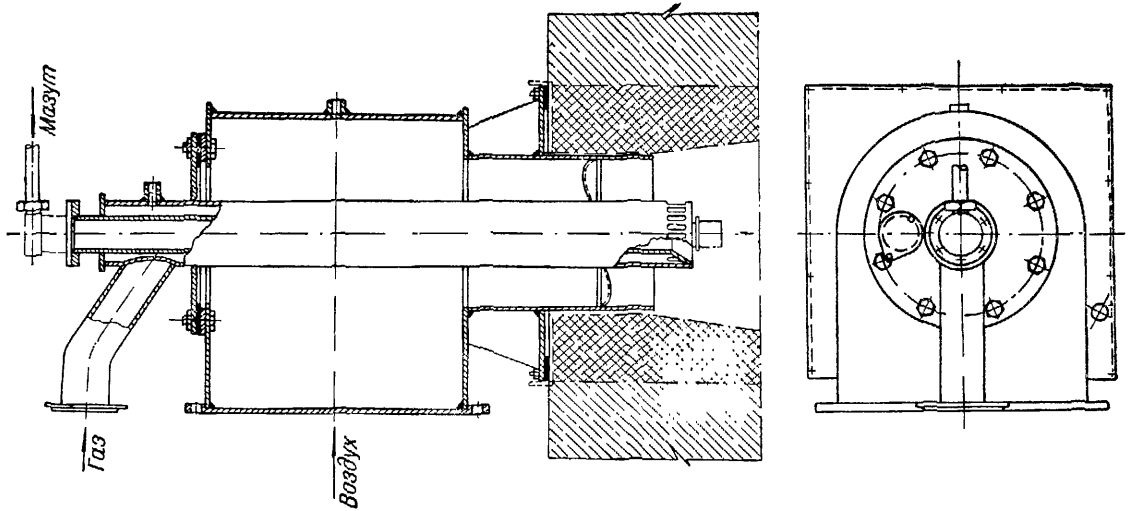


Рис. 59. Газомазутная горелка Мосэнергопроекта.

Таблица 5

Характеристики газомазутных горелок Мосэнергопроекта, (рис. 59)

Эксплуатационные и конструктивные данные	Типоразмер горелки			
	I	II	III	IV
Номинальная тепловая нагрузка, *тыс. ккал/ч*	1360	2300	2750	460(
Расход природного газа, *м³/ч*	160	270	325	54(
Давление газа при номинальной нагрузке, *мм вод. ст.*	110	135	100	10(
Давление воздуха перед горелкой, *мм вод. ст.*	75	75	100	10(
Расход воздуха на горение, *м³/ч*	1750	3000	4100	700(
Производительность форсунки МФПР завода «Ильмарине», *кг/ч*	150	250	300	50(
Длина факела, *м*	1,5	2,0 ÷ 2,5	2,5 ÷ 3,0	4,(
Общая длина горелки, *мм*	790	1030	1180	138(
Диаметр воздуховода, *мм*	245	325	377	57(
Диаметр подводящего газопровода, *мм*	76	89	89	10(
Диаметр насадка, *мм*	194	245	273	34(
Размеры фронтового листа, *мм*	550× ×370	545×480	545×480	545× 700
Вес горелки, *кг*	74	90	110	167

Горелка может работать на холодном и подогретом воздухе. Основные технические данные газомазутных горелок типа ГМ-Н приведены в табл. 55.

Газомазутные горелки типа ФГМ конструкции Гипронефтемаша предназначаются как для одновременного так и для раздельного сжигания жидкого и газообразного топлива в камерных топках промышленных печей и котлов.

Горелка ФГМ-120 изготовляется с регистром атмосферного воздуха, а ФГМ-95 и ФГМ-75 — без него.

Горелка (рис. 61) состоит из трех конструктивных частей: газовой, жидкостной и воздушной.

Газовая часть горелки состоит из газового коллектора, представляющего кольцо со штуцером для подвода газа, и восьми трубок для раздачи его.

Жидкостная часть горелки состоит из паромазутной головки, мазутной головки, внутренней трубы, заканчивающейся соплом, и наружной трубы, заканчивающейся диффузором. Подача мазута регулируется шпинделем

Таблица 55

Газомазутная горелка типа ГМ-Н (рис. 60)

Технические данные	Типоразмер горелки				
	ГМ-Н-12	ГМ-Н-17	ГМ-П-30	ГМ-П-45	ГМ-Н-70
Номинальная тепловая нагрузка, тыс. *ккал*	93	144	255	382	595
Номинальный расход:					
газа, $м^3/ч$	12	17	30	45	70
мазута, *кг/ч*	8	12	20	32	48
воздуха, $м^3/ч$	120	170	300	450	700
Размеры:					
D_0, дюймы	1	$1^1/_4$	$1^1/_2$	2	$2^1/_2$
d_1, *мм*	3	3	4	4	5
D_1, *мм*	140	160	190	210	240
A, *мм*	58	70	75	95	110
$Б$, *мм*	205	235	261	303	353
$В$, *мм*	255	285	365	460	555
Вес, *кг*	6,5	9,0	15,0	22,0	40,0

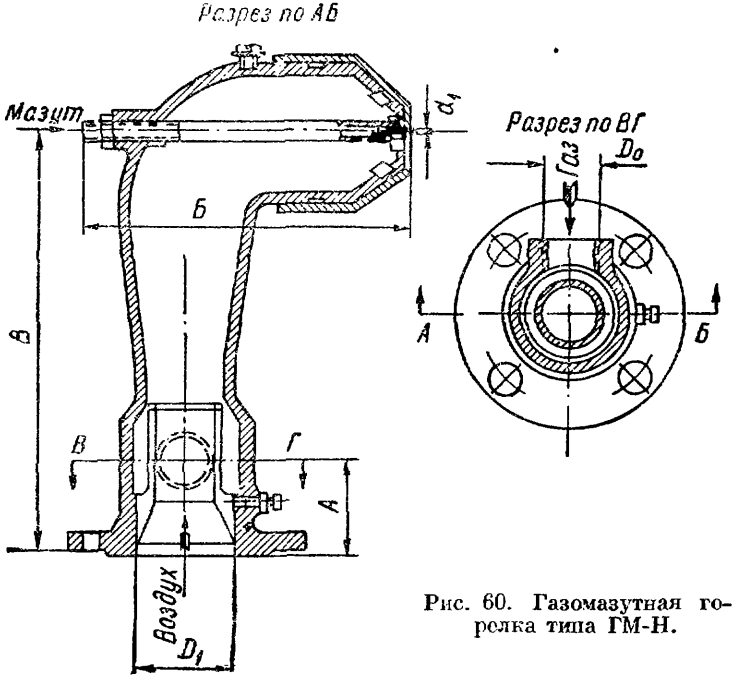


Рис. 60. Газомазутная горелка типа ГМ-Н.

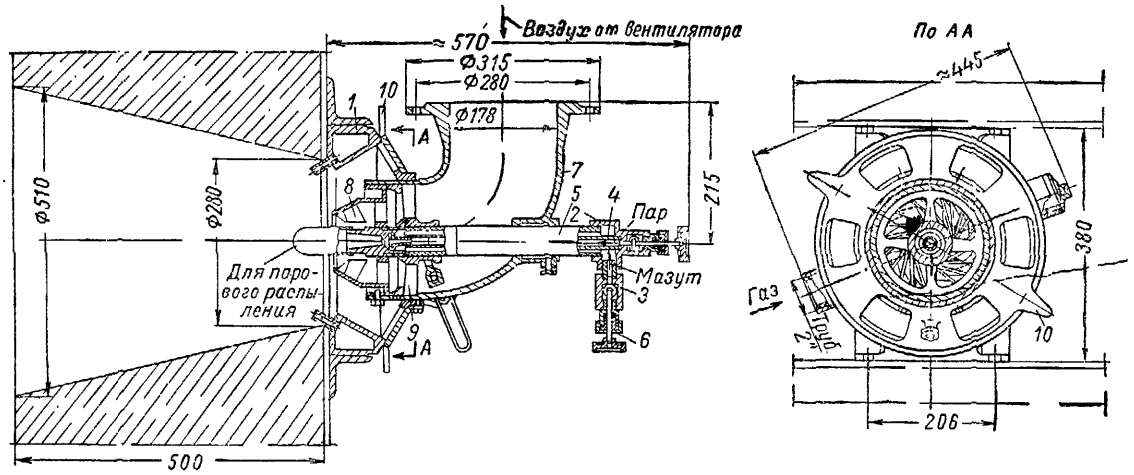


Рис. 61. Газомазутная горелка типа ФГМ-95.

1 — газовый коллектор; *2* — паромазутная головка; *3* — мазутная головка; *4* — внутренняя труба; *5* — корпус форсунки; *6* — шпиндель; *7* — корпус горелки; *8* — завихритель; *9* — воздушная заслонка; *10* — шибер.

путем перемещения его вдоль оси мазутной головки. Для плавной подачи мазута на конце шпинделя сделана специальная выемка треугольного сечения, которая благодаря конусности обеспечивает уменьшение или увеличение расхода мазута.

Воздушная часть горелки состоит из корпуса, завихрителя, заслонки и шибера. Воздух подается от вентилятора в корпус с давлением 200 ÷ 300 *мм вод. ст.* Часть воздуха проходит через завихритель, подхватывая мазутную струю, выходящую через диффузор. Остальная часть воздуха поступает в горелочную амбразуру мимо завихрителя через отверстия корпуса.

Подача первичного воздуха через завихритель регулируется заслонкой, которая передвигается по наружной трубе при помощи рукоятки. У горелки ФГМ-120, кроме того, имеется регистр атмосферного воздуха.

На газе горелки могут работать как с принудительной подачей воздуха, так и за счет естественного поступления его в топку. Подача воздуха регулируется с помощью шибера.

Распыливание жидкого топлива и закручивание потока газа производится холодным или подогретым воздухом. При работе на подогретом воздухе производительность горелки снижается на 20 ÷ 25%. В случае необходимости (при остановке вентилятора) предусмотрен паровой распыл топлива. При этом давление пара составляет от 3 до 10 *кГ/см*^{2}, а его удельный расход — 0,45 *кг* пара на 1 *кг* топлива. Технические характеристики горелок ФГМ приведены в табл. 56.

Таблица 56

Техническая характеристика горелок ФГМ Гипронефтемаша (рис. 61)

Тип горелки	Расход, *кг/ч*		Расход воздуха, *м*^{3}*/ч*		Общая длина, *мм*	Вес, *кг*
	Жидкое топливо, $Q_р$ = 10 000 *ккал/кг*	Газ, $Q_н$ = = 13 000 *ккал/м*^{3}	через завихритель	общий		
ФГМ-75	50 ÷ 75	60	310 ÷ 575	515 ÷ 960	570	56
ФГМ-95	75 ÷ 120	100	575 ÷ 925	960 ÷ 1540	570	57
ФГМ-120	120 ÷ 200	150	925 ÷ 1540	1540 ÷ 2570	665	67

Давление мазута у горелок ФГМ поддерживается в пределах 0,3 ÷ 3,0 *кГ/см²*, а давление газа — 100 ÷ ÷ 1000 *мм вод. ст.* Температура мазута поддерживается (в зависимости от его марки) от 40 до 120° С, газа — от 0 до 80° С, а воздуха — до 250° С.

Горелки работают бесшумно и дают короткий факел. Горелки зажигаются запальником, вводимым через окно шибера. Для наблюдения за факелом на шибере имеются два смотровых окна.

Горелки энергетических котлов промышленных ТЭЦ и электростанций

Горелочные устройства крупных котлов обычно выполняются как комбинированные, т. е. рассчитываются на сжигание двух видов топлива. Наибольшее распространение получили газомазутные и пылегазовые горелки. Однако могут быть горелки, работающие на всех трех видах топлива, т. е. твердом, жидком и газообразном.

Для сжигания природного газа и жидкого топлива в Центральном котлотурбинном институте им. И. И. Ползунова разработана газомазутная горелка большой производительности (рис. 62). В качестве аппарата для закручивания воздушного потока применен цилиндрический регистр с профилированными лопатками, обеспечивающий хорошее смешение топлива с воздухом. Регистр выполняется правым (направление закрутки потока воздуха — по часовой стрелке) или левым (направление закрутки — против часовой стрелки).

В горелке осуществляется периферийная подача газа через два ряда отверстий одинакового диаметра. Горелка комплектуется электрозапальным устройством, фотодатчиком, обеспечивающим безопасную работу, и жалюзийным клапаном. Основные характеристики горелок приведены в табл 57. Давление воздуха перед горелками поддерживается в пределах 120 ÷ 150 *мм вод. ст.*

Разработанная Белгородским котлостроительным заводом газомазутная горелка предназначена для установки на котлах паропроизводительностью до 30 *т/ч*. Основные технические характеристики горелок приведены в табл. 58.

На рис. 63 показана газомазутная горелка Оргмонтажэнергогаза (ОЭН), применяемая для паровых котлов производительностью до 40 *т/ч*. Горелка сконструирована на базе мазутной форсунки воздушного распыливания системы Оргэнергонефти. Газовая часть горелки выполнена

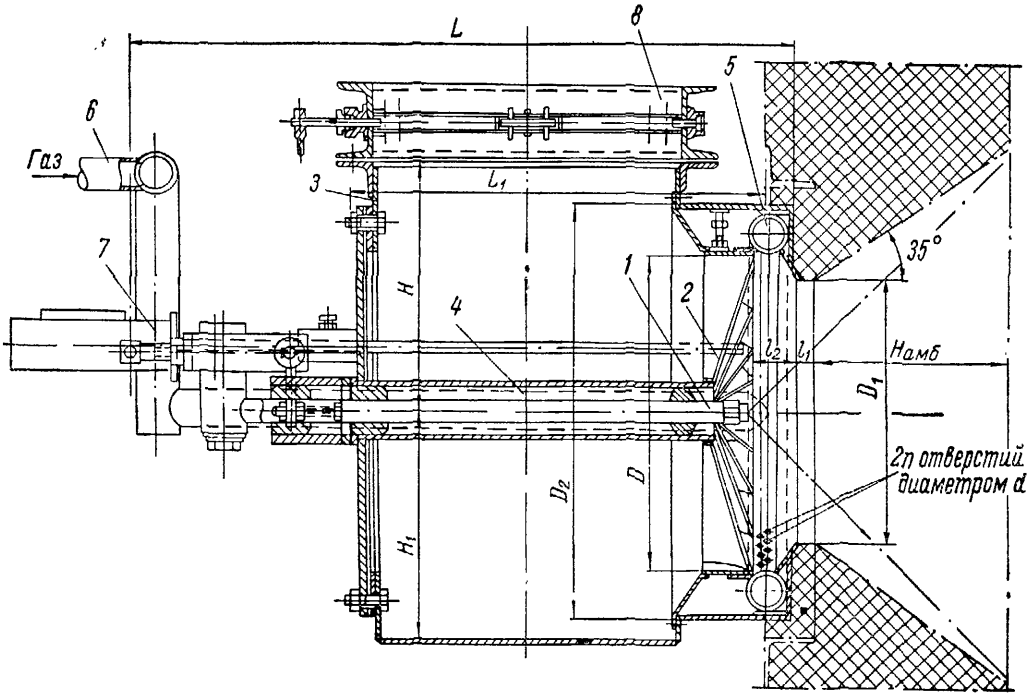


Рис. 62. Газомазутная горелка ЦКТИ.

1 — форсунка; *2* — воздушный регистр; *3* — корпус горелки; *4* — направляющая труба форсунки; *5* — газовый коллектор; *6* — подводящий газопровод; *7* — запальное устройство; *8* — клапан жалюзийный.

Таблица 57

Газомазутная горелка ЦКТИ (рис. 62)

Технические данные	Типоразмер горелки					
	I	II	III	IV	V	VI
Производительность: по мазуту, *кг/ч* при абс. давлении 20 *ат* . .	400	600	800	1200	1600	2000
при абс. давлении 35 *ат* . .	500	800	1000	1500	2000	2600
по газу, *м³/ч* . .	550	880	1100	1640	2190	2850
Давление газа, *мм вод. ст.*	400	500	650	750	1000	1500
Расход воздуха, *м³/ч*	5200	8400	10 500	15 500	20 700	27 000
Размеры, *мм*:						
D	400	510	560	680	780	880
D_1	350	445	490	595	680	770
$H_{амб}$	220	220	250	280	280	280
L	870	1005	1015	1255	1390	1510
l	45	65	65	75	90	100
d	6	6	6	7	7	7
$2n$	90	128	144	144	164	180
Вес, *кг* *	125	196	213	303	364	431

* Общий вес горелки указан без веса запального устройства, фотодатчика и жалюзийного клапана.

в виде кольцевой цилиндрической камеры, заканчивающейся выходной головкой, в которой расположены газовыпускные отверстия. Газовыпускные отверстия располагаются в один ряд под углом 45° к оси закрученного потока воздуха. Закрутка первичного воздуха осуществляется в завихрителе с профилирующими лопатками, который при работе на мазуте служит для турбулизации распыливающего воздуха. Кроме того, при работе на мазуте в горелку подается вторичный воздух, получающий закрутку в особом регистре. Давление первичного воздуха должно быть не менее 180 *мм вод. ст.*, а количество его должно составлять 60 ÷ 70% от общего количества воздуха, необходимого для полного сгорания. В качестве резервного топлива предусмотрены мазут с паровым распылом.

Разработаны различные модификации горелок ОЭН, как комбинированные газомазутные, так и просто

Таблица 58

Характеристики газомазутных горелок Белгородского котельного завода

Эксплуатационные и конструктивные данные	Типоразмер горелки	
	I	II
Номинальная тепловая нагрузка горелки, тыс. *ккал/ч*	2300	6850
Расход газа, *м³/ч*	270	805
Давление газа при номинальной нагрузке, *мм вод. ст*	1600	1600
Давление воздуха, *мм вод. ст.*	95	40
Расход воздуха на горение, *м³/ч*	4000	8800
Производительность форсунки МФПР завода «Ильмарине», *кг/ч*	250	750
Давление мазута перед форсункой, *кГ/см²*	12	12
Диапазон регулирования, %	70÷130 от номинальной производительности	
Длина факела при номинальной нагрузке, *м*	~2,5	~4,0
Общая длина горелки, *мм*	710	910
Присоединительный размер воздушной улитки, *мм*	400×250	600×300
Диаметр насадка, *мм*	260	440
Размеры фронтового листа, *мм*	700×700	1000×1000

мазутные. Производительность их по мазуту колеблется от 75 до 750 *кг/ч*.

В 1961 г. Оргмонтажэнергогазом внесены некоторые изменения во все типоразмеры газомазутных горелок, которые сводятся к следующему.

Подвод газа из внутренней полости кожуха вынесен и расположен над кожухом, что дает возможность при работе на мазуте снять деталь, подводящую газ, превратить газомазутную горелку в мазутную. Снижена скорость выхода газа из отверстий с 45 до 30 *м/сек*, что значительно уменьшает шум при работе на газе и снижает необходимое давление газа перед горелкой. Заменены паровой и мазутные наконечники у форсунки в целях снижения удельного расхода пара при распыливании топлива паром. Предусмотрены окна с боков регистра для осмотра лопаток и возможности очистки их без выемки форсунки из амбразуры, а также для большего прохода воздуха при распыливании топлива паром. Характеристики одной из серии этих горелок даны в табл. 59.

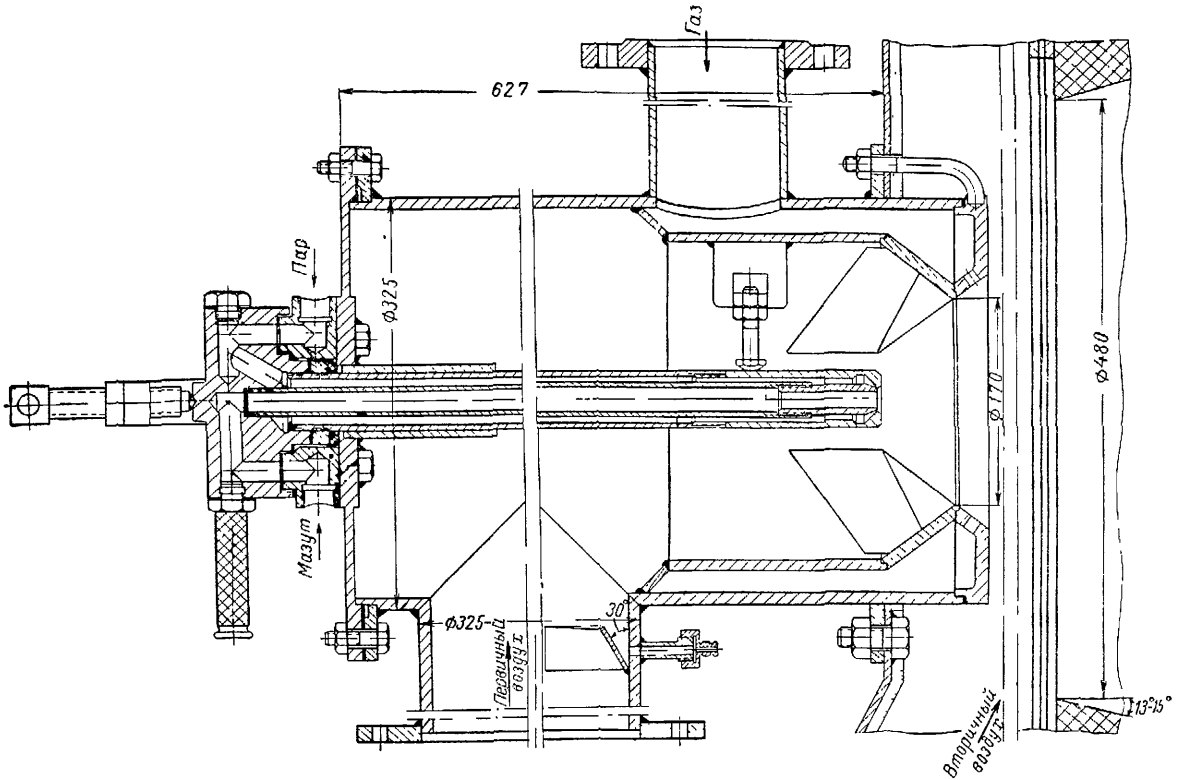


Рис. 63. Газомазутная горелка конструкции Оргмонтажэнергогаза.

Таблица 59

Характеристики газомазутных горелок Оргмонтажэнергогаза (рис. 63)

Эксплуатационные и конструктивные данные	Типоразмер горелки					
	ОЭН-75-ГМВ-6	ОЭН-125-ГМВ-6	ОЭН-150-ГМВ-6	ОЭН-250-ГМВ-6	ОЭН-350-ГМВ-6	ОЭН-500-ГМВ-6
Номинальная тепловая нагрузка горелки, *тыс. ккал/ч*	690	1150	1380	2300	3220	4600
Давление мазута перед форсункой, *кГ/см²*	0,3 ÷ 3,0	0,3 ÷ 1,5	0,2 ÷ 5,0	0,3 ÷ 5,0	0,3 ÷ 3,0	0,3 ÷ 5,0
Давление газа перед горелкой, *мм вод. ст.*	180	100 ÷ 200	120 ÷ 200	100 ÷ 200	180	180
Давление первичного воздуха, *мм вод. ст.*	190	200	210	210	220	210
Давление пара перед форсункой, *кГ/см²*	6 ÷ 7	6 ÷ 7	6 ÷ 7	6 ÷ 7	6 ÷ 7	6 ÷ 7
Расход первичного воздуха, *м³/ч*	540	875	1100	1850	2500	3700
Расход вторичного воздуха, *м³/ч*	360	585	725	1225	1700	2500
Длина факела при номинальной нагрузке, *м*	2,0	2,5 ÷ 3,0	2,5 ÷ 3,0	2,5 ÷ 3,0	2,5 ÷ 3,0	2,5 ÷ 3,0
Диаметр амбразуры, *мм*	250	300	330	400	430	480
Общая длина, *мм*	510	680	700	760	860	865
Вес, *кг*	41	102	150	215	250	256

Газомазутные горелки ГМГ и НГМГ, разработанные в ЦКТИ, идентичны по конструкции и состоят из газовоздушной части, мазутной форсунки, регистров первичного и вторичного воздуха, фронтовой плиты. Горелки отличаются способом распыливания мазута. Для горелок ГМГ применяется паромеханическая форсунка, а для горелок НГМГ — пневматическая низконапорная форсунка.

Регистр первичного воздуха представляет собой лопаточный аппарат с прямыми лопатками, установленными под углом 45°, и служит для подвода закрученного воздушного потока к корню факела. Регистр вторичного воздуха устроен так же и служит для закрутки воздушного потока. Для горелок типа НГМГ торцевая стенка регистра вторичного воздуха выполнена в виде пережима для увеличения выходной скорости воздуха, так как воздух является в данном случае распыливающей средой.

Для нормальной работы горелок необходимо вести подогрев мазута до температур, обеспечивающих вязкость $3 \div 4°$ для паромеханических форсунок и до $6°$ — для пневматических низконапорных форсунок. Мазут перед горелками должен быть профильтрован через сетку с ячейками не более $0{,}75 \times 0{,}75$ *мм*.

Давление распыливающего пара для горелок ГМГ поддерживается в пределах $0{,}7 \div 2{,}0$ *кГ/см*^{2} на всех режимах. При работе на нагрузках выше 70% от номинальной подача пара для распыла не обязательна. Не рекомендуется применять пар для распыливания с температурой более 200° С, а также высоковлажный пар. В первом случае увеличивается опасность коксования распылителей, а во втором — ухудшается качество распыливания.

Переход с газа на жидкое топливо осуществляется путем подачи жидкого топлива под давлением $2 \div 5$ *кГ/см*^{2} и распыливающего пара. После воспламенения жидкого топлива подача газа прекращается и устанавливается необходимый режим горения. Допускается одновременное сжигание газа и мазута. При всех переключениях подача вторичного воздуха не прекращается.

Зажигание горелок осуществляется либо автоматическими запальниками, либо переносными запальниками вручную. При зажигании в горелку подается только первичный воздух.

На рис. 64 показана низконапорная газомазутная горелка *НГМГ*. Распыливание жидкого топлива в ней

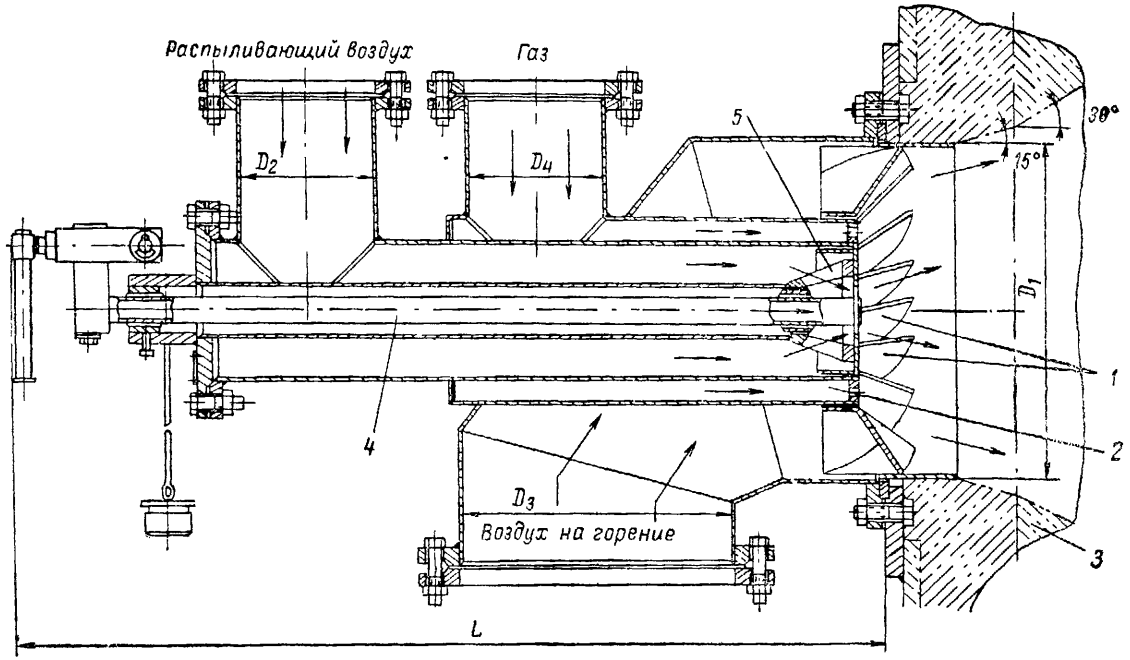


Рис. 64. Низконапорная газомазутная горелка НГМГ-4.

1 — воздухонаправляющее устройство для воздуха, идущего на горение; *2* — газоподводящее устройство *3* — амбразура; *4* — мазутная форсунка; *5* — воздухонаправляющее устройство для распыливающего воздуха.

осуществляется воздухом, который подводится к завихрителю под давлением 250 ÷ 300 *мм вод. ст.* За завихрителем установлен пережим, благодаря которому в зоне распыливания создаются высокие скорости и сильная турбулизация потока. Это обеспечивает хорошее распыливание топлива на всех режимах работы горелки.

Основное количество воздуха, необходимое для горения, подается под давлением 100 ÷ 150 *мм вод. ст.* через второй завихритель. Давление и расход распыливающего воздуха остаются постоянными при всех режимах работы горелок, а количество воздуха, идущего на горение, регулируется в зависимости от расхода топлива через горелку.

Закрутка воздуха регистрами осуществляется в одну сторону. Правое или левое вращение воздуха выбирается в зависимости от компоновки горелок.

Топливо подается в зону распыливания через отверстия в топливном стволе, при этом распыл топлива, по данным испытаний ЦКТИ, получается близким к обеспечиваемому механическими форсунками. Проведенные исследования и опыт эксплуатации показали, что следует изготовлять топливные стволы горелок НГМГ-1,5 и НГМГ-2 с пятью отверстиями диаметром 3 *мм*; НГМГ-4— с восемью отверстиями диаметром 3 *мм*; НГМГ-5,5/7 — с восемью отверстиями диаметром 4 *мм*. Топливный ствол устанавливается заподлицо с выходной кромкой регистра распыливающего воздуха с допуском ± 0,5 *мм*. Углубление ствола внутрь горелки приводит к забрасыванию мазута на завихритель, а выдвижение ствола в топку — к ухудшению распыливания и тем самым к удлинению факела.

Газ подводится к горелке через специальное устройство, которое представляет собой коллектор с отверстиями по окружности. Диаметр отверстий газового насадка устанавливается в зависимости от теплоты сгорания газа.

Форма и оформление кирпичной кладки амбразуры могут изменяться в зависимости от конфигурации топки и компоновки. Основные характеристики горелок этого типа приведены в табл. 60.

В табл. 61 приведены данные по газомазутным горелкам ГМГ, которые по своей конструкции аналогичны горелкам НГМГ, однако рассчитаны на повышенное давление мазута до 30 *кГ/см*^{2}.

Оба типа горелок могут работать на мазуте марки М 20 ÷ М 100 и газе с теплотой сгорания от 5000 до

Таблица 60

Характеристики газомазутных горелок НГМГ (рис. 64)

Эксплуатационные и конструктивные данные	Тип горелки				
	НГМГ-1,5	НГМГ-2	НГМГ-4	НГМГ-5,5/7	
				I	II
Номинальная тепловая нагрузка горелки, тыс. *ккал/ч*	1400	2000	4000	5500	7000
Расход природного газа, *м³/ч*	165	235	470	650	825
Давление первичного воздуха, *мм вод. ст.*	300	300	300	300	300
Давление вторичного воздуха, *мм вод. ст.*	120	120	120	80	120
Расход первичного воздуха, *м³/ч*	350	500	1000	1000	1000
Расход вторичного воздуха, *м³/ч*	1500	2700	5400	8000	10 000
Давление газа при номинальной нагрузке, *мм вод. ст.*	400	350	350	200	300
Давление мазута, *кГ/см²*	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Длина факела при номинальной нагрузке, *м*	1,5	2,0	2,5	2,5	3,0
Общая длина горелки L, *мм*	853	853	1081	1211	
Диаметр насадка D_1, *мм*	244	265	363	420	
Диаметр воздуховода первичного воздуха D_2, *мм*	108	108	159	168	
Диаметр воздуховода вторичного воздуха D_3, *мм*	276	276	375	432	
Диаметр подводящего газопровода D_4, *мм*	108	108	159	168	
Размер фронтовой плиты $L_1 \times L_2$, *мм*	520×520	520×520	600×600	600×600	

8500 *ккал/м³*. Серийное производство этих горелок налажено на заводе «Ильмарине» г. Таллин, ЭССР.

В табл. 62, 63 приведены режимные карты для обоих типов горелок. Причем следует оговорить, что для природного газа $Q_н = 8500$ *ккал/м³* необходимо выдерживать следующие диаметры и количества отверстий в газовом коллекторе для выхода газа: для горелок ГМГ-1/1,5 и НГМГ-1,5 — по 16 отверстий диаметром 7 *мм*; для горелок

Таблица 61

Характеристики газомазутных горелок ГМГ

Эксплуатационные и конструктивные данные	Тип горелки					
	ГМГ-1/1,5		ГМГ-2	ГМГ-4	ГМГ-5,5/7	
	I	II			I	II
Номинальная тепловая нагрузка горелки, тыс. *ккал/ч*	900	1350	2000	4000	5500	7000
Расход природного газа, *м³/ч*	110	160	235	470	650	825
Давление, *мм вод. ст.*:						
первичного воздуха	35	35	120	120	120	120
вторичного воздуха	40	85	120	120	80	120
Расход, *м³/ч*:						
первичного воздуха	1200	1700	2700	5400	8000	10 000
вторичного воздуха	0000	0000	0000	0000	0000	0000
Давление газа при номинальной нагрузке, *мм вод. ст.*	150	300	350	350	200	350
Давление распыливающего пара, *кГ/см²*	0,7 ÷ 1,0	0,7 ÷ 1,0	1,0	2,0	1,0 ÷ 2,0	1,0×2,0
Давление мазута, *кГ/см²*	6,0	12,5	20	20	20	30
Длина факела при номинальной нагрузке, *м*	1,0	1,0	1,5	1,5—2,0	2,0	2,0
Общая длина горелки L, *мм*	942		933	1160	1290	
Диаметр насадка D_1, *мм*	244		265	363	420	
Диаметр воздуховода первичного воздуха D_2, *мм*	108		108	159	168	
Диаметр воздуховода вторичного воздуха D_3, *мм*	276		276	375	432	
Диаметр подводящего газопровода D_4, *мм*	108		108	159	168	
Размеры фронтовой плиты $L_1 \times L_2$, *мм*	520×520		520×520	600×600	600×600	

ГМГ-2 и НГМГ-2 — по 24 отверстия диаметром 7 *мм*; для горелок ГМГ-4 и НГМГ-4 — по 24 отверстия диаметром 10 *мм*; для горелок ГМГ-5,5/7 и НГМГ-5,5/7 — по 40 отверстий диаметром 10 *мм*.

Таблица 62

Режимная карта горелок ГМГ-2 и ГМГ-4

Показатели	Тепловая нагрузка горелки, % от номинальной				
	20	40	60	80	100
Давление газа $p_г$, *мм вод. ст.*	14	55	125	225	350
Давление мазута $p_м$, *кГ/см²* . .	0,7	2,9	6,5	11,5	18,0
Давление воздуха $p_в$, *мм вод. ст.*	5	18	42	75	120
Коэффициент избытка воздуха $\alpha_г$					
на газе	1,20	1,20	1,15	1,10	1,10
на мазуте	1,35	1,25	1,15	1,15	1,15

Примечание. Карта составлена для мазута М20 ÷ М100— $Q_р = 9200$ *ккал/кг* и природного газа — $Q_н = 8500$ *ккал/м³*. Температура воздуха 20° С

Таблица 63

Режимная карта горелок НГМГ-2 и НГМГ-4

Показатели	Тепловая нагрузка горелки, % от номинальной				
	20	40	60	80	100
Давление газа $p_г$, *мм вод. ст.*	14	55	125	225	350
Давление первичного воздуха, $p_{в_1}$, *мм вод. ст.*	300	300	300	300	300
Давление вторичного воздуха $p_{в_2}$, *мм вод. ст.*	5	18	42	75	120
Коэффициент избытка воздуха $\alpha_г$					
на газе	1,20	1,20	1,15	1,10	1,10
на мазуте	1,35	1,25	1,15	1,15	1,15

Во время испытания горелок НГМГ-4 на природном газе, установленных в котлах ДКВР-6,5-13, получены следующие данные: к. п. д. котла на всех нагрузках составлял 86 ÷ 87%, оптимальный коэффициент избытка воздуха $\alpha_{опт} = 1{,}1$. Более высокие показатели могли бы быть достигнуты, если бы производительность горелок соответствовала производительности котла. *Дело в том,*

что для данного котла тепловая нагрузка горелок НГМГ-4 велика. Так, в опытах при изменении производительности котла от 40 до 120% загрузка горелок составляла всего 20 ÷ 70%, т. е. ни на одном режиме не приближалась к номинальной.

Кроме приведенных в табл. 61 типоразмеров разработана и испытывается газомазутная горелка ГМГ-7/9. Ее тепловая нагрузка составляет от 7000 до 9000 тыс. *ккал/ч*. После завершения испытаний начнется ее серийное производство.

Газомазутные горелки типа ГМГА применяются на агрегатах, где основным видом топлива является газ, а мазут — резервным. Это обусловлено тем, что горелки этого типа могут работать при пониженных нагрузках (менее 50%) на мазуте без потерь тепла от химической неполноты горения только при избытке воздуха $\alpha_г$ = = 2,0. А это, естественно, влечет за собой повышение потерь тепла с уходящими газами и снижение экономичности работы агрегата.

На рис. 65 показана конструкция горелки ГМГА, а в табл. 64 приведены характеристики ее трех типоразмеров

Таблица 64

Технические характеристики газомазутных горелок типа ГМГА (рис. 65)

Технические данные	Типоразмер горелки		
	ГМГА-1,4	ГМГА-2	ГМГА-4,5
Тепловая нагрузка горелки, *тыс. ккал/ч*	1400	2000	4650
Расход природного газа, *м³/ч*	165	235	545
Расход мазута, *кг/ч*	150	220	500
Давление газа, *мм вод. ст.*	200 ÷ 250	250	200 ÷ 250
Давление мазута, *кГ/см²*	14	16	18
Давление воздуха, *мм вод. ст.*	120	150	120
Коэффициент избытка воздуха при номинальной нагрузке:			
на мазуте	1,5	1,15	1,10
на газе	1,10	1,10	1,05
Коэффициент избытка воздуха при минимальной нагрузке:			
на мазуте	2,00	2,00	2,00
на газе	1,15	1,15	1,15
Диапазон устойчивой работы горелок	1 : 5	1 : 5	1 : 4

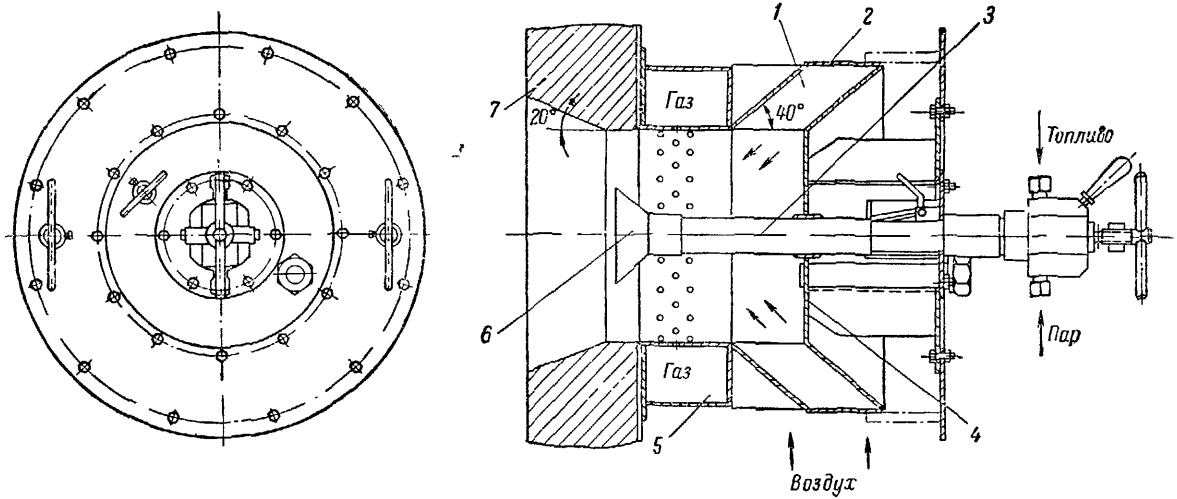


Рис. 65. Газомазутная горелка типа ГМГА.

— воздухонаправляющие лопатки; *2* — передвижной регистр; *3* — паромеханическая форсунка; *4* — перегородка; *5* — газовая камера; *6* — диффузор; *7* — амбразура.

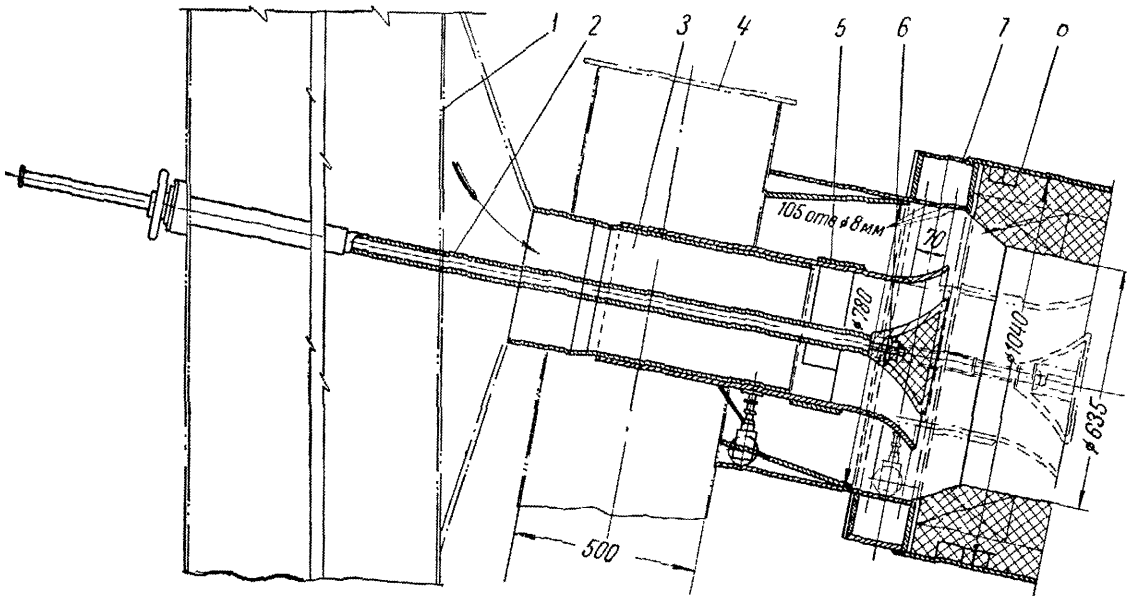


Рис. 66. Пылегазовая горелка конструкции Оргэнергостроя.

1 — пылепровод; *2* — труба для перемещения раздающего конуса; *3* — канал аэропыли; *4* — улитка; *5* — откатная часть; *6* — раздающий конус; *7* — газовая камера; *8* — уплотнение.

Воздухонаправляющее устройство горелки имеет проточную часть с плоскими лопатками. Установленный по оси воздухонаправляющего устройства диффузор представляет сплошной сварной конус, который можно перемещать по центральной трубке. При работе горелки на газе диффузор выводится из воздушного потока и устанавливается в крайнем заднем положении. При работе на мазуте конус располагается непосредственно у корня факела.

Если воздухонаправляющие устройства нескольких горелок размещены в общем воздушном коробе, то они снабжаются передвижными кольцевыми шиберами, называемыми регистрами, позволяющими перекрывать доступ воздуха к отдельным горелкам. Газораспределительное устройство состоит из камеры с тремя рядами отверстий для выхода газа. Горелка комплектуется паромеханической форсункой.

Широкое распространение для котлов средней и большой производительности получили комбинированные пылегазовые горелки конструкции Оргэнергострой (рис. 66), представляющие собой приспособленную для сжигания газа улиточную пылевую горелку типа ОРГРЭС. Тепловая производительность горелки и скорости воздуха в ней остались такие же, как и при работе на угольной пыли. У комбинированных пылегазовых горелок скорость выхода газа из отверстий составляет от 60 до 150 *м/сек*. Подача воздуха в основном производится по каналу вторичного воздуха, т. е. через завихритель. В канал аэропыли также рекомендуется подача 10 ÷ 15% воздуха. На целом ряде установок количество первичного воздуха, подаваемого через канал аэропыли, приходится увеличивать до 30% для снижения воздушного сопротивления горелки и возможности подать через нее необходимый для горения воздух.

Центральные трубы, образующие канал аэропыли, должны обязательно выполняться откатными во избежание обгорания раздаточного конуса при работе на газе. При работе этих горелок процесс горения практически заканчивается на расстоянии 2 ÷ 2,5 *м* от амбразуры, остальная часть топочной камеры заполнена несветящимся пламенем. Горелка имеет следующие характеристики:

Тепловая нагрузка, *тыс. ккал/ч*, при $Q_н$ = 8500 *ккал/м³*	25 500
Расход газа, *м³/ч*	3000
Скорость газа на выходе из отверстий, *м/сек*	100

Скорость воздуха, *м/сек*	35
Длина факела при работе на газе, *м*	3
Диаметр амбразуры, *мм*	1320
Длина горелки, *м*	3

Комбинированная пылегазовая горелка (рис. 67, *а*) предназначена для сжигания тощих углей и природного газа в топках мощных котлов электростанций. Горелка создана на базе горелок Таганрогского котельного завода. В горелке сохранен улиточный подвод пыле-воздушной смеси и подвод вторичного воздуха с лопаточным регистром.

Газ подводится к кольцевому коллектору горелки и далее по отдельным трубам и к раздаточному кольцу с отверстиями диаметром 20 *мм*. Раздаточное кольцо выполнено из жаропрочной стали. Пылевой насадок выполняется из огнеупорного кирпича. Горелка реконструирована Мосэнергопроектом. Ее основные характеристики следующие:

Тепловая нагрузка, *тыс. ккал/ч*	23 000
Расход природного газа, *м³/ч*	2700
Расход угля, *кг/ч* ($Q_р = 6\,550$ *ккал/кг*)	3550
Скорость газа на выходе из отверстий, *м/сек*	110
Скорость воздуха, *м/сек*	35
Длина факела при работе на газе, *м*	3

Мосэнергопроектом на базе щелевых горелок типа ОРГРЭС-БПК создана пылегазовая горелка большой производительности. Горелка (рис. 67, *б*) имеет поворотный насадок, позволяющий регулировать подачу пыли по высоте топочной камеры, а также изменять скорость выхода аэросмеси. Газовая часть горелки состоит из шести труб диаметром 83 × 3,5 *мм*, расположенных по высоте в 2 ряда, по три трубы в каждом ряду. Трубы имеют на концах отверстия диаметром 8 *мм* для выхода газа. В случае необходимости можно производить выемку труб газовой части горелки без разборки труб аэросмеси.

Пылегазовая горелка имеет следующие характеристики:

Тепловая нагрузка, *тыс. ккал/ч*	21 000
Расход природного газа, *м³/ч*	2450
Скорость выхода газа, *м/сек*	35
Скорость воздуха на выходе из амбразуры, *м/сек*	25
Сопротивление горелки по воздушному тракту, *мм вод. ст.*	50
Сопротивление горелки по газовому тракту, *мм вод. ст.*	300
Длина факела при работе на газе, *м*	~2,5

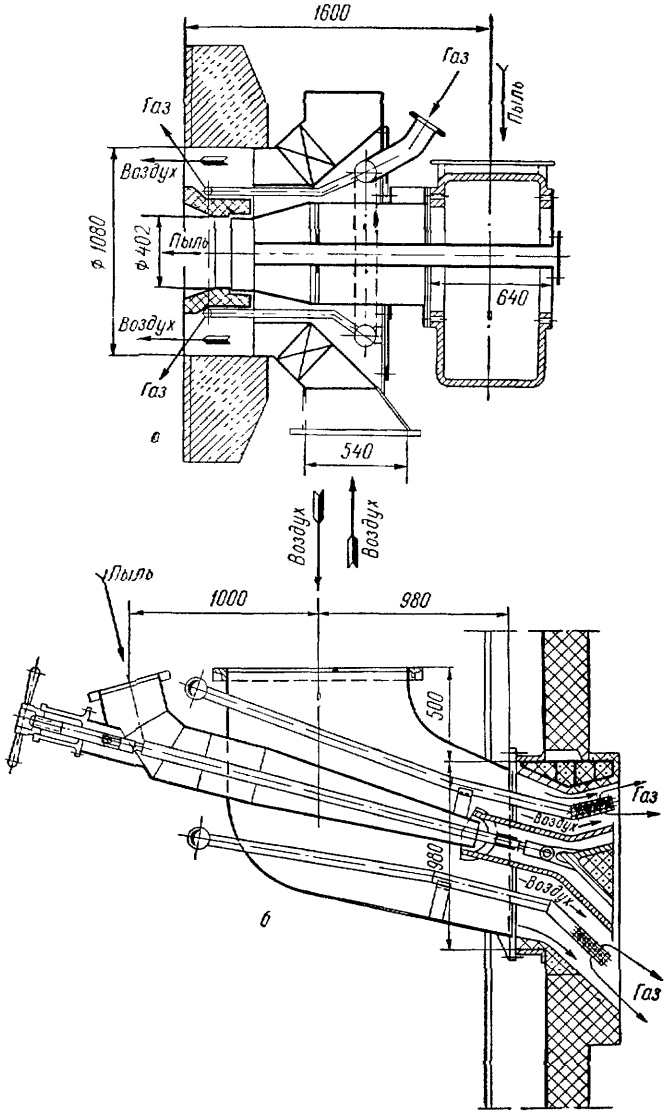


Рис. 67. Пылегазовые горелки, реконструированные Мосэнергопроектом на базе: *а* — горелки Таганрогского котельного завода; *б* — горелки ОРГРЭС-БПК.

Одна из конструкций комбинированной горелки, предназначенной для сжигания угольной пыли, природного газа и мазута, приведена на рис. 68.

Мазутная паромеханическая форсунка устанавливается по оси горелки. Газ подается по кольцевому каналу и выходит через щели газового наконечника, где попадает в закрученный поток воздуха. Перемещение каркасной

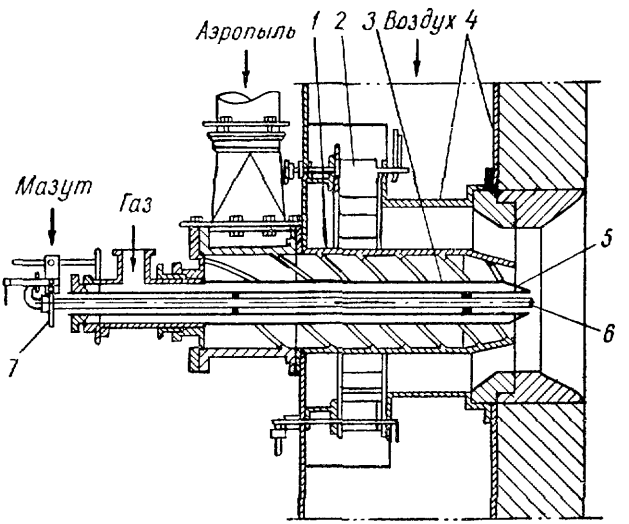


Рис. 68. Комбинированная пылегазомазутная горелка.

1 — корпус; *2* — направляющий аппарат; *3* — каркасная труба; *4* — воздушный короб; *5* — щелевой газовый наконечник; *6* — мазутная форсунка; *7* — маховик для передвижения газового наконечника.

трубы с газовым наконечником с помощью винтовой передачи и маховика позволяет регулировать скорость выхода газа. При движении газового наконечника длина щелей, через которые выходит газ, может изменяться от 60 до 0 *мм*, т. е. щели могут быть полностью перекрыты. Эта конструктивная особенность горелки позволяет менять дальнобойность газовых струй для установления оптимального соотношения скоростей газа и воздуха при изменении теплоты сгорания газа.

Для возможности передвижения газового наконечника и связанной с ним мазутной форсунки подвод мазута и пара к последней осуществляется гибкими шлангами. Мазутная форсунка легко разбирается и может быть прочищена или заменена новой во время работы агрегата.

Смесь угольной пыли с первичным воздухом подается в топку по каналу, снабженному спиральными ребрами. Вторичный воздух закручивается в противоположном направлении. При работе горелки на угольной пыли газовые щели полностью перекрываются во избежание обгорания и шлакования.

Работа горелки проверялась на котле ТЭЦ. Котел был оборудован шестью пылегазомазутными горелками. Сжигание газа позволило, как выявилось в работе, вести топочный процесс с меньшим, чем при пылеугольном топливе, избытком воздуха. Коэффициент избытка воздуха за котлом при номинальной нагрузке составлял на угольной пыли $\alpha = 1{,}22$, а на природном газе — $\alpha = 1{,}17$. Наблюдалось также снижение температуры уходящих газов за воздухоподогревателем котла при сжигании газа на $10 \div 15°$ С по сравнению с сжиганием угольной пыли. *При этом указанные избытки воздуха обеспечивали* отсутствие химической неполноты сгорания. К. п. д. котла был высоким и достигал величин при номинальной паропроизводительности на газе $93 \div 94\%$, а на угольной пыли — $90 \div 92\%$.

Переход с одного вида топлива на другое осуществляется без затруднений. Для перевода работы горелки с газа на мазут требуется $1 \div 2$ *мин*, т. е. время, необходимое для открытия паровых и мазутных вентилей. Для перевода работы горелки на угольную пыль необходимо затратить $10 \div 15$ *мин*, так как это время требуется для разогрева горячим воздухом пылеугольных мельниц.

Горелка допускает одновременное сжигание газа и угольной пыли. Процесс горения обоих топлив протекает устойчиво, однако экономичность работы горелки ухудшается, так как приборы теплового контроля и автоматики настраиваются только на один вид топлива.

Горелочные устройства технологических агрегатов

В ряде технологических агрегатов: вагранках, печах цветной металлургии, трубчатых печах нефтяной промышленности, цементном производстве, мартеновских печах и других применяются различные по конструкции газогорелочные устройства.

Для сжигания газа в вагранках Мосгазпроектом разработана серия горелок среднего давления с принудительной подачей воздуха. Они рассчитаны на вагранки произ-

водительностью от 1,5 до 15 *т/ч*. В горелке достигается полное предварительное смешение путем разбивки газового потока на ряд струй и направления его под углом к потоку воздуха. Общий вид горелки показан на рис. 69. Горелка выполнена угловой, что облегчает ее монтаж

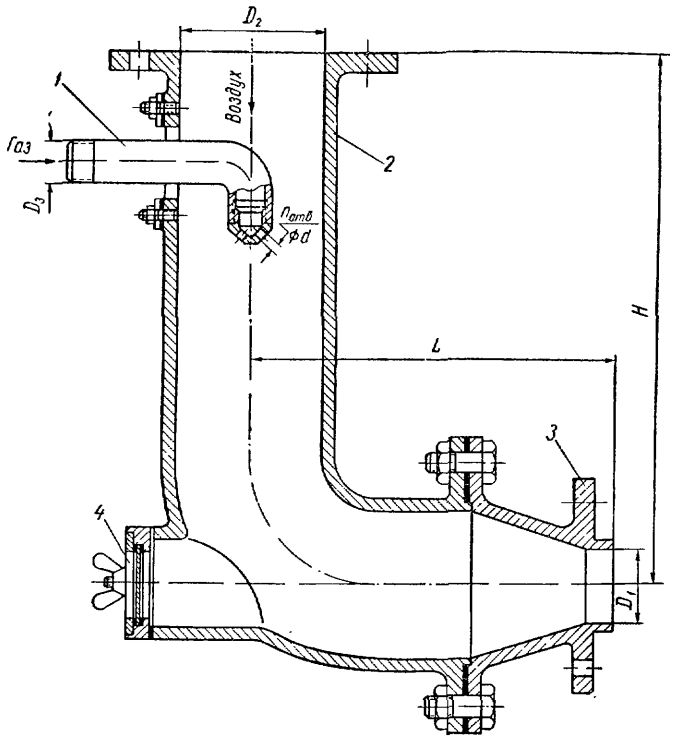


Рис. 69. Горелка для коксо-газовых вагранок.

1 — подвод газа; *2* — корпус горелки; *3* — насадок; *4* — устройство для наблюдения за горением.

и эксплуатацию. Для наблюдения за процессом горения в горелке предусмотрена гляделка, изготовляемая из жаропрочного стекла. Насадок горелки крепится к корпусу на болтах и примыкает к керамическому туннелю. Технические характеристики горелок и их основные размеры приведены в табл. 65.

Одним из перспективных направлений в использовании природного газа с целью экономии кокса при шахтной плавке цветных металлов является предварительное

Таблица 65

Технические характеристики горелок для вагранок (при номинальном давлении газа 3000 *мм вод. ст.*) (рис. 69)

Технические данные	Обозначение горелки			
	2938-01	3127-00	2924-01	2902-01
Номинальная тепловая нагрузка горелки, *тыс. ккал/ч*	127	255	425	1275
Расход природного газа, м³/ч	15	30	50	150
Номинальное давление воздуха, *мм вод. ст.*	600	600	600	1000
Размеры, *мм*:				
L	205	235	302	580
H	312	460	580	800
D_1	35	50	60	100
D_2	50	90	120	200
D_3	15	25	25	40
d	2,0	3,2	3,3	4,3
n	6	6	8	16
Вес, *кг*	6,5	17	26	64

сжигание природного газа в форкамерах (туннельных горелках) с выдачей горячих продуктов горения в шахту печи.

Применение форкамер на уже действующих промышленных агрегатах (шахтные печи, фьюминг-установки) требует выбора топочного устройства небольших размеров (для удобства компоновки) и с достаточно высокой производительностью, т. е. топочного устройства с высоким удельным теплонапряжением. При непрерывной работе металлургических печей и высокой форсировке процесса сжигания газа в форкамерах необходимо обеспечить высокую тепловую стойкость футеровки туннеля. Кроме этого, горелки должны удовлетворять следующим требованиям:

1) обеспечению достаточно полного сжигания газовоздушной смеси в пределах горелочного устройства;

2) обеспечению высоких температур и скоростей продуктов сгорания на выходе из туннеля;

3) изменению коэффициента избытка воздуха в широком диапазоне;

4) устойчивости и безопасности работы при розжиге и остановке горелки.

Газ входит в форкамерную горелку (рис. 70) через сопло с шестью отверстиями ∅ 6 *мм*. Для лучшего

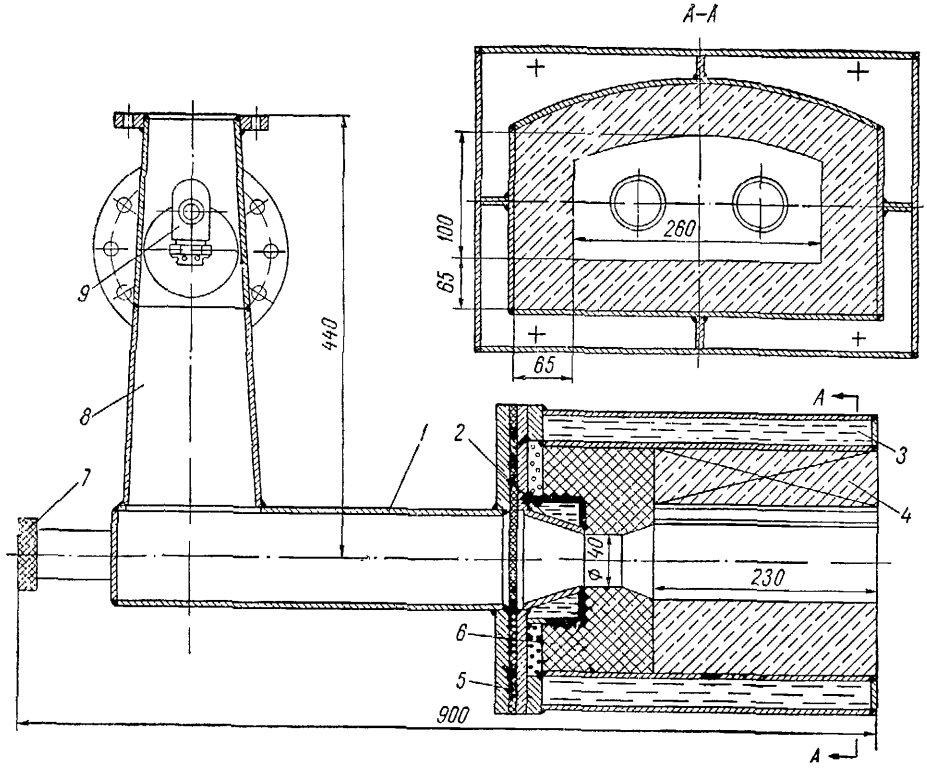


Рис. 70. Форкамерная горелка для печей цветной металлургии с водоохлаждаемым туннелем.

1 — корпус горелки; *2* — охлаждаемый водой насадок; *3* — кессон охлаждаемого водой туннеля; *4* — кирпич ПШ; *5* — сетка медная 0,5×0,5; *6* — хромомагнезитовая набивка; *7* — гляделка; *8* — подвод воздуха; *9* — подвод газа.

перемешивания потоков струи газа направлены под углом 60° к потоку воздуха. Горелка оканчивается водоохлаждаемым насадком с двумя выходными отверстиями ∅40 *мм* каждое. Номинальная тепловая нагрузка горелки составляет 500 000 *ккал/ч*.

Между фланцами корпуса горелки и насадка установлены два ряда медной сетки с диаметром ячеек 0,5 *мм*, что служит дополнительной гарантией от проскока пламени. Сжигание подготовленной газо-воздушной смеси осуществляется в туннеле.

Водоохлаждаемый тупнель, выложенный внутри кирпичом ПШ, имеет следующие размеры: 260 × 80 × 230 *мм*, толщина стенки — 65 *мм*. Теплонапряжение туннеля с учетом химической неполноты горения составляет $(67 \div 100) \cdot 10^6$ *ккал/м³·ч* в зависимости от режима работы горелки.

Опыты по снятию характеристик горелочного устройства проводились при установившемся тепловом режиме установки, о чем судили по показаниям термопар, заделанных в туннель и заднюю стену камеры.

Основные характеристики работы горелочного устройства, полученные в результате опытов, приведены на рис. 71 и 72.

На рис. 71 показана зависимость химического недожога на выходе из туннеля при изменении коэффициента избытка воздуха от 0,8 до 1,7 (при неизменной тепловой нагрузке горелки).

Как видно из графика, наименьшее значение величины химического недожога наблюдается при коэффициенте избытка воздуха 1,0 ÷ 1,15 и составляет 7 ÷ 8%. Уменьшение химического недожога в данном туннеле может быть достигнуто подогревом воздуха и газа, поступающих в горелку, или обогащением газо-воздушной смеси кислородом.

Рассмотрение зависимости температуры продуктов сгорания на выходе из туннеля от коэффициента избытка воздуха (рис. 71) показывает, что она хорошо согласуется с кривой выгорания и теоретическими предпосылками. Наивысшая температура продуктов сгорания наблюдается при коэффициенте избытка воздуха 1,0 и составляет 1690° С.

На рис. 72 представлена зависимость средних скоростей продуктов сгорания на выходе из туннеля от коэффициента избытка воздуха.

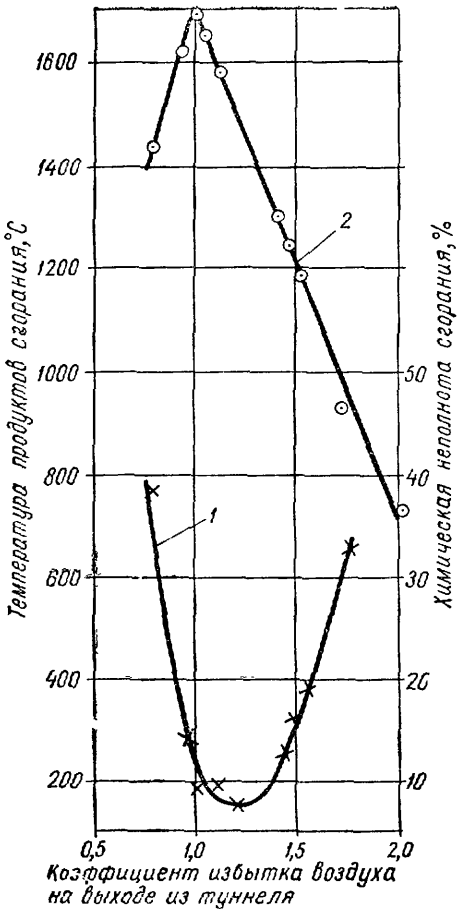


Рис. 71. Зависимость химического недожога и температуры продуктов сгорания от коэффициента избытка воздуха на выходе из тушеля.

1 — химическая неполнота сгорания газа на выходе из туннеля; *2* — температура продуктов сгорания на выходе из туннеля.

Из опыта работы туннельных горелок на вагранках при установке их над воздушными фурмами известно, что выходная скорость продуктов сгорания должна быть не ниже 30 ÷ 40 *м/сек*.

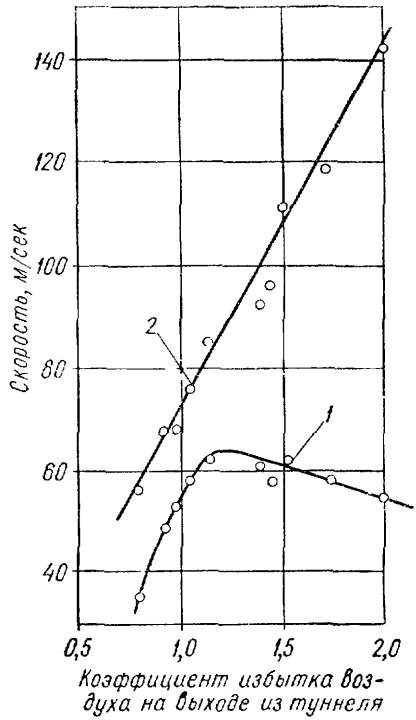


Рис. 72. Зависимость средних скоростей газо-воздушной смеси и продуктов сгорания от коэффициента избытка воздуха.

1 — скорость продуктов сгорания на выходе из туннеля; *2* — скорость выхода газо-воздушной смеси из кратера горелки.

Из графика (рис. 72) видно, что в широком диапазоне изменения коэффициента избытка воздуха (от 0,8 до 2,0) выходная скорость продуктов сгорания лежит выше указанного предела.

Производительность горелки может изменяться от 25 до 125% номинальной нагрузки, причем на всех режимах она работает устойчиво и надежно. Особо следует подчеркнуть (что является очень важным для подобных конструкций) высокую стойкость футеровки туннеля при больших тепловых нагрузках.

Инжекционные беспламенные панельные горелки типа ГБП, разработанные в Гипронефтемаше, предназначены для сжигания газа в промышленных печах нефтяной, химической и других отраслей промышленности. Особенностью горелки является то, что она способна создавать направленный тепловой поток со значительной площади излучения. У этих горелок предварительно подготовленная газо-воздушная смесь горит в мелких туннелях, объединенных в керамическую панель. На все панели одной горелки установлен общий инжекционный смеситель.

Горелка (рис. 73) состоит из распределительной камеры, сваренной из листовой стали толщиной 4 *мм*; трубок,

соединяющих распределительную камеру с керамическими туннелями; изоляционной прослойки из диатомитовой крошки; керамических призм, свободно надевающихся на трубки; смесителя, служащего для подготовки газо-воздушной смеси.

Гипронефтемаш создал два типа горелок: с габаритными размерами излучающей поверхности 500 × 500 *мм*

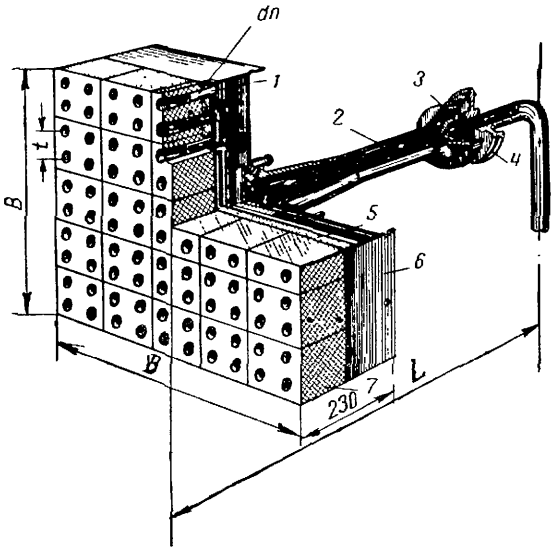


Рис. 73. Панельная излучающая горелка Гипронефтемаша.

1 — трубки; *2* — смеситель; *3* — сопло; *4* — регулятор воздуха; *5* — изоляционная прослойка из диатомитового кирпича; *6* — корпус; *7* — туннели из керамических призм.

и 605 × 605 *мм*. Ширина горелки обоих типов одинакова — 230 *мм*. Разработаны конструкции девяти горелок с тепловой нагрузкой от 35 000 до 530 000 *ккал/ч*.

Горелки отличаются друг от друга величиной шага между туннелями, числом туннелей, диаметром трубок и коридорным или шахматным расположением трубок. Керамические туннели изготовляются из шамота класса А для рабочих температур 1200 ÷ 1500° С и из шамота класса Б — для температур 600 ÷ 1200° С.

Диаметр газового сопла горелки определяется расчетом по методике, приводимой в нормали на горелки МН2932-61 и МН2933-61.

В зависимости от низшей теплоты сгорания используемого газа давление газа перед соплом поддерживается в пределах:

при $Q_н$ от 1 000 до 4 000 *ккал/м³* p_1 от 0,01 до 0,03 *кГ/см²*
при $Q_н$ от 4 000 до 6 000 *ккал/м³* p_1 от 0,03 до 0,1 *кГ/см²*
при $Q_н$ от 6 000 до 8 000 *ккал/м³* p_1 от 0,1 до 0,5 *кГ/см²*
при $Q_н$ от 8 000 до 25 000 *ккал/м³* p_1 от 0,5 до 2,5 *кГ/см²*.

Технические характеристики горелок приведены в табл. 66.

Таблица 66

Панельные горелки Гипронефтемаша ГБП (рис. 73)

Шифр горелки	Номинальная тепловая нагрузка, *ккал/ч*	$d_п \times S$, *мм*	*t*, *мм*	*L*, *мм*	*B*, *мм*	*A*, *мм*	Количество трубок, шт.	Вес, *кг*
ГБП-35	35 000	6×1	50,5	740	500	125	100	85
ГБП-55	55 000				605	150	144	110
ГБП-85	85 000	8×1,25			500	125	100	92
ГБП-120	120 000				605	150	144	118
ГБП-140	140 000	10×1,25			500	125	100	89
ГБП-200	200 000				605	150	144	124
ГБП-280	280 000		35,7	945	500	125	196	94
ГБП-400	400 000				605	125	289	131
ГБП-530	530 000				500	125	365	100

Гипрониигазом (г. Саратов) создана серия горелок ГВП, предназначенных для сжигания природного газа во вращающихся печах обжига цементного клинкера и других тепловых агрегатах.

Корпус горелки (рис. 74) имеет центральное отверстие, выполненное в виде сопла. Другой конец корпуса соединен с трубой. Внутри корпуса вмонтирована направляющая труба, которая центрируется специальными приливами.

В направляющую трубу вставлен завихритель, который имеет со стороны сопла тангенциально расположенные лопатки *а*. Противоположный конец завихрителя соединен

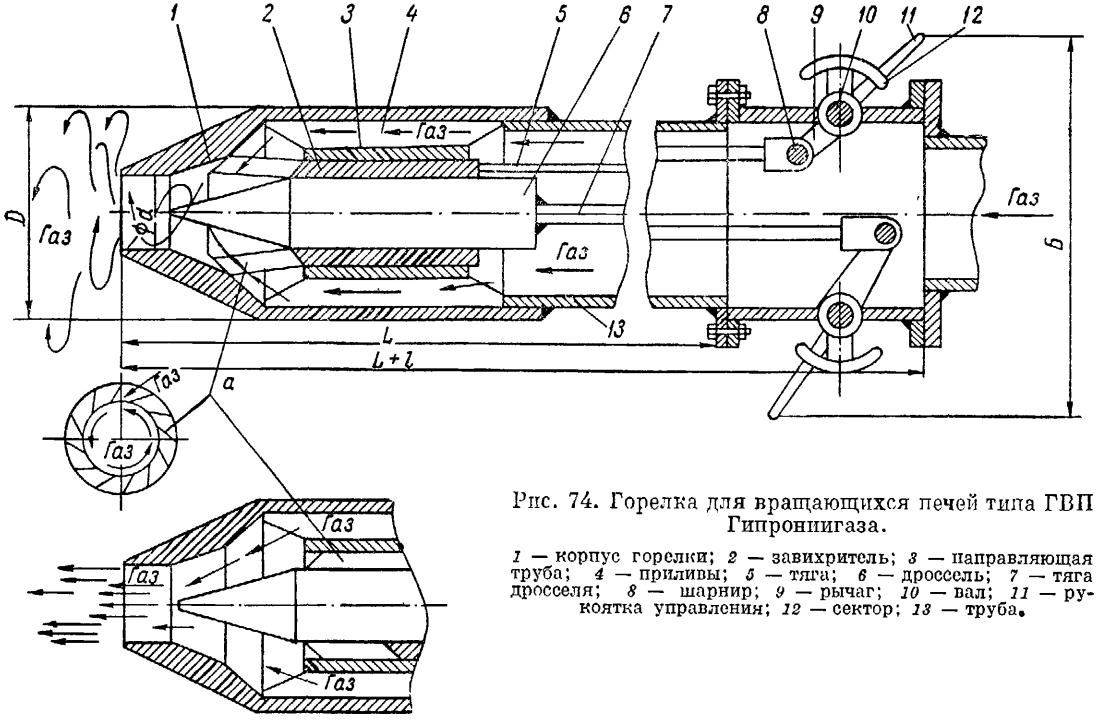


Рис. 74. Горелка для вращающихся печей типа ГВП Гипронигаза.

1 — корпус горелки; *2* — завихритель; *3* — направляющая труба; *4* — приливы; *5* — тяга; *6* — дроссель; *7* — тяга дросселя; *8* — шарнир; *9* — рычаг; *10* — вал; *11* — рукоятка управления; *12* — сектор; *13* — труба.

с тягой, которая в свою очередь соединена через шарнир с рычагом. Рычаг закреплен на валу, который имеет сальниковое уплотнение. На противоположном конце вала жестко посажена рукоятка управления.

Положение рукоятки управления фиксируется на секторе, где имеется надпись «Завихрение», на одном краю — отметка «Максимум», на другом — отметка «О».

При положении рукоятки управления на отметке «Максимум» завихритель находится в крайнем левом положении, как изображено на рис. 74, *а*.

При положении рукоятки управления на отметке «О» завихритель находится в крайнем правом положении, как изображено на рис. 74, *б*.

Внутри завихрителя расположен дроссель, который может перемещаться вдоль оси горелки. Конец дросселя, обращенный к соплу, имеет коническую форму.

Противоположный конец дросселя соединен с тягой, и управление им осуществляется аналогично завихрителю через шарнир, рычаг, валик и рукоятку.

На секторе управления дросселем имеется надпись «Дросселирование», а по краям — «Максимум» и «О».

При положении рукоятки дросселя на отметке «Максимум» дроссель находится в крайнем левом положении и проходное сечение сопла корпуса будет минимальным. При положении рукоятки управления дросселем на отметке «О» дроссель будет находиться в крайнем правом положении и проходное сечение сопла будет максимальным (рис. 74, *б*).

Газ из газопровода поступает в трубу и, обтекая внешнюю поверхность направляющей трубы, проходит к соплу корпуса горелки. При крайнем левом положении завихрителя, соответствующем положению рукоятки управления на отметке «Максимум», весь газ, выходя из лопаток в сопло, будет иметь кроме поступательного движения еще и вращательное.

В этом случае при выходе из сопла газовая струя будет вытекать с большим углом раскрытия. Факел будет наиболее коротким, а зона наивысшей температуры максимально приближена к выходному сечению горелки.

При крайнем правом положении завихрителя газ, минуя лопатки завихрителя, будет выходить из сопла горелки без вращательного движения, что удалит факел от выходного сечения горелки и зона наивысшей температуры переместится в глубь печи.

Между положениями завихрителя «Максимум» и «О» возможно любое промежуточное положение. Тогда только часть газа будет проходить через завихритель и получать вращательное движение. Это дает возможность плавно перемещать факел и зону наивысшей температуры вдоль печи.

Для еще большего перемещения зоны наивысшей температуры и изменения светимости факела можно изменять давление газа в горелке. При этом ее производительность сохраняется путем уменьшения или увеличения проходного сечения сопла посредством перемещения дросселя.

Возможность изменения проходного сечения сопла путем перемещения дросселя позволяет горелке работать в широком диапазоне давлений при постоянном расходе и (наоборот) изменять в широком диапазоне расход газа при постоянном его давлении.

Испытания горелки ГВП-1 на промышленных печах цементных заводов выявили ее хорошие эксплуатационные показатели. Горелка обеспечивает полное сжигание газа при избытках воздуха 1,02 ÷ 1,05. Производительность печей повысилась на 4 ÷ 4,5% по сравнению с работой горелок обычных конструкций, улучшилось качество клинкера. Удельный расход топлива на тонну клинкера снизился в среднем до 8 $м^3/т$.

В табл. 67 приведены основные характеристики горелок ГВП различной производительности.

Установка горелки на печь должна обеспечивать возможность быстрого извлечения горелки из печи в случаях вынужденного отключения газа. Это достигается соединением горелки с газопроводом гибким шлангом. Горелки ГВП с производительностью до 5000 $м^3/ч$ могут быть установлены на напольном или подвесном механизмах управления положением горелки в печи с механическим или ручным приводом. Горелки с производительностью газа выше 5000 $м^3/ч$ должны быть установлены на подвесном подъемно-передвижном механизме управления положением горелки в печи с электрифицированным приводом. Механизмы управления положением горелки в печи должны позволять управлять положением факела в плоскости, перпендикулярной оси печи, перемещать горелку вдоль оси печи на всю длину горелки, фиксировать заданное горелке направление и воспринимать реактивную силу, возникающую при работе горелки.

Для сжигания газа во вращающихся печах строительной промышленности Мосгазпроектом создана серия

Таблица 67

Технические характеристики горелок ГВП (рис. 74)

Тип горелки	Номинальная тепловая нагрузка, *ккал/ч*	Номинальный расход газа, $м^3/ч$, при $p_г = 3$ $кГ/см^2$	Минимальный расход газа, $м^3/ч$, при $p_г = 0{,}4$ $кГ/см^2$	Диаметр сопла, *мм*	*D*, *мм*	*l*, *мм*
ГВП 4	$4{,}2 \cdot 10^6$	500	50	20	60	110
ГВП 6	$4{,}2 \cdot 10^6$	500	50	22	75	100
ГВП 3	$17{,}0 \cdot 10^6$	2 000	200	44	98	208
ГВП 1	$42{,}5 \cdot 10^6$	5 000	500	70	140	208
ГВП 5	$68{,}0 \cdot 10^6$	8 000	800	90	170	199
ГВП 2	$102{,}0 \cdot 10^6$	12 000	1200	120	219	232
ГВП 2М	$102{,}0 \cdot 10^6$	12 000	1200	120	219	232
ГВП-8	$170{,}0 \cdot 10^6$	20 000	2000	160	325	300

Примечания. 1. Горелка ГВП 6 предназначена для технологических печей нефтеперерабатывающих заводов и не имеет механизма управления завихрителя. 2. Длина горелок различна в зависимости от конструкции печи.

горелок среднего давления с принудительной подачей воздуха. В горелке (рис. 75) осуществлено параллельное направление потока газа и воздуха, что позволяет получить факел большой длины, необходимый по технологическим соображениям. Технические характеристики горелок приведены в табл. 68.

Природный газ для отопления мартеновских печей широко применяется в последнее время на отечественных заводах. Имеются различные способы использования природного газа для отопления печей. Выбор того или иного способа применения природного газа определяется технико-экономическими соображениями, а также конструкцией мартеновских печей. Природный газ может использоваться в печах, отапливаемых ранее смесью коксового и доменного газов, мазутом, а также во вновь строящихся.

Для использования природного газа в мартеновских печах, отапливаемых смешанным газом, чаще всего осуществляется предварительное частичное его разложение (реформирование) в головке печи. Этим достигается высокая светимость факела, которая в других способах обеспечивается добавкой мазута.

Один из способов перевода газовых мартеновских печей с коксо-доменной смеси на природный газ разработан

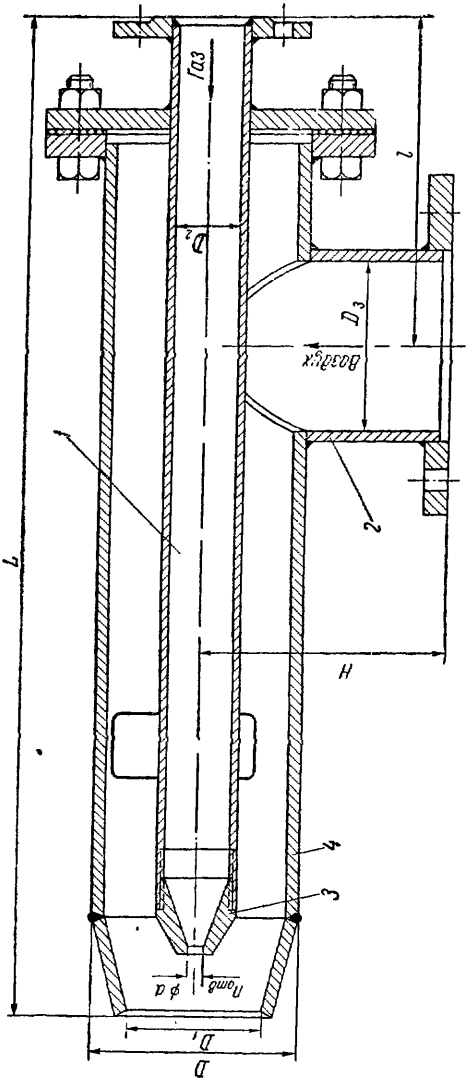


Рис. 75. Горелка Мосгазпроекта для вращающихся печей.

1 — труба для подвода газа; *2* — труба для подвода воздуха; *3* — сопло; *4* — корпус горелки.

Таблица 68

Характеристики горелок для вращающихся печей при номинальном давлении газа 3000 *мм вод. ст.* (рис. 75)

Технические данные	Обозначение горелки				
	2919-01	2918-01	2993-01	2905-00	2598-00
Номинальная тепловая нагрузка, тыс. *ккал/ч*	178	680	977	5525	7990
Расход природного газа, $м^3/ч$	21	80	115	650	940
Номинальное давление воздуха, *мм вод. ст.*	120	120	200	50	100
Размеры, *мм*:					
D	75,5	133	133	377	377
D_1	53	119	110	330	330
D_2	21	41	41	80	80
D_3	68	119	119	357	357
L	1900	3850	940	3600	3600
l	175	215	215	480	480
H	120	163	163	400	400
d	6,5	12,8	13,6	19,0	23,0
Количество отверстий n, шт.	1	1	1	3	3
Вес горелки, *кг*	46	155	30	392	392

в ИИГ АН УССР. Этот способ позволяет быстро, без особых капитальных затрат, переоборудовать мартеновскую печь. Для его осуществления необходимо провести дополнительно разводку природного газа к головкам печи, установить вентилятор для подачи воздуха по бывшему газовому тракту и клапаны для отсечки газа. Конструкция печи не меняется.

Природный газ подается в головку печи горелками в два места: в торец кессона и на 500 *мм* выше уровня рабочей площади в газовый вертикал. Первичный воздух через газовый тракт подается в количестве 40% необходимого для полного сжигания расходуемого газа.

Распределение газа по двум горелкам, нижней и верхней, при одинаковых диаметрах горелок производится поровну. При этом факел имеет самую большую лучеиспускательную способность и печь работает с наивысшей производительностью.

Конструкция верхней горелки представлена на рис. 76. Горелка выполнена водоохлаждаемой. Тепловая нагрузка

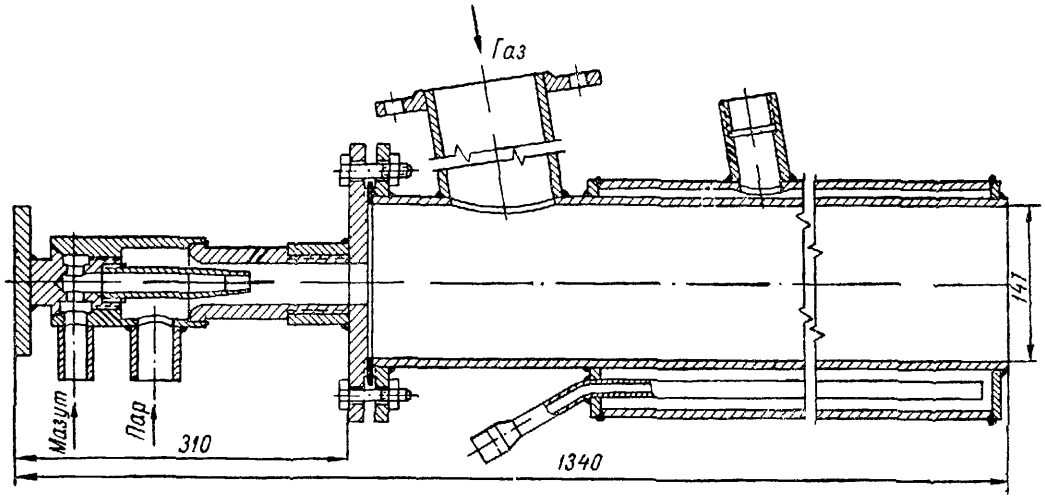


Рис. 76. Конструкция верхней горелки при переоборудовании мартеновской печи на сжигание природного газа.

горелки меняется в зависимости от периода плавки от 4250 до 6800 тыс. *ккал/ч*, что соответствует расходу природного газа от 500 до 800 *м³/ч*. Горелка снабжена резервной мазутной форсункой, работающей при недостатке газа. Скорость газа на выходе из горелки составляет 15 ÷ ÷ 25 *м/сек*. Нижняя горелка отличается от верхней только тем, что не имеет мазутной форсунки.

Иногда для интенсификации горения применяют кислород, который также расходуется для продувки ванны. Как следует из приведенных в литературе данных, марте-

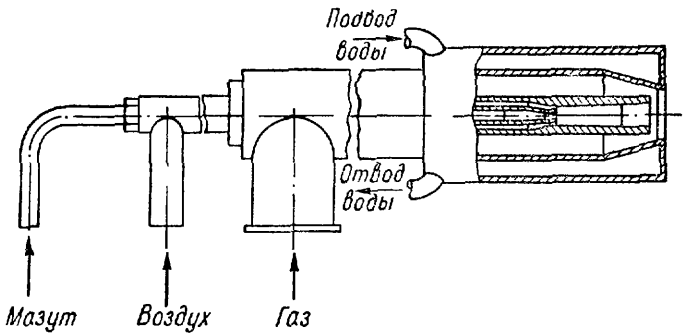


Рис. 77. Газомазутная горелка ВНИИМТ для мартеновской печи.

новские печи, переоборудованные таким способом, дают увеличение производительности на 3 ÷ 5% и снижение расхода топлива не менее 4%.

При переводе мазутных мартеновских печей на отопление природным газом применяют в основном способ использования газа с добавкой к нему 30 ÷ 40% мазута по теплу. При этом распыливание мазута осуществляется паром и компрессорным воздухом, хотя наиболее целесообразным является распыливание мазута природным газом высокого давления.

Применяемые для этой цели газомазутные горелки имеют различное конструктивное исполнение. Как правило, они выполняются водоохлаждаемыми. На рис. 77 показана газомазутная горелка конструкции ВНИИМТ, а в табл. 69 даны характеристики этой горелки для 50- и 130-тонных мартеновских печей. Распыливание мазута осуществляется сжатым воздухом.

При отоплении печей высококалорийным топливом необходимо стремиться к повышению светимости и жестко-

Таблица 69

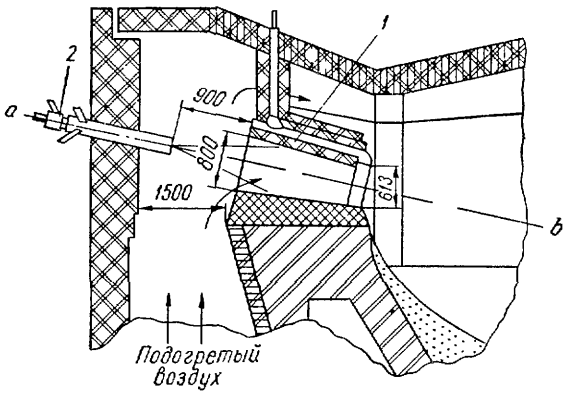
Основные характеристики газомазутных горелок ВНИИМТ для мартеновских печей (рис. 77)

Технические данные	Емкость печи, *т*	
	50	130
Расход:		
газа, *м³/ч*	1600	1900
мазута, *кг/ч*	500	800
воздуха, *м³/ч*	1600	2000
Абс. давление перед горелкой, *ат*:		
газа	1,5	2,5
мазута	4,5	4,5
воздуха	3,5	6,0
Выходные сечения, *м²*, для прохода:		
газа	$1{,}65 \cdot 10^{-3}$	$1{,}15 \cdot 10^{-3}$
мазута	$5{,}0 \cdot 10^{-5}$	$4{,}3 \cdot 10^{-5}$
воздуха	$0{,}7 \cdot 10^{-3}$	$1{,}65 \cdot 10^{-3}$

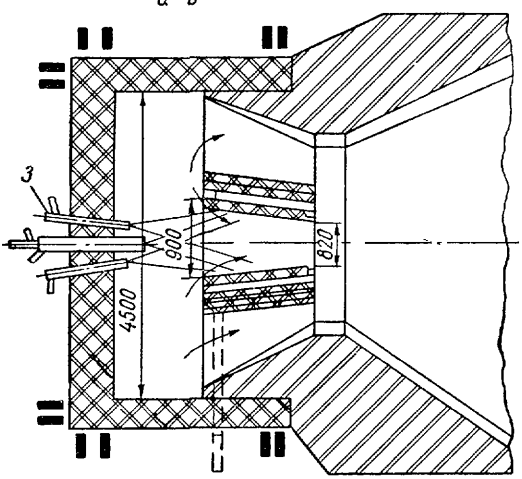
сти факела, а также желательно иметь возможность управлять факелом по ходу плавки, т. е. изменять его длину и окислительную способность. Большие работы в этом направлении проведены в Уральском политехническом институте. В частности, по авторскому предложению В. Г. Лисненко, Н. И. Кокарева, Б. И. Китаева создана газомазутная горелка, имеющая форсунку с выхлопной трубой. Эта конструкция мазутной части позволяет регулировать удельный расход распылителя и тем самым влиять на величину факела и его окислительную способность.

В этом же институте разработана конструкция одноканальной головки со смесительным устройством (рис. 78). В предложенной головке осуществляются процессы подготовки (газификация и пиролиз) жидкого и газообразного топлива до входа в рабочее пространство мартеновской печи. Воздух, подогретый в регенераторах, эжектируется в смесительное устройство двумя жесткими струями сжатого воздуха или кислорода. Общее количество воздуха, подаваемого таким способом, составляет 40 ÷ ÷ 50% от необходимого для горения. Распыленное жидкое топливо или природный газ вводятся в центральную часть смесительного устройства — кессона. Воздух, необходимый

для полного сжигания топлива, подается по боковым каналам между кессоном и стенками головки. Для регулирования светимости и длины факела достаточно изме-



a-b



кт со смеситель-

фур

горелка для
газного топлива; 3 —
ного воздуха или кислорода.

нить расход сжатого воздуха. Положительной стороной указанной головки является то, что она может работать на высокосернистом мазуге.

Горелочные устройства для камер сгорания газовых турбин и парогазовых установок

В целом ряде топливосжигающих устройств промышленности и энергетики требуются горелки, способные эффективно и устойчиво работать при высоких и переменных избытках воздуха (камеры сгорания газотурбинных и парогазотурбинных установок, сушильные установки и др.). При использовании распространенных конструкций горелок для этих установок необходимо сжигать топливо при избытках воздуха, близких к теоретически необходимым, а нужное снижение температуры продуктов сгорания производить путем последующего разбавления их избыточным воздухом или рециркулирующей смесью.

В случаях, когда по условиям технологии уровень нагрева газов должен меняться, для обеспечения высокой полноты сгорания топлива необходимо осуществлять регулируемое распределение воздуха между зоной горения и смесителем. Это усложняет конструкцию горелки и системы регулирования всей установки, а также снижает степень надежности их работы. Необходимость в такой регулировке особенно велика при сжигании природного газа, который обладает узкими концентрационными пределами распространения пламени.

В Киевском политехническом институте по авторскому предложению В. А. Христича создана оригинальная конструкция газовой горелки с раздельной подачей газа и воздуха, обеспечивающая высокую интенсивность процессов смесеобразования и горения и обладающая свойством саморегулируемости состава сгорающей смеси при переменных избытках воздуха.

Отличительной особенностью созданной горелки является то, что она при раздельной подаче газа и воздуха обеспечивает почти такой же короткий и прозрачный факел, как горелки полного предварительного смешения, и одновременно с этим обладает очень высокой устойчивостью горения, превышающей устойчивость горелок с раздельной подачей горючих компонентов.

Принципиальная схема газовой горелки указанного типа изображена на рис. 79. Основными деталями горелки являются газовая форсунка и стабилизирующее устройство, выполненное из уголковых стабилизаторов, приваренных к бандажам. Стабилизаторы располагаются по радиусам и наклонены к продольной оси горелки под углом 45°, так что вся система стабилизаторов имеет вид

полного конуса при вершине 90°. Газовая форсунка размещена в центре стабилизирующего устройства и подает газ через отверстия в виде отдельных струй, каждая из которых располагается за соответствующим стабилизатором, развиваясь вдоль его оси. Оси сопловых отверстий форсунки и оси стабилизаторов параллельны.

Горелка работает следующим образом. Воздух поступает в зону горения через радиальные щели между стабилизаторами, отчего за каждым из них образуется вихревая циркуляционная зона. Газовые струи, подаваемые в эти зоны, мгновенно перемешиваются с воздухом, образуя однородную газо-воздушную смесь. Общая зона горения при этом представляет собой совокупность большого количества горящих за стабилизаторами небольших радиальных факелов, разделенных воздушными прослойками. Увеличивающаяся благодаря этому суммарная поверхность фронта пламени способствует значительному сокращению длины факела.

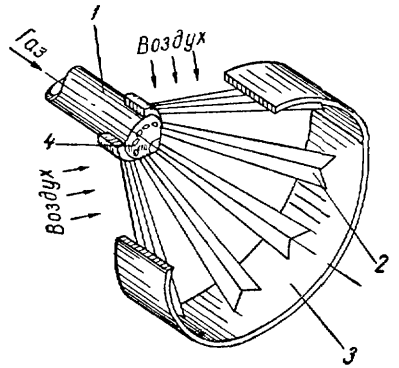


Рис. 79. Горелка с раздельной подачей газа и воздуха Киевского политехнического института.

1 — газовая форсунка; *2* — уголковые стабилизаторы; *3*, *4* — бандажи.

Горелка обеспечивает высокую устойчивость работы при любых скоростях воздушного потока. Этому способствуют как местные рециркуляционные токи за стабилизаторами, так и наличие центрального поджигающего противотока. Последний возникает благодаря конической форме горелки, так как при этом воздушные струи в центре образуют противоток, несущий к корню факела горячие продукты сгорания. Коническая форма придает горелке также большую жесткость против коробления при нагреве.

Горелка конструируется таким образом, что дальнобойность газовых струй при максимальном расходе газа должна перекрывать всю длину стабилизаторов. При уменьшении расхода газа (т. е. когда увеличивается коэффициент избытка воздуха) дальнобойность газовых струй

вдоль стабилизаторов сокращается, благодаря чему автоматически уменьшается и количество воздуха, принимающего участие в смесеобразовании. Это достигается за счет того, что избыточный воздух, остающийся вне досягаемости укороченных газовых струй, проходит мимо зоны активного перемешивания, не влияя на состав образующейся в ней горючей смеси. Благодаря этому при любом общем избытке воздуха в зоне горения поддерживается постоянный состав смеси, что обеспечивает высокий температурный уровень и, следовательно, высокую полноту выгорания на всех режимах.

Струйный принцип смесеобразования в конструктивном оформлении Киевского политехнического института *практически может быть применен в любых по размерам* и производительности горелках. Авторами разработана методика расчета горелок этого типа и даны практические рекомендации по их проектированию.

На камере сгорания ГТУ была испытана горелка с расходом природного газа до 550 *м*^{3}/*ч*, сконструированная по рассмотренным выше принципам. Газовая форсунка диаметром 120 *мм* имеет 24 сопловых отверстия диаметром 3,5 *мм*. Стабилизирующее устройство выполнено из 24 радиальных уголковых стабилизаторов. Наружный диаметр стабилизирующего устройства 540 *мм*. Суммарное проходное сечение горелки по воздуху 0,06 *м*^{2}.

В результате испытаний получены следующие данные:

Тепловая нагрузка горелки, *ккал/ч* . .	$4{,}5 \cdot 10^6$
Рабочий диапазон коэффициента избытка воздуха	$1{,}2 \div 20{,}0$
Полнота сгорания в указанном диапазоне, %	$99{,}5 \div 96$
Максимальная форсировка горелки, *ккал/м*^{2}	$(17 \div 19) \cdot 10^6$
Теплонапряженность объема, в котором завершается сгорание, *ккал/м*$^3 \cdot$*ч* . .	$(18 \div 20) \cdot 10^6$
Гидравлическое сопротивление горелки (по воздуху), *мм вод. ст.*	150
Длина факела, мм	$600 \div 700$

В процессе испытаний горелки подтверждено свойство саморегулируемости процесса горения. Благодаря свойству саморегулируемости состава смеси горелка отличается чрезвычайно высокой устойчивостью процесса горения. Так, горение природного газа оказалось возможным вплоть до значений общего коэффициента избытка воздуха 40 ÷ 50. Стабилизаторы интенсивно охлаждаются воздухом, протекающим через щели между ними. При

работе горелки на холодном воздухе их температура не превышала 130 ÷ 180° С. В случае подачи в горелку воздуха, нагретого до 300 ÷ 400° С, температура стабилизаторов не превышала 500 ÷ 600° С.

Дальнейшее совершенствование разработанного принципа привело к созданию в Киевском политехническом институте по авторскому предложению В. А. Христича и Г. И. Любчика газогорелочного устройства, способного эффективно и устойчиво работать в широком диапазоне коэффициента избытка воздуха от 1,0 до 6,0 и более.

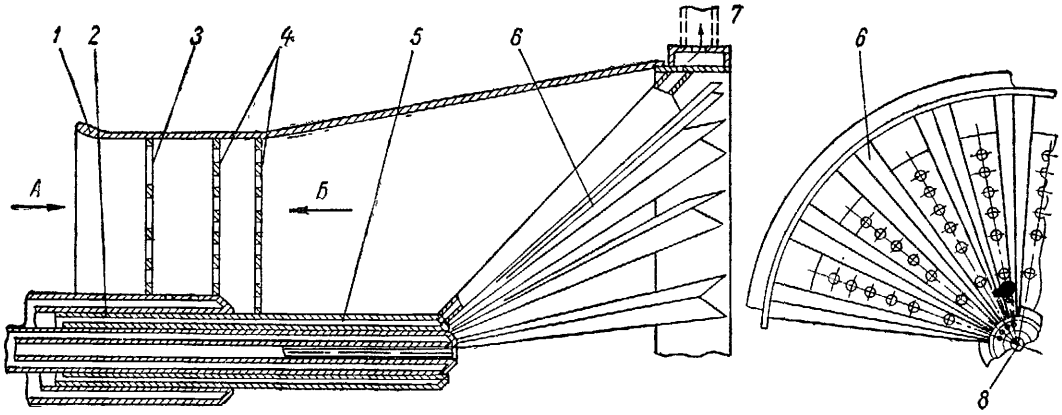
Созданная горелка (рис. 80) работает по комбинированному принципу, т. е. часть газа предварительно смешивается в горелке с воздухом, а остальная часть подается раздельно от потока воздуха. Основными элементами горелки являются смеситель, служащий для предварительного смешения газа с воздухом, и само горелочное устройство, выполненное аналогично первой конструкции горелки (рис. 79).

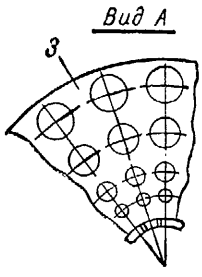
Смеситель имеет на входе перфорированную решетку. Отверстия в решетке расположены по радиусам. Между отверстиями перпендикулярно воздушному потоку подаются газовые струи. Они не сносятся воздушным потоком и, следовательно, могут проникать на любую его глубину. Однако при этом идет весьма интенсивное перемешивание газа с воздухом.

Смеситель имеет три ряда отверстий разного диаметра. За счет этого обеспечивается различная глубина подачи газовых струй. Один из рядов (в данном случае первый) обеспечивает глубину подачи газовых струй, перекрывающую на всех режимах ширину канала смесителя, а два других имеют меньшую глубину подачи (примерно 0,65 и 0,25 ширины канала).

Принятая в смесителе схема взаимного расположения воздушных и газовых струй обеспечивает достаточно равномерную на всех режимах раздачу газа по сечению смесителя в высокую интенсивность перемешивания газа с воздухом. Для дополнительного и улучшенного перемешивания, а также для равномерной раздачи смеси по сечению канала на выходе из смесителя установлены еще две решетки. Эти решетки перфорированы мелкими, равномерно распределенными по сечению отверстиями равного диаметра.

В смеситель подается лишь 25 ÷ 75% газа (в зависимости от режима), т. е. смеситель на всех режимах создает обедненную смесь, содержащую значительный





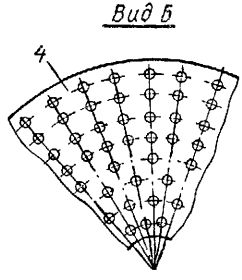


Рис. 80. Газовая горелка Киевского политехнического института.

1 — воздухонаправляющий кожух; *2* — центральная труба; *3* — смеситель; *4* — перфорированные перегородки; *5* — кольцевая камера подвода охлаждающей воды; *6* — уголковые стабилизаторы; *7* — коллектор для отвода воды; *8* — электрический запал.

избыток воздуха. Остальное количество газа подается в форсунку и сжигается на стабилизирующей решетке. Для начального воспламенения в центре газовой форсунки расположен подвижный электрический запал. Газо-воздушная смесь из смесителя подается в зону за стабилизаторами и сгорает вместе со струями газа, выходящего из форсунки. В таких условиях будет сгорать смесь любого состава, в том числе и с большими избытками воздуха. Вместе с тем и при низких общих избытках воздуха обеспечивается эффективное горение, так как в этих условиях большая часть газа предварительно смешана с воздухом.

Таким образом, благодаря комбинированному методу сжигания газа горелка обеспечивает эффективное и устойчивое сжигание газа как при больших избытках воздуха, так и при коэффициентах избытка воздуха (общего), близких к единице.

Для исключения возможности проскока пламени в смеситель горелки необходимо так осуществлять распределение газа между горелочным устройством и смесителем, чтобы смесь, поступающая из смесителя, на всех режимах находилась вне концентрационных пределов воспламенения.

Кроме того, предотвращение проскока пламени может быть достигнуто поддержанием в щелях между стабилизаторами скоростей потока, превышающих скорость распространения пламени.

В случае чрезвычайно широкого диапазона изменения коэффициента избытка воздуха горелочное устройство может работать следующим образом: зажигание горелки, а также режимы с высокими значениями $\alpha_г$ обслуживаются без смесителя, а диапазон нагрузок с низкими значениями избытка воздуха (вплоть до 1,0) обеспечивается подключением смесителя.

Испытания такого комбинированного газогорелочного устройства с расходом природного газа до 500 *м³/ч* проведены в Киевском политехническом институте. Горелка имела следующие размеры: диаметр — 510 *мм*; диаметр газовой форсунки — 80 *мм* (25 отверстий ∅ 3 *мм*); диаметр смесителя наружный — 365 *мм*.

Распределение газа между смесителем и горелкой менялось в широких пределах: от 100% на смеситель до 100% на горелку без смесителя. Смеситель на всех избытках воздуха (в опытах от 1,0 до 13) обеспечивал достаточно высокую степень однородности газо-воздушной смеси.

Полнота сгорания газа при комбинированной работе горелочного устройства со смесителем в диапазоне общего коэффициента избытка воздуха $\alpha_г = 1{,}0 \div 3{,}0$ составляет соответственно 99 ÷ 98%. Режимы с более высокими избытками воздуха $\alpha_г = 3{,}0$ и выше могут обслуживаться горелочным устройством без смесителя. Полнота сгорания при этом составляет 98 ÷ 96%. В период испытаний ни на одном из режимов не наблюдалось явления проскока пламени в смеситель.

Сопротивление горелочного устройства при работе ~ 250 *мм вод. ст.*, т. е. выше, чем у горелок, рассмотренных ранее. Конструкция этой горелки к тому же сложней и требует подвода охлаждающей воды.

Исходя из изложенных выше качеств, горелочные устройства этого типа могут применяться на камерах сгорания ГТУ, парогазовых установках и других агрегатах, работающих с переменными избытками воздуха.

Для высоконапорного парогенератора производительностью 50 *т/ч* в ЦКТИ разработана конструкция газомазутной горелки (рис. 81). В горелке осуществляется предварительное смешение газа с воздухом, для чего установлены полые лопатки под углом 42° к оси горелки. Газ из лопаток выходит в межлопаточное пространство отдельными струйками через отверстия диаметром 2,5 *мм*, где интенсивно перемешивается с воздухом.

В центре горелки размещается паромеханическая форсунка для жидкого топлива, которое является для данных установок резервным. Имеется специальное устройство, позволяющее производить установку и демонтаж форсунки без остановки работы парогенератора. Регистры и другие детали горелки изготовляются из жаропрочной стали.

В парогенераторе предусмотрена установка пяти горелок: центральной и четырех под углом 18° к продольной оси камеры сгорания. Это обстоятельство, как показал опыт работы на многорегистровых камерах сгорания, способствует интенсификации процесса сгорания за счет резкого увеличения турбулизации факела.

В центральной горелке парогенератора, кроме основной газовыходной части, предусмотрена так называемая дежурная горелка с самостоятельным подводом газа в количестве 5 ÷ 10% от общего расхода газа на горелку. Выходные газовые отверстия дежурной горелки диаметром 3,0 *мм* выполнены на торце втулки между регистром и форсункой.

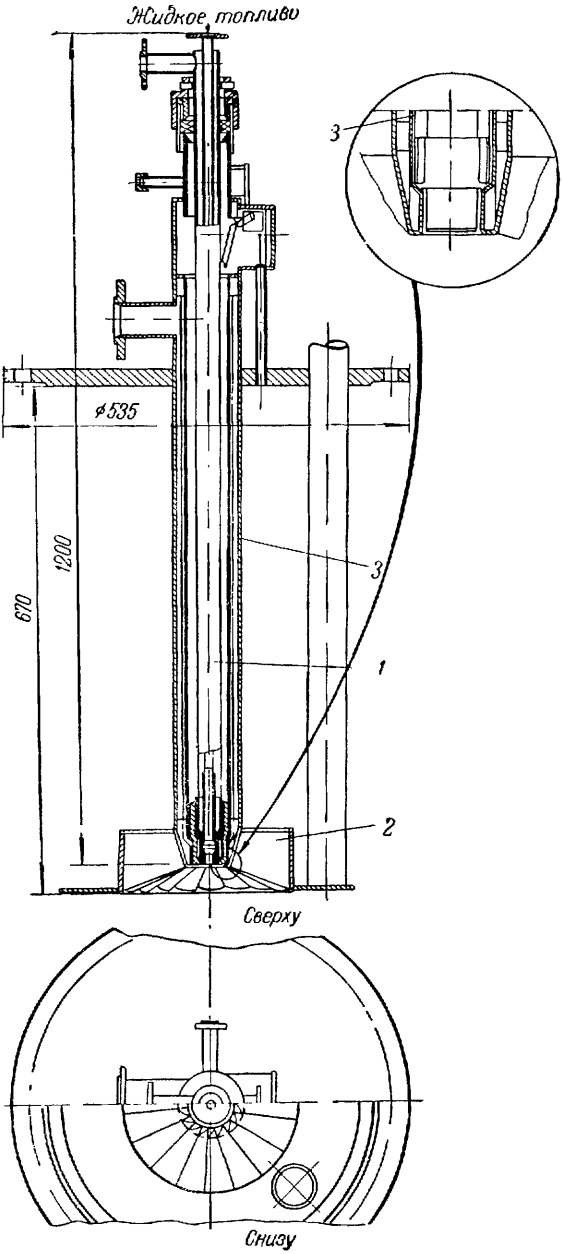


Рис. 81. Горелка ЦКТИ для высоконапорного парогенератора производительностью 50 *т/ч*.

1 — форсунка для жидкого топлива; *2* — воздушный регистр; *3* — корпус горелки.

Горелка имеет следующие характеристики:

Тепловая нагрузка, тыс. *ккал/ч*	7150
Расход природного газа, *м³/ч*	840
Расход жидкого топлива ($Q_р$ = 10 000 *ккал/кг*), *кг/ч*	715
Скорость выхода газа из отверстий, *м/сек*	38
Скорость воздуха на выходе из горелки, *м/сек*	40

Испытания этой горелки на специальном стенде показали, что она легко зажигается и выводится на режим. Зажигание основной горелки производилось от дежурной горелки надежно. Температура подогрева воздуха составляла 180 ÷ 270° С. При этом были достигнуты следующие показатели работы горелки: теплонапряжение по сечению камеры — до $3{,}7 \cdot 10^6$ *ккал/м²·ч·ат*; потери тепла от химической неполноты отсутствовали на расстоянии $\frac{L}{D} = 0{,}6$ при коэффициенте избытка воздуха $\alpha_г = 1{,}15$.

При работе одной дежурной горелки и при совместной работе дежурной и основной горелок срыв факела наступал при коэффициенте избытка воздуха не меньше четырех, что вполне обеспечивает бесперебойную работу парогенератора.

Другой тип горелки для парогенератора производительностью 120 *т/ч* создан также в ЦКТИ. Горелка (рис. 82) выполнена как комбинированная для сжигания газа и жидкого топлива. Полые лопатки горелки установлены под углом 60° к ее продольной оси. Газ выходит из лопаток через отверстия диаметром 2 *мм*. На выходе лопаток из обечайки регистра установлены специальные перегородки. Поэтому, несмотря на большой угол закрутки воздуха и сравнительно большую выходную скорость воздуха (60 *м/сек*), на входе в регистр наблюдаются относительно низкие скорости (~ 25 *м/сек*).

В центре горелки размещается паромеханическая форсунка. Дежурная горелка в указанной конструкции не предусмотрена. На фронте камеры сгорания парогенератора установлено 7 основных горелок и две дежурных, от которых осуществляется зажигание. Основные горелки наклонены к продольной оси камеры под углом 17°.

Важнейшие характеристики горелки следующие:

Тепловая нагрузка, тыс. *ккал/ч*	13 500
Расход природного газа, *м³/ч*	1600
Расход жидкого топлива, *кг/ч*	1350
Скорость, *м/сек*:	
газа на выходе из отверстий	60
воздуха на входе в регистр	25

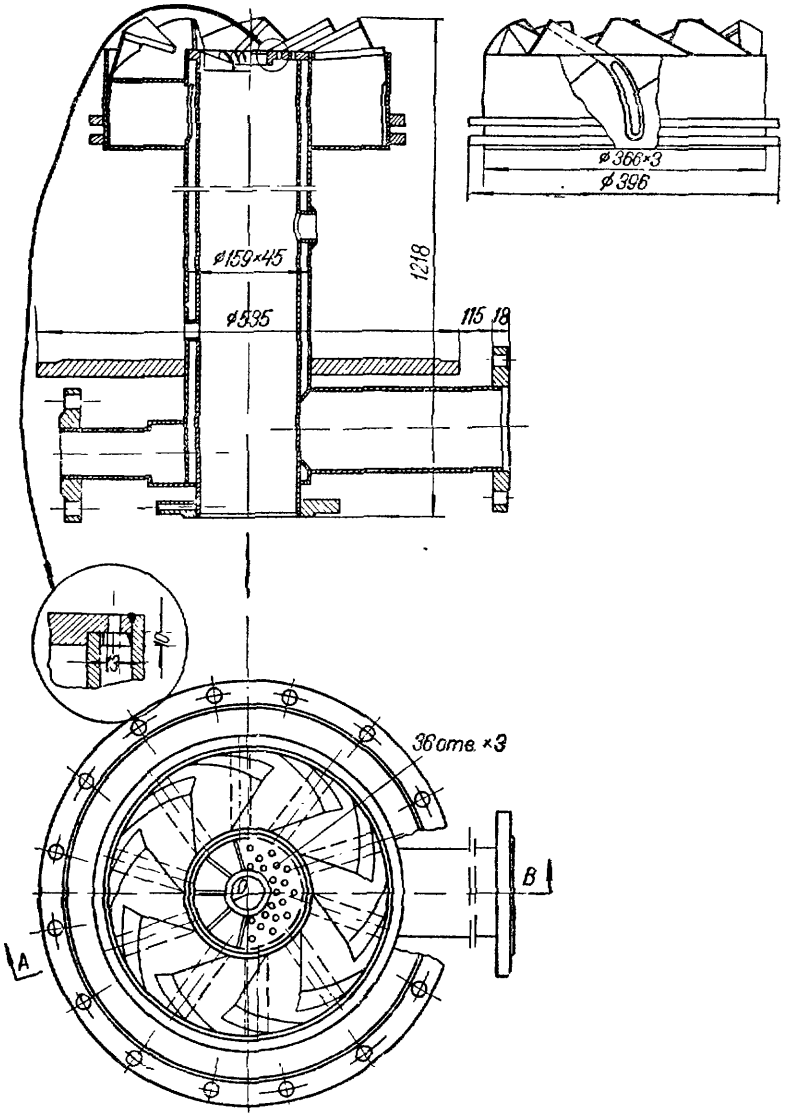


Рис. 82. Горелка ЦКТИ для высоконапорного парогенератора производительностью 120 *т/ч*.

Горелка испытывалась при температуре подогрева воздуха 240 ÷ 280° С. При теплонапряжении $5{,}5 \cdot 10^6$ *ккал/м²·ч·ат* и избытке воздуха $\alpha_г = 1{,}25$ процесс сгорания полностью оканчивался на относительном расстоянии $\frac{L}{D} = 0{,}8$. Срыв факела наблюдался только при избытке воздуха, равном 3,0 и выше.

Таким образом, из рассмотрения двух типов горелочных устройств для камер сгорания парогенераторов видно, что принципиальная схема горелок с подачей газа через полые лопатки, а воздуха — между лопатками обеспечивает хорошее смешение и приводит к высокоэффективному сжиганию газа.

ГЛАВА IV

МОНТАЖ ГАЗОГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Порядок монтажа газовых горелок

Во многих случаях заводы не поставляют горелки совместно с агрегатами — они изготовляются монтажными организациями непосредственно на месте. При изготовлении деталей, отдельных узлов или всех горелок целиком необходимо применять материалы в строгом соответствии с указанными в нормалях или рабочих чертежах.

Допускается использование для горелок только материалов, имеющих сертификаты заводов-изготовителей.

Кромки деталей горелок должны быть ровными, необходимо удалить наплывы, неровности и заусенцы. Детали горелок, изготовленные гибкой, отбортовкой и штамповкой, не должны иметь трещин, глубоких вмятин и других дефектов.

При сборке узлов и деталей под сварку должно обеспечиваться правильное взаимное расположение свариваемых частей. Допускаются следующие виды сварки: а) автоматическая (полуавтоматическая) электросварка, б) ручная электродуговая сварка, в) ацетилено-кислородная сварка.

Все подлежащие сварке детали должны быть предварительно очищены от ржавчины, окалины и грязи.

Размеры фланцев в свету должны сопрягаться с присоединительными элементами горелок, сами фланцы должны быть отрихтованы, а забоины, выступы и вмятины необходимо выправить.

В узлах и деталях, соединяемых при помощи болтов, винтов или шпилек, не допускается несовпадение болтовых отверстий и их односторонняя разделка. Овальность отверстий не должна превышать допуска на диаметр. Все размеры деталей и узлов горелок выполняются с соблюдением допусков на изготовление, указанных в рабочих чертежах или нормалях.

Монтаж газовых горелок включает в себя как непосредственно установку горелки, так и связанные с этим обмуровочные работы по топке.

Многообразие конструкций газовых горелок не позволяет дать общие рекомендации по порядку их монтажа, однако некоторые операции по монтажу будут общими для большинства типов горелок.

Установка газовых горелок на новые агрегаты, специально предназначенные для работы на газе, не представляет затруднений и поэтому здесь не рассматривается.

Обычно монтажные работы при переоборудовании агрегатов на сжигание газа и установке горелок с фронта котла начинаются с демонтажа существующего топливосжигающего устройства и разборки кладки. Затем производится крепление фронтового листа и установка горелки, присоединение ее к газопроводу и воздуховоду. Последним этапом работы является изготовление амбразуры горелки из огнеупорных материалов.

Инжекционные горелки среднего давления без стабилизаторов монтируются в такой последовательности. Устанавливается фронтовой лист, к которому на болтах крепится насадок горелки. Сама горелка устанавливается на специальную подставку, изготовляемую из уголков или труб. Далее горелка соединяется с подводящим газопроводом. В зависимости от конструкции агрегата в кладке размещается керамический туннель или на под, выложенный на колосниковой решетке, насыпается шамотная горка.

При установке инжекционных горелок особое внимание должно быть обращено на соблюдение соосности газового сопла и корпуса смесителя, на точность изготовления сопла с указанным на чертеже допуском и чистотой обработки, а также на устранение грубых шероховатостей (наплывов, заусенцев и др.) на внутренних поверхностях смесителя и выходного насадка.

Монтаж *турбулентных* горелок начинается также с установки фронтового листа. К нему крепится воздухонаправляющий аппарат, выполненный либо в виде улитки, либо с простым тангенциальным подводом. Затем в кладку со стороны топки заделывается газораспределительная камера, которая на фланце соединяется с газопроводом. Воздухонаправляющее устройство присоединяется к воздухопроводу.

Амбразура горелок выкладывается по шаблону, работы ведутся из топочной камеры. После окончания монтажа

горелки и обмуровочных работ необходимо просушить обмуровку амбразуры и топочной камеры.

При монтаже *подовых* горелок особое внимание обращается на качество выкладки пода и правильность установки горелки в щели. Под должен быть плотным во избежание пропуска воздуха помимо щели, а щель — иметь строго заданные размеры, в особенности по ширине. Горелка должна размещаться строго посредине щели с отклонением по всей длине не более ± 1 *мм*. Плотность пода, выкладываемого всухую, достигается прокладкой асбестового листа толщиною около 5 *мм* между первым и вторым рядом кирпичей. Кирпичи следует укладывать в перевязку. Часто применяют укладку пода на огнеупорном растворе. Перед монтажом горелок имеющаяся колосниковая решетка должна быть очищена, а изношенные колосники заменены новыми. Это обеспечивает равномерное распределение воздуха по щели.

Обмуровочные материалы и работы при монтаже газогорелочных устройств

Огнеупорные материалы (шамотные изделия), применяемые при монтаже газовых горелок, подразделяются в зависимости от огнеупорности на три класса — А, Б и В и в зависимости от допускаемых отклонений по размерам и внешнему виду — на два сорта. Огнеупорность кирпича характеризуется допустимой температурой его нагрева и составляет для класса А — 1780, класса Б — 1650, класса В — 1580° С. Огнеупорный кирпич класса В для обмуровочных работ в топках котельных и печных агрегатов применять не рекомендуется.

В табл. 70 приведены сведения о кирпиче, наиболее часто употребляемом при обмуровочных работах.

Таблица 70

Характеристика кирпича

Наименование	Размеры кирпича, *мм*		Вес одного кирпича, *кг*
Шамотный кирпич:			
класса А	Большой размер	250×123×65	3,3
класса Б	Малый размер	230×113×65	3,1
класса В	Малый размер	230×113×65	3,1
Гжельский кирпич		235×114×65	2,9
Красный кирпич		250×120×65	3,5—3,6

Для кладки шамотных изделий применяют огнеупорные растворы специальных составов. Для соединения неогнеупорного кирпича служат глиняные растворы. Материалы для огнеупорных растворов — мертель, глина огнеупорная, шамотный порошок, кварцевый песок — не должны иметь примесей обычного песка, красной глины, мусора и земли.

Шамотный мертель, применяемый обычно для огнеупорных растворов, состоит из молотого шамота и огнеупорной глины и в зависимости от назначения подразделяется на три класса.

Класс 1 — для особо ответственной кладки (температура до 1400° С); шамот молотый — 75%, глина огнеупорная молотая — 25%.

Класс 2 — для тщательной кладки (температура до 1400° С); шамот молотый — 65%, глина огнеупорная молотая — 35%.

Класс 3 — для более грубой кладки (температура до 1200° С); шамот молотый — 55%, глина огнеупорная молотая — 45%.

Огнеупорный раствор приготовляется следующим образом: для класса 1 — 10 ведер сухого мертеля и 4 ведра воды (толщина швов до 2 *мм*), для класса 2 — 10 ведер сухого мертеля и 3,5 ведра воды (толщина швов до 3 *мм*), для класса 3 — 10 ведер сухого мертеля и 3 ведра воды (толщина швов до 5 *мм*).

При отсутствии мертеля для приготовления огнеупорного раствора применяют шамотный порошок и огнеупорную глину, смешиваемую в тех же пропорциях, в каких они содержатся в шамотном мертеле заданного класса.

Расход материалов на 1 $м^3$ огнеупорного раствора приведен в табл. 71, а в табл. 72 дан расход материалов на приготовление 1 $м^3$ глиняного раствора.

Количество кирпича, необходимое на 1 $м^3$ кладки обмуровки топки, приведено в табл. 73, а расход раствора дан в табл. 74.

Огнеупорный кирпич и фасонный кирпич со стесанной поверхностью, отбитыми углами и кромками укладывается внутри кладки. Кирпич с трещинами, образовавшимися при теске, применять для кладки не разрешается. Запрещается смачивать водой огнеупорный кирпич при кладке. При перевязке рядов кладки вертикальные швы не должны совпадать.

Во многих конструкциях горелок в качестве стабилизаторов применяются керамические туннели. Керамиче-

Таблица 71

Расход материалов на приготовление 1 $м^3$ шамотного огнеупорного раствора

Материал	Класс раствора			Раствор на кварцевом песке
	1	2	3	
Шамотный порошок, *кг*	1100	960	810	—
Кварцевый песок, *кг*	—	—	—	1010
Глина огнеупорная, *кг*	430	570	720	720
Вода, *л*	550	480	430	430
Вес раствора, *кг*	2080	2010	1960	2160
Мертель, *кг*	1530	1530	1530	—

Таблица 72

Расход материалов на приготовление 1 $м^3$ глиняного раствора

Материал	На красной глине	На гжельской глине
Глина красная, $м^3$	0,45	—
Глина гжельская, $м^3$	—	0,55
Песок, $м^3$	0,7	—
Песок кварцевый, $м^3$	—	0,85
Вода, *л*	500	500

Таблица 73

Количество кирпича, необходимое на 1 $м^3$ кладки обмуровки

Наименование	Количество, шт.	Толщина швов, *мм*
Шамотный кирпич большого размера	480	3
То же	500	1—2
Шамотный кирпич малого размера или гжельский	570	3
То же	590	1—2
Красный кирпич	420—450	8
То же	450—470	5

Таблица 74

Расход раствора на 1 $м^3$ кладки обмуровки

Кирпич	Толщина швов, *мм*	Расход раствора, $м^3$
Огнеупорный	1	0,05
	2	0,084
	3	0,12
Красный	5	0,18
	8	0,28

ские туннели могут изготовляться или набором специальных горелочных камней, или путем набивки их на месте по шаблонам. На рис. 83 показан туннель, собранный из горелочных камней и выполненный по шаблону.

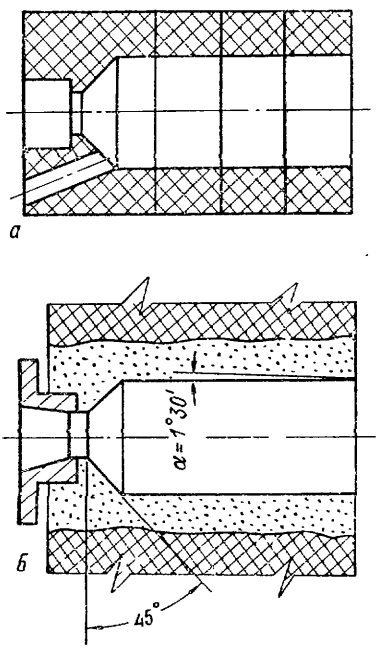


Рис. 83. Керамический туннель: *а* — собранный из горелочных камней; *б* — изготовленный по шаблону.

В зависимости от толщины кладки туннели выполняются нормальной длины и укороченные. Для природного газа длина нормального туннеля принята $L_т = 6d$, а укороченного — $L_т = (2{,}5 \div 3)\,d$. Диаметр туннеля обычно выполняется равным $D_т = 2{,}5\,d$ (где d — диаметр насадка горелки).

Горелочные камни изготовляются из высокоглиноземистого шамота с содержанием глинозема не менее 50%, термостойкостью не менее 20 теплосмен. При отсутствии высокоглиноземистого шамота он заменяется каолином.

Горелочные камни при сборке туннеля укладываются с тщательной подгонкой при толщине швов не более 2 *мм*. Уступы и неровности на внутренней стороне туннеля не допускаются. При монтаже должна быть обеспечена соосность туннеля с выходным насадком горелки. Для облегчения сборки горелочные камни, имеющие большой вес, делаются составными из 2 ÷ 4 частей. С целью обеспечения возможности установки горелок с правым или левым расположением запальных отверстий горелочные камни выполняются в виде прямоугольной призмы.

Проемы над горелочными камнями малых размеров перекрываются обычной кладкой, а для туннелей больших размеров — в виде сводов. Пространство между горелочным камнем и сводом закладывается кирпичом и забивается глино-шамотной массой.

В случае отсутствия горелочных камней туннель может быть выполнен набивным. Для этого применяется масса *следующего состава, %: порошок хромистого железняка* — 45, порошок обожженного магнезита — 45, огнеупорная глина — 10.

Набивка туннеля производится по специальному шаблону. Слой набивной массы должен быть не менее 20 ÷ ÷ 25 *мм*. Шаблоны изготовляются из плотного дерева и покрываются олифой. Перед установкой шаблона необходимо покрыть его тонким слоем мелкого просеянного шамотного порошка либо смочить известковым молоком и высушить. Трамбование набивки следует производить весьма тщательно, равномерно и возможно более плотно.

Стойкость и срок службы туннеля, выполненного по шаблону, в значительной мере зависят от равномерности перемешивания набивной массы, плотности и равномерности набивки ее и соблюдения режима сушки и разогрева туннеля.

Некоторые конструкции горелок компонуются с цилиндрическими или коническими амбразурами. Кладку амбразур выполняют из фасонного шамотного кирпича и шамотного клинового кирпича класса А первого и второго сортов.

Кладку амбразур ведут по круглым деревянным кружалам в соответствии с рабочими чертежами. При кладке амбразур весь фасонный и клиновой кирпич предварительно сортируется и тщательно подгоняется и притирается друг к другу. Толщина швов кладки амбразур *не должна превышать 2 мм*.

Во время укладки амбразуры производится проверка радиальности швов при помощи шнура-радиуса, укрепленного в центре кружала. По мере возведения кладку амбразуры укрепляют кладкой стены. Смещение оси амбразуры по отношению к оси горелки недопустимо, так как это нарушает правильное расположение факела. У вертикально-щелевых горелок щель должна выполняться из огнеупорного кирпича класса А, а у подовых может выполняться также и из кирпича класса Б. Выкладка щели осуществляется по шаблону с точным соблюдением всех размеров. Особое внимание должно быть обращено на отсутствие наплывов, неровностей на внутренней стороне щелей.

После выполнения обмуровочных работ необходимо тщательно просушить обмуровку, ибо от правильности проведения сушки во многом зависит стойкость кладки. До начала сушки поверхность кладки нужно очистить от раствора и загрязнений. При сушке обмуровки горячими газами температуру в топочной камере следует поднимать медленно, не допуская перекосов. Обычно обмуровку сушат, сжигая дрова, уложенные на поду топки. В течение всего периода сушки в верхней части топочной камеры должно поддерживаться нормальное разрежение в пределах $2 \div 3$ *мм вод. ст.*, что достигается изменением степени открытия шиберов, установленных в газоходах агрегата. Костер должен гореть равномерно. Дрова загружаются через отверстия и лазы топочной камеры. Костер к концу первых суток должен занимать приблизительно половину колосниковой решетки и находиться в центре ее.

К концу вторых суток включают газовые горелки и ведут дальнейшую сушку. Не допускается выбивание газов и дыма через гляделки, люки и другие отверстия в обмуровке.

Если температура обмуровки, сложенной в зимнее время, отрицательная, то обмуровку следует первоначально оттаять специальным обогревом или созданием положительной температуры в помещении цеха. Если при отоплении помещения цеха удается поднять температуру воздуха в нем до $+3 \div 10°$ С, то обмуровка оттаивает примерно через $3 \div 6$ суток. Когда температура облицовочного слоя обмуровки на уровне горелок достигнет $+1 \div +2°$ С, считается, что процесс оттаивания закончен и можно приступить к нормальной сушке.

При сушке обмуровки горячим воздухом его подводят в топочную камеру с двух противоположных сторон.

Горячий воздух должен иметь температуру 250 ÷ 300° С. В течение первых 2 ÷ 3 дней температура в топочной камере поддерживается 100 ÷ 200° С, а в последующие дни — 200 ÷ 300° С.

Сушка считается законченной, если температура облицовочного слоя обмуровки постепенно достигает к концу сушки 40 ÷ 55° С и сохраняется постоянной в течение 1 ÷ 2 дней. После сушки раствор в швах наружной облицовки должен быть сухим.

В процессе эксплуатации агрегатов часто приходится сталкиваться с большими присосами воздуха через кладку топки. Уплотнить обнаруженные неплотности следует конопаткой их асбестовым шнуром с последующей промазкой специальной хорошо перемешанной смесью, состоящей из, %: песка речного высушенного — 40; асбеста сухого молотого — 20; песка кварцевого тонкомолотого (остаток на сите 6400 *отв/см*^{2} не более 5%) — 20; каменноугольного пека — 15; кремнефторида натрия — 5. В качестве растворителя применяется жидкое стекло с удельным весом 1,35 в соотношении 35 *см*^{3} на 100 *г* сухой смеси. Нанесение обмазки производится на поверхность, очищенную от старой обмазки или штукатурки. Слой толщиной 8 ÷ 10 *мм* наносится вручную и выравнивается мастерком.

Работа с обмазкой должна выполняться в резиновых перчатках во избежание раздражения кожи рук. Заготовка обмазки производится малыми порциями, так как она быстро сохнет и в засохшем состоянии плохо наносится на поверхность кладки. Как показал опыт, обмазка не растрескивается в течение года.

Ревизия оборудования

При проверке соответствия выполненных монтажных работ проекту и выявлении дефектов монтажа производится наружный и внутренний осмотр агрегата и проверяется качество исполнения монтажных работ.

Поскольку вопросы, связанные с осмотром котлов, печей и других агрегатов, использующих газообразное топливо, изложены в соответствующих выпусках «Библиотеки мастера газового хозяйства», остановимся только на осмотре газовых горелок.

При осмотре горелочных устройств проверяется следующее.

1. Количество, диаметры и расположение газовыпускных отверстий — в горелках с принудительной подачей

воздуха, диаметр сопла и его центровка в инжекционных горелках.

Диаметры огневых отверстий и сопел должны соответствовать проектным. В случае отклонения теплоты сгорания газа от расчетной размеры и количество огневых отверстий и диаметры сопел должны быть пересчитаны. Одновременно с этим следует определить величину давления газа, при котором будут работать горелки и, если необходимо, изменить пределы настройки регулятора давления газа. Несовпадение осей сопла и смесителя горелок приводит к снижению избытка воздуха на выходе из горелки и, как следствие этого, — к неполноте горения газа.

2. Шиберы, регулирующие подачу воздуха (в горелках с принудительным дутьем), и воздушно-регулировочные шайбы (в инжекционных горелках). Неплотное закрытие воздушно-регулировочных заслонок и шиберов весьма осложняет зажигание горелок. У инжекционных горелок происходит проскок пламени, а у горелок с принудительной подачей воздуха — срыв пламени запальника или отрыв пламени от горелки в момент ее зажигания. Для удобства обслуживания большую роль играют легкость хода воздушно-регулировочных устройств.

3. Чистота внутренних полостей горелки. Наличие наплывов и заусенцев на внутренних полостях горелки увеличивает ее сопротивление по воздушному и газовому трактам.

4. Крепление горелки, удобство ее обслуживания, расположение запального отверстия и удобство пользования им.

Приводы органов, регулирующих подачу газа и воздуха, должны находиться для удобства обслуживания, на одной отметке и иметь свободный доступ.

В соответствии с действующими правилами розжиг горелок производится только от запальника. Запальное отверстие должно быть выполнено так, чтобы пламя запальника обеспечивало надежное зажигание горелки. Однако иногда встречаются случаи, когда запальные отверстия отсутствуют или расположены крайне неудобно. Так, на одном котле вообще не было предусмотрено запальное отверстие для зажигания комбинированной пылегазовой горелки, а зажигание предполагалось осуществлять от мазутной форсунки, расположенной на значительном расстоянии. На другой установке запальные отверстия для зажигания горелок были расположены так,

что рабочий, для того чтобы вставить запальник, должен был становиться на колени.

5. Размеры и качество изготовления туннеля, а также сопряжения с ним выходного насадка горелок; плотность и качество разделки обмуровки в месте примыкания ее к выходному сечению горелок с принудительной подачей воздуха (особенно турбулентных).

Туннель, выкладываемый при установке инжекционных горелок, работает в весьма тяжелых температурных условиях, поэтому должен быть весьма тщательно выполнен. При некачественном выполнении туннель быстро выходит из строя, выходной насадок горелки оголяется и сгорает. Неплотная кладка выходной амбразуры турбулентных горелок приводит к проникновению газа в щели обмуровки котла и через них в помещение цеха или к преждевременному сгоранию амбразуры и разогреву газовых камер горелки.

6. Качество огнеупорного пода, выкладываемого на колосниковой решетке, и горки из битого шамота, так как оно сильно влияет на работу горелок. Горка обычно выполняется из шамотного кирпича. Кирпич лучше всего разбивать на четыре части.

Горку необходимо располагать на таком расстоянии от устья горелки, чтобы факел касался ее во время розжига при работе на избытках воздуха меньше единицы. В этих условиях горка быстро раскаляется и после перехода на работу горелки с $\alpha_г = 1{,}0$ (когда факел отрывается от устья насадка) является надежным стабилизатором.

Важное значение имеет также конфигурация керамической горки. Если она выполнена, как показано на рис. 84, *б*, может наблюдаться значительный тепловой перекос в топке. На рис. 84, *а* показано правильное расположение керамической горки на секционном котле НРч. Действительно, в первом случае передние секции котла будут перегреваться, в то время как задние секции будут получать мало тепла. Во втором случае все секции котла получают тепло равномерно. Неплотная укладка пода может привести к дополнительным присосам воздуха через колосниковую решетку.

7. Качество разводки экранных труб при установке между ними горелок. При разводке экранных труб для установки горелок следует обращать внимание на то, чтобы кромки разведенных труб находились на расстоянии не менее 20 ÷ 30 *мм* от кромки выходного отверстия горелки.

8. Удобство расположения гляделок для просмотра топки, а также состояние и плотность обмуровки топочной камеры и установленной на ней гарнитуры.

При наладке топочного режима, так же как и в условиях нормальной эксплуатации, необходимо иметь воз-

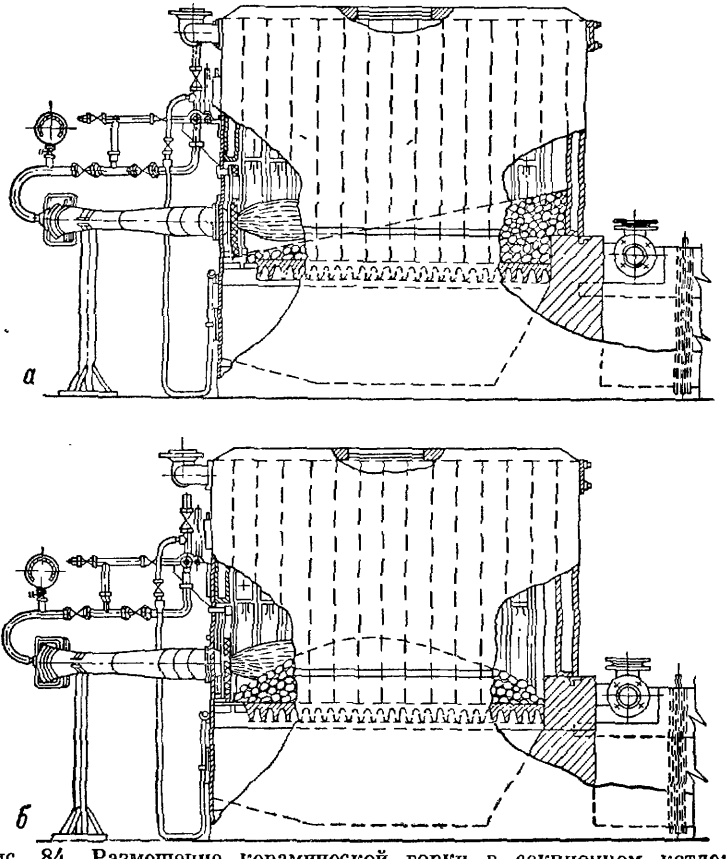


Рис. 84. Размещение керамической горки в секционном котле: *а* — правильное; *б* — неправильное.

можность просматривать топку для наблюдения за работой горелок и положением факела в топочной камере. Поэтому следует проверить наличие и расположение гляделок, через которые будет осуществляться контроль.

9. Правильность врезки штуцеров и присоединения манометров для измерения давления газа и воздуха перед горелками, а также тягомера для измерения разрежения в топочной камере.

ГЛАВА V

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И НАЛАДКА ГАЗОВЫХ ГОРЕЛОК

К обслуживанию систем газового хозяйства допускаются лица, сдавшие техминимум по газовому делу по программе, утвержденной Госгортехнадзором, и «Правилам безопасности в газовом хозяйстве», 1966 г. квалификационной комиссии в присутствии участкового инспектора Госгортехнадзора и технического инспектора Совета профсоюза.

Кроме сдачи экзамена, каждый кочегар и слесарь газифицированного объекта при допуске к работе получает на рабочем месте вводный инструктаж по технике безопасности. Вводный инструктаж проводится лицом, ответственным за газовое хозяйство, персонально с каждым рабочим. Повторная проверка знаний «Правил безопасности» производится ежегодно без участия инспектора Госгортехнадзора.

Первоначальный пуск агрегатов на газовом топливе осуществляется пусконаладочной организацией в присутствии ответственного за газовое хозяйство и дежурного персонала. Пусконаладочная бригада проводит комплекс наладочных работ и составляет режимную карту работы ГРУ и агрегата. Эксплуатация ГРУ и агрегатов, использующих газообразное топливо, при отсутствии режимной карты не допускается.

Обслуживающий персонал должен хорошо знать схему газопроводов, назначение и устройство арматуры, контрольно-измерительных приборов, установленного оборудования и методы правильного обращения с ним. Обслуживание газового оборудования ГРУ и агрегатов должно производиться в строгом соответствии с эксплуатационной инструкцией.

Утечки газа в случае их появления должны быть немедленно устранены. Нельзя допускать в помещении цеха присутствие посторонних лиц. Необходимо поддерживать в чистоте и порядке помещение и газовое оборудование. Запрещается оставлять без надзора включенные газовые

горелки. О всех ненормальностях в работе газового оборудования следует сообщать ответственному за газовое хозяйство.

Обслуживающий персонал газифицированного объекта ведет записи в сменном журнале, где отмечается:

а) время приема и сдачи смены;

б) каждый час показания манометров, контролирующих давление газа на вводе и у работающих горелок (при наличии записывающих манометров показания указывающих манометров записываются два раза в смену);

в) время пуска и остановки регуляторной установки, зажигания горелок и включения в работу основного оборудования;

г) показания тягомеров, контролирующих разрежение в топке и по тракту;

д) изменение в режиме работы ГРУ, переход на работу по обводной линии и обратно через регулятор;

е) все замеченные неисправности, перебои в работе и аварии.

Подготовка к включению газовых горелок

Прежде чем приступить к подготовке агрегата и включению горелок, необходимо проветрить помещение в течение *не менее 10 мин* и убедиться, что в помещении не пахнет газом. Затем производят наружный осмотр газового оборудования, газопроводов и арматуры. Проверяют состояние манометров и устанавливают их на нулевое положение, после чего открывают краны перед манометрами. Также следует убедиться, что все краны и задвижки на *газопроводе закрыты, за исключением крана на продувочном* газопроводе. При кратковременной остановке основного оборудования (не более одной смены) задвижки после ГРУ и задвижки перед и после газового счетчика могут находиться в открытом положении. Необходимо проверить записи в сменном журнале о ликвидации неисправностей, обнаруженных предыдущей сменой.

Подготовка оборудования к пуску производится согласно инструкции по эксплуатации для установок данного типа. Газовый тракт агрегата перед пуском должен быть тщательно провентилирован. Для этого шиберы газового тракта пускаемого агрегата и на общем газоходе полностью открываются, также полностью открываются имеющиеся в топке поддувальные дверцы и лазы. Если при этом разрежение в верхней части топки не упадет

до нуля и будет составлять 2 ÷ 3 *мм вод. ст.*, то вентиляция газоходов достаточно удовлетворительна.

Агрегаты, имеющие значительное сопротивление газового тракта и искусственную тягу, вентилируются путем пуска дымососа. Однако включать дымосос, имеющий нормальное (не взрывобезопасное) исполнение, можно только в том случае, если газовый тракт котла не загазован.

При использовании обычных дымососов и невозможности осуществить вентиляцию газового тракта естественной тягой приходится поступать следующим образом. *Полностью открываются шиберы газового тракта, включается дутьевой вентилятор, и воздух подается в топку через горелки. При этом топочные дверки и лазы должны* быть плотно закрыты, а помещение цеха следует усиленно вентилировать. Затем через несколько минут пускается дымосос и производится обычная вентиляция газоходов котла в течение 10 ÷ 15 *мин*. Очевидно, что описанная схема вентиляции путем предварительного пуска вентилятора возможна только для агрегатов, имеющих горелки с принудительной подачей воздуха.

Одновременно с вентиляцией газоходов обычно производят продувку внутрицехового газопровода и газопровода пускаемой установки. Окончание продувки контролируется анализом пробы газа, взятой из концевой части газопровода. Затем осуществляется пуск регуляторной установки (если она имеется) согласно инструкции.

Зажигание, регулирование и выключение горелок различных конструкций

На *рис. 85 показана схема газоснабжения отопительной* котельной без регуляторной установки, с котлами, оборудованными подовыми горелками низкого давления без принудительной подачи воздуха.

Все операции по подготовке оборудования к пуску выполняются в соответствии с описанным выше.

Пуск котельной после кратковременной остановки производится следующим образом. Прежде всего проверяют положение всех кранов и задвижек. При этом все краны и задвижки должны быть закрыты за исключением кранов *8* и *9*. Затем открывают кран *7* манометра M_1 и медленным открыванием задвижки *1* проверяют давление газа на входе в котельную. При давлении газа менее 40 *мм вод. ст.* пуск котельной производить не следует.

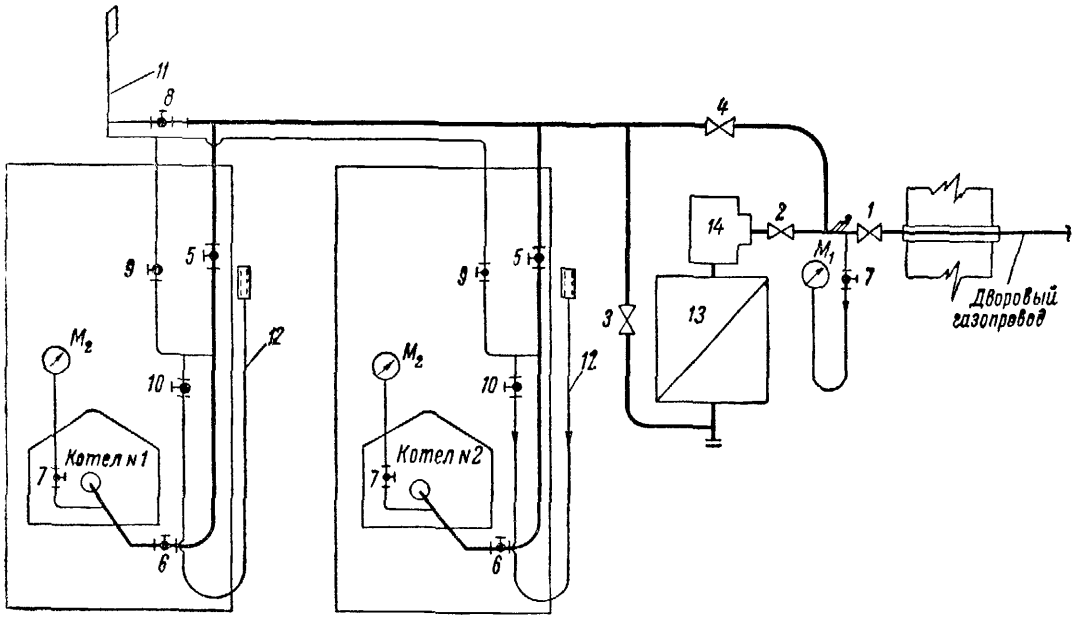


Рис. 85. Схема газоснабжения отопительной котельной с котлами, оборудованными подовыми горелками низкого давления без дутья.

1 — общая отключающая задвижка котельной; *2* — задвижка перед газовым счетчиком; *3* — задвижка после счетчика; *4* — задвижка на обводной линии счетчика; *5* — общий кран на котел; *6* — рабочий кран; *7* — краны к манометрам; *8* — кран продувки газопровода котельной; *9* — кран продувки газопровода котла (одновременно используется как кран безопасности); *10* — кран на запальник; *11* — продувочный газопровод; *12* — запальник; *13* — ротационный счетчик; *14* — фильтр-ревизия.

После проверки давления газа закрывают краны *9* обоих котлов и открывают задвижку *3*. Медленно открывая задвижку *2*, продувают коллектор котельной в течение 2 ÷ 3 *мин*.

После этого приступают к продувке газопровода включаемого котла, которая проводится так: открывают краны *9* и *5*, после чего закрывают кран *8*. Качество продувки определяют следующим образом. Открывают кран *10* и через запальник отбирают газ в металлический стакан. Затем закрывают кран *10*, выходят из помещения котельной и поджигают газ, находящийся в стакане. Если газ горит вялым желтым пламенем без хлопка, продувка газопровода считается законченной. При применении инжекционных запальников проба отбирается непосредственно из шланга запальника. Для этого нужно запальник отсоединить от шланга.

После окончания продувки закрывают кран *9* пускаемого котла и открывают кран *9* у неработающего котла. Затем присоединяют запальник и закрепляют его в устойчивом положении. Перед включением газовых горелок необходимо еще раз убедиться в том, что в помещении отсутствует запах газа, а давление газа по манометру M_1 на вводе газопровода в котельную нормально (не менее 40 *мм вод. ст.*). Затем открывают кран *7* перед манометром M_2, указывающим давление газа перед горелкой, и, прикрывая шибер на борове, устанавливают разрежение в топке котла 1 ÷ 1,5 *мм вод. ст.* При более высоком разрежении в топке не рекомендуется производить зажигание подовых горелок, так как при этом может произойти отрыв пламени. К выходным отверстиям запальника подносят зажженную спичку и, медленно открывая кран *10*, поджигают выходящий газ. Через запальное отверстие наконечник запальника вводят в топку, расположив факел его в кирпичной щели над начальными отверстиями горелки. Необходимо убедиться, что факел горит устойчиво. В случае срыва пламени на запальнике необходимо быстро закрыть кран *10*, произвести повторное вентилирование топки при полностью открытом шибере на борове в течение 10 ÷ 15 *мин*.

При устойчивом горении в топке запального пламени плавно приоткрывают кран *6*. После того, как обслуживающий персонал, производящий розжиг горелки, убедился, что газ, выходящий из нее, воспламенился, приоткрывают воздушную заслонку поддувального устройства. Увеличивая степень открытия крана *6*, поднимают

давление газа перед горелкой по манометру M_2 до 20 ÷ ÷ 30 *мм вод. ст.* и, если необходимо, производят подрегулировку подачи воздуха и разрежения в топке.

В случае невоспламенения газа, выходящего из горелки, необходимо быстро закрыть сначала кран *6*, затем *5*, открыть кран *9*, а кран *10* на запальнике закрыть, после чего поставить в известность ответственного за газовое хозяйство котельной. Следует обязательно выяснить и устранить причины невоспламенения газа.

Когда горелка зажжена, можно вынуть запальник из топки и, уменьшив расход газа, закрепить его около фронта котла в качестве сигнального огня. Кроме того, необходимо проверить герметичность газопроводов и арматуры, обмылив все фланцевые, муфтовые и другие соединения, а также сальниковые уплотнения задвижек и кранов, и сделать записи в сменном журнале.

После прогрева кирпичной кладки щели горелки и разогрева самого котла регулирование расхода газа на горелку осуществляется строго по данным режимной карты, составленной пусконаладочной бригадой для каждого отопительного агрегата котельной.

Регулирование расхода газа на горелку осуществляется краном *6*. Количество воздуха, необходимого для горения, регулируется воздушной заслонкой на поддувальном устройстве и шибером на борове.

Для увеличения расхода газа на горелку необходимо плавно приоткрыть кран *6*, а затем увеличить подачу воздуха через поддувальное устройство, увеличив открытие воздушной заслонки и шибера на борове в соответствии с режимной картой.

Для снижения производительности горелки необходимо уменьшить подачу воздуха в соответствии с режимной картой, а затем снизить подачу газа краном *6*.

Подовые горелки низкого давления работают обычно в пределах по давлению газа от 100 до 500 *мм вод. ст.* При этом разрежение в топке должно поддерживаться в пределах от 0,5 до 2,5 *мм вод. ст.* Факел по всей длине горелки должен иметь одинаковую высоту, ровный синеватый оттенок у корня и светло-соломенный цвет по наружному конусу, без коптящих язычков. Во время работы горелок должен быть обеспечен нормальный приток воздуха в помещение котельной.

Выключение горелки осуществляется в следующем порядке: закрывают кран *6* и убеждаются в том, что горелка погасла. Затем убеждаются, что уровень жидкости

в манометре M_2 упал до нуля и закрывают кран *7* перед ним. Закрывают кран *10* на запальник. У выключаемого котла необходимо закрыть кран *5* и открыть кран *9*. Через 10 ÷ 15 *мин* прикрыть воздушную заслонку и закрыть шибер на борове.

При остановке всех котлов после выключения горелок следует закрыть задвижку *1* на вводе газопровода в котельную, кран *7* перед манометром M_1 и открыть кран *8*.

Работающие горелки должны быть аварийно выключены в случае:

а) если зданию котельной угрожает пожар или другое стихийное бедствие;

б) если прекратилась подача газа;

в) если давление газа по манометру M_1 резко изменится и станет ниже установленной инструкцией величины;

г) при аварии котла;

д) при разрежении в топке менее 0,5 *мм вод. ст.*

Выключение горелок производить в порядке, изложенном выше, а в экстренных случаях, — быстро закрыв задвижку *1* на вводе газопровода в котельную или залив водой гидрозатвор на ответвлении дворового газопровода к котельной.

Обслуживание инжекционных горелок среднего давления

На рис. 86 показана схема газовой разводки термической печи, оборудованной инжекционными горелками среднего давления. Все подготовительные операции по подготовке горелок к пуску в основном совпадают с описанными ранее.

Осматривают и закрывают все газовые краны, задвижки и воздушно-регулировочные шайбы горелок, кроме крана *2* на газопроводе безопасности. Открывают шибер в борове печи. Проверяют наличие разрежения в печи тягомером и производят вентиляцию ее в течение 10 ÷ 15 *мин*.

Прежде чем приступить к розжигу горелок, производят продувку газопроводов, для чего открывают кран *4* у манометра M_1 и кран *3* на продувочном газопроводе. Далее медленно открывают задвижку *1*, устанавливают давление газа по манометру M_1 300 *мм вод. ст.* Продувка производится в течение 5 *мин*. Категорически запрещается производить продувку через газопровод безопасности.

После окончания продувки закрывают кран *3* и проверяют качество продувки. Для этого открывают задвижку *5* и, открыв на короткое время кран *9*, через запальник отбирают пробу газа. Убедившись, что продувка закончена полностью, открывают задвижку *1*.

Горелки разжигают последовательно одну за другой, причем в первую очередь следует включать горелки верх-

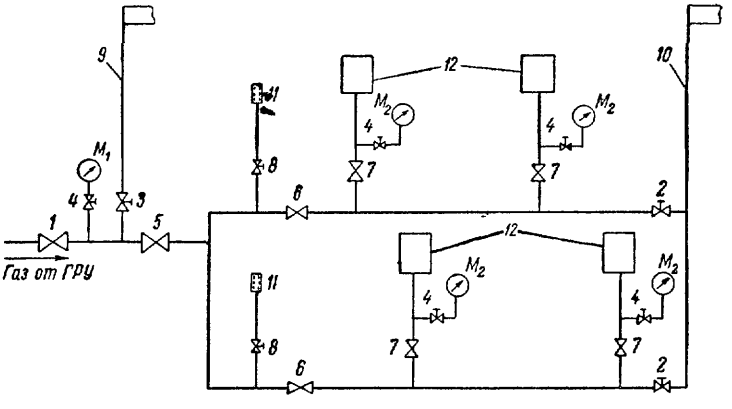


Рис. 86. Схема газопроводов термической печи, оборудованной инжекционными горелками среднего давления.

1 — общая задвижка на печь; *2* — кран на газопроводе безопасности; *3* — кран на продувочном газопроводе; *4* — краны к манометрам; *5* — задвижка; *6* — контрольная задвижка; *7* — рабочая задвижка; *8* — кран к запальнику; *9* — продувочный газопровод; *10* — газопровод безопасности; *11* — запальник; *12* — инжекционные горелки.

него ряда. Для включения горелки открывают кран *4* манометра M_2. Убедившись, что воздушно-регулировочная шайба горелки закрыта, зажигают запальник и вводят его через запальное отверстие в печь. Если пламя запальника горит устойчиво, приступают к зажиганию горелки. Для этого закрывают кран *2*, полностью открывают задвижку *6* и осторожно приоткрывают задвижку *7* у включаемой горелки; при этом газ должен сразу воспламениться. В случае невоспламенения газа все действия обслуживающего персонала аналогичны описанным в предыдущем примере.

Когда горелка зажжена, запальник вынимают из печи, убавляют его пламя и оставляют в качестве сигнального огня. Постепенно открывая воздушно-регулировочную шайбу, регулируют подачу первичного воздуха

в горелку. Затем зажигается вторая горелка верхнего ряда. Если первичный пуск горелок осуществлялся наладочной организацией, то в режимной карте указывается, на какую величину необходимо открывать воздушную шайбу для полного горения газа. В случае отсутствия таких рекомендаций подачу воздуха регулируют по цвету пламени: коптящее пламя свидетельствует о недостатке воздуха, а при нормальных избытках воздуха пламя становится прозрачным.

После прогрева туннеля горелки до видимого покраснения можно увеличивать ее производительность до максимума, открыв сначала задвижку *7*, а затем воздушно-регулировочную шайбу. Розжиг горелок нижнего ряда производится в той же последовательности, при этом предварительно закрывают кран *2* и открывают задвижку *6* на нижнем коллекторе.

Регулирование горелок производится только с помощью задвижки *7* изменением расхода газа. Минимально допустимое давление газа при работе горелок в зависимости от их типоразмера около 1000 *мм вод. ст.*, а максимально допустимое давление 9000 *мм вод. ст.* Недопустимо в процессе работы горелок нарушение устойчивости горения, т. е. отрыв и проскок пламени. Для предотвращения отрыва пламени необходимо при розжиге горелок увеличение подачи газа производить постепенно, только после прогрева горелочного туннеля. Чтобы не происходил проскок пламени в горелку, давление газа перед ней не должно быть меньше нижнего предела. Проскок также может происходить из-за перегрева насадка горелки, в результате его неплотного примыкания к туннелю. При проскоке пламени необходимо быстро закрыть подачу газа в горелку. Повторный розжиг горелки производится только после ее полного охлаждения.

Выключение инжекционных горелок производится следующим образом. Первоначально уменьшают нагрузку горелки до минимально допустимой, затем закрывают воздушно-регулировочную шайбу и задвижку *7*.

После прекращения горения на последней горелке отключаемого ряда закрыть задвижку *6* и открыть кран *2* на газопроводе безопасности. Затем закрывают кран *9* к запальнику. При полной остановке печи необходимо закрыть задвижки *5* и *1*, открыв кран *3* на продувочный газопровод.

Аварийное выключение горелок производят как обычно, действуя только более энергично. При необходимости

аварийного одновременного отключения всех горелок следует быстро закрыть задвижку *1*, а затем задвижки *5*, *6*, *7* и кран *9*. После этого открыть краны *2* и *3*.

Обслуживание комбинированных газомазутных горелок

На рис. 87 показана схема установки двух комбинированных газомазутных горелок на котле ДКВР-6,5-13. Газомазутная горелка состоит из газовой части (рис. 56)

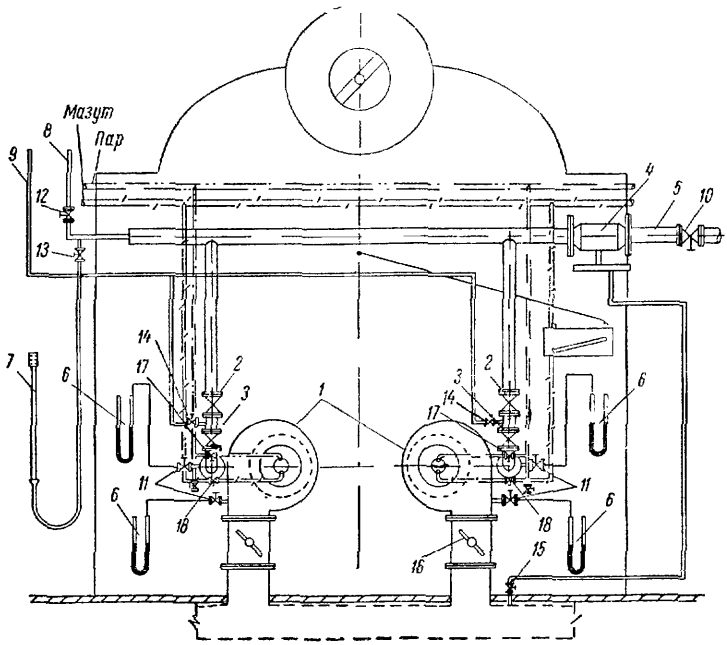


Рис. 87. Схема газопроводов и мазутопроводов котла ДКВР-6,5-13 промышленной котельной, оборудованного газомазутными горелками.

1 — газомазутная горелка; *2* — контрольная задвижка; *3* — рабочая задвижка; *4* — клапан блокировки «газ-воздух»; *5* — подводящий газопровод; *6* — U-образный манометр; *7* — запальник; *8* — продувочный газопровод; *9* — газопровод безопасности; *10* — отключающая задвижка; *11* — кран к манометру; *12* — кран на продувочном газопроводе; *13* — кран к запальнику; *14* — кран на газопроводе безопасности; *15* — кран на импульсной воздушной линии клапана блокировки; *16* — шибер на воздуховоде; *17* — кран на паровой линии; *18* — кран на мазутной линии.

и низконапорной мазутной щелевой форсунки с паровым распылом. При работе на газе мазутная форсунка не устанавливается во избежание обгорания.

Перевод с одного вида топлива на другое осуществляется поочередным отключением горелок с установкой или снятием мазутной форсунки.

Не будем касаться подготовки мазутного хозяйства, так как оно всегда должно быть в резерве. По схеме мазут подается из емкости насосом в расходный бак, где подогревается и самотеком поступает к форсункам. Бак находится на высоте 5 *м*, и поэтому мазут подается в форсунку с избыточным давлением 0,5 *ат*. Прежде чем приступить к зажиганию форсунки, необходимо провентилировать топку и газоходы в течение 10 ÷ 15 *мин*, как описано в предыдущих примерах.

Температура мазута перед форсунками должна поддерживаться в пределах 75 ÷ 95° С в зависимости от марки мазута. Изготовить растопочный факел из концов и проволоки, пропитать его мазутом и поджечь. Избыточное давление мазута перед форсунками должно быть в пределах 0,5 *ат*. Продуть паровую линию от конденсата.

Поднести к устью зажигаемой форсунки зажженный растопочный факел. Открыть немного паровой вентиль перед форсункой и плавно приоткрыть мазутный вентиль перед форсункой. Струя мазута, направленная на пламя растопочного факела, должна сразу загореться. После этого отрегулировать горение с минимальной подачей мазута так, чтобы оно было устойчивым и бездымным. Категорически запрещается зажигать мазутную форсунку от раскаленной кладки топки. Зажигание форсунки разрешается только от надежно горящего растопочного факела.

Если при розжиге мазут не загорится или, воспламенившись, погаснет, необходимо немедленно закрыть вначале мазутный, а затем паровой вентили, убрать из топки растопочный факел и провентилировать топку и газоходы в течение 10 ÷ 15 *мин*.

Факел может погаснуть в результате засорения мазутной линии или мазутного канала в форсунке, попадания в мазут воды, недостаточной степени его подогрева или излишней подачи пара.

Если погаснет часть уже работающих форсунок, то необходимо прекратить подачу мазута в эти форсунки и зажигать их только с помощью растопочного факела. При погасании во время растопки всех работающих форсунок следует произвести их повторное зажигание в указанном выше порядке.

При розжиге форсунок нельзя стоять против гляделок топки, растопочных лючков, чтобы не пострадать от случайного выброса пламени. Во время обслуживания форсунок необходимо поддерживать давление мазута до регулирующих вентилей и его температуру, а также давление воздуха в коробе перед шиберами согласно режимной карте.

При регулировании работы фосунок для уменьшения их производительности необходимо сначала убавить подачу мазута и пара, а затем воздуха и уменьшить разрежение. Для повышения производительности форсунки сначала увеличивают разрежение и подачу воздуха, а затем подачу пара и мазута.

Подачу воздуха к форсункам регулируют по внешнему виду факела (его длине и окраске). При недостатке воздуха факел удлиняется и приобретает темно-желтую окраску. На конце факела появляются дымные языки. При больших избытках воздуха факел укорачивается и приобретает ослепительно белую окраску. О полноте горения топлива можно судить по газовому анализу за котлом. При сжигании мазута содержание CO_2 в дымовых газах должно поддерживаться в пределах 12 ÷ 13%.

Во время работы форсунок нужно следить, чтобы факел не касался экранных труб и краев амбразуры.

Появление черных полос в корне факела свидетельствует о засорении форсунки. Такую форсунку следует прочистить или сменить.

Наблюдая за горением, необходимо добиваться, чтобы факел равномерно заполнял топочную камеру и в нем не было «мушек». Наличие «мушек» указывает на недостаточный подогрев мазута или на плохое распыливание. *Нельзя допускать появления дыма из трубы, так как это* свидетельствует о неполном сжигании топлива. При выключении форсунок необходимо первоначально снизить их производительность. Само выключение производится в следующей последовательности: закрыть у форсунки сначала мазутный, а затем паровой вентиль. После выключения всех форсунок провентилировать топку и газоходы, после чего остановить вентилятор и дымосос, если он имеется.

*При аварийном выключении форсунок следует прекра*тить подачу мазута и воздуха и уменьшить разрежение в топке.

При растопке котла на газе все операции по вентилированию топки выполняются аналогично описанным.

Перед продувкой газопровода в пределах котла необходимо пустить дутьевой вентилятор и открыть кран *16* на импульсной линии для того, чтобы открылся клапан блокировки «газ — воздух». При пуске вентилятора все шиберы воздушного тракта перед горелками должны быть закрыты.

Газопровод котла продувают, открывая кран *13* и после этого задвижку *11*. Качество продувки проверяют, как было описано выше, через запальник, для чего следует открыть кран *14*. После окончания продувки зажигают запальник и открывают краны *12* на манометры *6*. Убеждаются, что разрежение в топке не превышает 3 *мм вод. ст.*, и вносят запальник через запальное отверстие зажигаемой горелки. Если запальник в топке горит устойчиво, закрывают кран *15* на газопроводе безопасности и открывают полностью контрольную задвижку *2*. Далее медленно открывают рабочую задвижку *3* и убеждаются, что выходящий из горелки газ воспламенился.

Горелки с принудительной подачей воздуха зажигают, как видно из описанного выше, при работе дутьевого вентилятора и полностью закрытых шиберах перед горелками. В этих условиях наличие даже небольших неплотностей в шиберах осложняет зажигание горелок, так как воздух, попадающий в горелку, может сдувать пламя запальника или отрывать факел от устья амбразуры.

После воспламенения газа необходимо проверить по манометру давление газа на горелке и установить его величину согласно инструкции по обслуживанию. В начальный период работы горелки (с пониженной производительностью) количество воздуха, поступающего в нее, должно быть небольшим. Для этого необходимо незначительно приоткрыть воздушный шибер *17*. Когда горелка включена, следует закрыть кран *13*, вынуть из топки запальник и, прикрыв кран *14*, закрепить его на фронте котла в качестве сигнального огня. После прогрева футеровки амбразуры выводят горелку на номинальный режим, открывая сначала рабочую задвижку *3*, а затем воздушный шибер *17* при непрерывном наблюдении за картиной горения. Снижают производительность горелки, уменьшая сначала подачу воздуха, а затем газа, но не допуская понижения его давления менее установленной величины.

Горелку выключают в такой последовательности: поочередно частично уменьшают подачу воздуха шибером *17* и подачу газа задвижкой *3* и, доведя давление газа до минимально допустимого, закрывают воздушный шибер.

Затем закрывают рабочую задвижку *3* и убеждаются, что горение газа прекратилось. Далее закрывают краны *1* на манометры, контрольную задвижку *2* и открывают кран *15* на газопроводе безопасности. Выключают переносный запальник, закрыв кран *14*. Останавливают вентилятор и закрывают задвижку *11*, открывая продувочный кран *13*.

Горелки в аварийном порядке выключают так же, как описано выше, а в более срочных случаях — быстро закрывая задвижку *11*, открывая затем продувочный кран *13* и кран на газопроводе безопасности *15* и закрывая остальные задвижки и краны.

При обслуживании газового оборудования агрегатов соблюдаются следующие правила техники безопасности. Необходимо постоянно следить за исправностью и герметичностью газового оборудования, газопроводов и арматуры. Эксплуатация газопроводов при утечке газа воспрещается. Места утечек газа обнаруживаются на запах и с помощью мыльного раствора. Применение огня для этой цели воспрещается.

Не разрешается нагрузка газопровода всякого рода тяжестями или использование его в качестве опорных конструкций. Продувка газопровода через топочные камеры агрегатов воспрещается. Обслуживающему персоналу категорически воспрещается оставлять работающие агрегаты без надзора.

При выполнении газоопасных работ следует:

а) применять только взрывобезопасное освещение;

б) пользоваться шланговыми противогазами или аппаратами типа КИП-5;

в) применять инструмент обмедненный или обильно смазанный тавотом;

г) за ремонтным персоналом устанавливать непрерывное наблюдение на весь период работы.

При замерзании газопровода отогревание его открытым огнем запрещается.

Газопроводы после отключения, превышающего по длительности 7 суток, подвергаются проверке на плотность мыльной эмульсией, а после сезонных перерывов испытываются воздухом на плотность по действующим нормам.

При отравлении газом необходимо:

а) удалить пострадавшего из загазованного помещения;

б) оказать пострадавшему первую помощь;

в) вызвать скорую помощь.

При аварийных и несчастных случаях, связанных с газом, следует немедленно поставить в известность аварийную службу Горгаза.

Наладка работы газогорелочных устройств

Наладка работы газовых горелок производится специализированной организацией или инженерно-техническими работниками предприятия, прошедшими специальную подготовку. Наладка газовых горелок является газоопасной работой, и поэтому должны выполняться все требования правил техники безопасности, предусмотренные для этих работ.

Прежде чем приступить к наладке газовых горелок, необходимо провести комплекс подготовительных работ. При выполнении подготовительных работ следует обращать серьезное внимание на все оборудование цеха (котлы, печи и другие агрегаты, использующие газообразное топливо), а не только на систему газоснабжения и горелочные устройства.

Проверка соответствия выполненных монтажных работ проекту и выявление дефектов монтажа производится наружным и внутренним осмотром.

Основной целью наладки газогорелочных устройств является получение их технических характеристик, а также выявление условий надежной и экономичной работы. В результате наладки должны быть определены: производительность горелок, качество смешения газа с воздухом, коэффициент избытка воздуха на выходе из горелок, диапазон устойчивой работы горелок. После проведения наладочных работ и испытаний составляется режимная карта, пользуясь которой обслуживающий персонал регулирует работу горелок.

Наладка инжекционных горелок

Основной целью наладки инжекционных горелок является получение коэффициента избытка воздуха на выходе из них не менее 1,05 для горелок полного предварительного смешения и расчетного избытка по первичному воздуху — для горелок неполного предварительного смешения. Поэтому наладка инжекционных горелок должна начинаться с измерения коэффициента избытка воздуха на выходе из горелки.

Для определения коэффициента избытка воздуха на выходе из инжекционной горелки по анализу газо-воздушной смеси выбирается и предварительно градуируется сечение в конце диффузора. Выбранное сечение разбивается на ряд равновеликих по площади окружностей, и показания снимаются по вертикальной и горизонтальной осям диффузора. Газозаборная трубка вставляется через отверстие в корпусе горелки, а затем место ее прохода уплотняется асбестовым шнуром.

Отбор проб производится одной трубкой последовательно во всех точках при установившемся режиме работы горелки.

Коэффициент распределения концентрации любого компонента смеси (например O_2) по сечению подсчитывается по формуле

$$K = \frac{(O_2)_1 + (O_2)_2 + (O_2)_3 + \ldots + (O_2)_n}{(n-1)\,(O_2)_0},$$

где $(O_2)_1$, $(O_2)_2$ и т. д. — содержание кислорода в точках отбора пробы, %;

$(O_2)_0$ — содержание кислорода в центре сечения, %;

n — число точек замера.

Установив давление газа перед горелкой, равное проектному, и полностью открыв воздушно-регулировочную шайбу, следует убедиться в устойчивости работы горелки. После этого приступают к испытанию горелки. При этом производятся следующие измерения: давление газа перед горелкой, анализ газовоздушной смеси в различных точках после диффузора на CO_2 и O_2, полный анализ газа, поступающего в горелку. По данным измерений подсчитывается теоретическое количество воздуха, необходимое для горения V_0, коэффициент инжекции, избыток воздуха в каждой точке выходного сечения горелки, коэффициент распределения концентрации кислорода по сечению и средний избыток воздуха. Коэффициент инжекции определяется по формуле

$$A = \frac{O_2^{см} - O_2^{т}}{21 - O_2^{см}},$$

а коэффициент избытка воздуха в каждой точке сечения — по формуле

$$\alpha = \frac{A}{V_0},$$

где $O_2^{см}$ — содержание кислорода в газовоздушной смеси, %;

$O_2^г$ — содержание кислорода в газе, %;

V_0 — теоретическое количество воздуха, необходимое для горения, $м^3/м^3$.

Тогда средний избыток воздуха на выходе из горелки определится

$$\alpha_{ср} = K\alpha.$$

В дальнейшем все отборы проб осуществляются в центре горелки, а полученный анализ усредняется путем умножения полученных результатов на коэффициент распределения концентрации.

Если в результате испытаний горелки средний коэффициент избытка воздуха оказался ниже 1,05 (для горелки полного предварительного смешения) или ниже расчетного (для горелки неполного предварительного смешения), необходимо заменить сопло, уменьшив его диаметр. Однако целесообразность и возможность замены сопла на меньший диаметр должна быть проверена следующим ориентировочным расчетом.

1. Определяется диаметр сопла, при котором горелка должна подсасывать необходимое количество воздуха (при $p_г = 5000$ *мм вод. ст.* и $S_т = 0$) по формуле

$$d_с = \frac{D_г}{\sqrt{(1+\alpha V_0)\left(1+\alpha V_0 \frac{\gamma_в}{\gamma_г}\right)}},$$

где $D_г$ — диаметр горла инжектора, *мм*;

V_0 — теоретическое количество воздуха, необходимое для горения, $м^3/м^3$;

$\gamma_в$ — удельный вес воздуха, $кг/м^3$;

$\gamma_г$ — удельный вес газа, $кг/м^3$;

α — коэффициент избытка воздуха, принимается равным 1,15.

2. Сравнивается диаметр установленного сопла с диаметром сопла, полученным в результате расчета. Если окажется, что диаметр установленного сопла равен или меньше полученного в результате расчета по вышеприведенной формуле, то это указывает на погрешность испытаний или значительные отступления от чертежей при изготовлении горелки. Для выяснения этого испытания следует повторить, а при совпадении результатов — произвести полную ревизию горелки, проверив качество ее изготовления и соответствие рабочим чертежам.

3. Если диаметр установленного сопла окажется больше диаметра, полученного расчетом, то сопло следует заменить на выбранное расчетом. Перед этим следует проверить, сохранится ли производительность горелки при располагаемом давлении газа. Давление газа, которое необходимо поддерживать для сохранения производительности горелки, при изменении диаметра сопла можно ориентировочно подсчитать по формуле

$$p_2 = p_1 \left(\frac{d'_c}{d''_c} \right)^4,$$

где p_1 — давление газа, которое поддерживалось при установленном сопле, *мм вод. ст.*;

d'_c — диаметр установленного сопла, *мм*;

d''_c — диаметр вновь устанавливаемого сопла, *мм*.

Затем вместо установленного сопла вставляется сопло, имеющее диаметр, полученный расчетом, и снова измеряется коэффициент избытка воздуха на выходе из горелки при полностью открытой воздушно-регулировочной шайбе.

Для определения производительности отдельной горелки снимают ее расходную характеристику. Для этого необходимо одновременно измерять расход, температуру и давление газа перед горелкой, а также вести отбор проб газа для определения его состава или удельного веса. Расход газа определяется посредством нормальной диафрагмы, соединенной с U-образным манометром или наклонным тягомером, на перепаде давления меньше 20 *мм вод. ст.* с микроманометром. Диафрагма должна быть рассчитана и установлена в соответствии с нормальными диафрагмами (Комитет стандартов, мер и измерительных приборов, 1956). Температура газа измеряется ртутным термометром с ценой деления 1° С. Давление газа измеряется U-образным манометром или пружинным образцовым манометром. Снятие расходной характеристики горелки производится на действующем агрегате *при нормальной работе всех остальных горелок.*

Расходная характеристика горелки снимается в широком диапазоне изменения давления газа. Так, у инжекционных горелок давление газа изменяется от максимального, при котором происходит отрыв пламени (но не более *9000 мм вод. ст.*), до минимального, при котором происходит проскок. Для этого, установив нормальное давление газа перед горелкой, записывают показания всех

приборов. Затем, прикрывая рабочую задвижку, снижают давление газа перед горелкой на 100 ÷ 200 *мм вод. ст.* и снова записывают показания всех приборов. Таким образом, для каждого давления газа определяется производительность горелки. Давление газа перед горелкой снижается до тех пор, пока не наступит проскок пламени. Аналогично повышается давление газа перед горелкой с фиксацией показаний всех приборов до тех пор, пока не произойдет отрыв пламени или давление газа не достигнет 9000 *мм вод. ст.* При снятии расходной характеристики количество режимов должно быть не менее 40 ÷ 50.

По результатам измерений составляется расходная характеристика в табличной или графической форме. Пример расходной характеристики дан в табл. 75.

Таблица 75

Расходная характеристика инжекционной горелки № 4-1 конструкции Ленгипроинжпроекта

Давление газа перед горелкой, *мм вод. ст.*	Расход газа, *м³/ч*	Давление газа перед горелкой, *мм вод. ст.*	Расход газа, *м³/ч*
400	4,8	3200	13,7
600	6,1	3400	14,0
700	7,0	3600	14,4
1000	8,0	3800	14,7
1200	8,8	4000	15,0
1400	9,5	4200	15,2
1600	10,2	4400	15,5
1800	10,7	4600	15,7
2000	11,2	4800	16,0
2200	11,8	5000	16,1
2400	12,2	5200	16,3
2600	12,6	5400	16,5
2800	13,0	5600	16,6
3000	13,3	5800	16,8

Примечания. 1. Проскок пламени наступает при давлении 300 *мм вод. ст.* 2. Испытания проводились на смешанном газе с теплотой сгорания $Q_н = 6800$ *ккал/м³* и удельным весом $\gamma = 0{,}86$ *кг/м³*.

Расходная характеристика позволяет в эксплуатационных условиях контролировать производительность горелки по величине давления газа перед ней. Кроме того, устанавливаются пределы, при которых происходят про-

скок и отрыв пламени, что позволяет правильно выбрать режим работы горелки и настроить предохранительные устройства и предохранительно-запорный клапан ГРУ.

Результаты описанных испытаний позволяют судить о качестве работы горелки и разработать необходимые мероприятия, направленные на повышение надежности и экономичности сжигания газа.

Наладка горелок с принудительной подачей воздуха

При наладке горелок с принудительной подачей воздуха снимают их регулировочные характеристики. Это позволяет в эксплуатации поддерживать заданный избыток воздуха, при котором отсутствуют потери тепла от химической неполноты горения.

Пользуясь регулировочными характеристиками, для эксплуатационного персонала составляют режимную карту горелки. В режимной карте должны быть приведены следующие показатели: давление газа перед горелкой, давление воздуха перед горелкой, число работающих горелок для определенного режима работы агрегата, иногда — степень открытия воздушных шиберов и газовых задвижек. Пример режимной карты турбулентной горелки приведен в табл. 76.

Таблица 76

Режимная карта турбулентной горелки (рис. 56)

Показатели	Производительность горелки, $м^3/ч$			
	100	200	300	400
Число работающих горелок, шт. . . .	2	2	2	2
Давление газа, *мм вод. ст.*	22	90	200	360
Давление воздуха, *мм вод. ст.* . . .	6	25	55	100
Коэффициент избытка воздуха на выходе из горелки	1,15	1,10	1,10	1,10

Неудовлетворительное качество смешения часто наблюдается и в горелках с принудительной подачей воздуха. Особенно чувствительны к качеству смешения горелки с прямой подачей воздуха. При плохом смешении факел у этих горелок становится вялым, растянутым и часто

затягивается в газоходы, о чем можно судить по повышению температуры продуктов сгорания, покидающих установку.

Одним из существенных факторов, влияющих на качество смешения, является соотношение между скоростью воздуха и скоростью газовых струек, выходящих из отверстий горелки. При этом снижение скорости газа и повышение скорости воздуха, как правило, приводит не только к ухудшению экономичности горелки, но может вызвать отрыв пламени и потухание горелки.

При наладке горелок с принудительной подачей воздуха часто наблюдаются случаи нагрева корпуса горелки до высокой температуры, приводящей к быстрому выходу ее из строя. Явления перегрева горелок чаще всего обусловлены слишком ранним предварительным смешением и в связи с этим — преждевременным загоранием газо-воздушной смеси.

Так, например, в горелке, показанной на рис. 51, хорошее смешение газа с воздухом приводило к затягиванию пламени в корпус горелки, его разогреву и обгоранию насадка. Это происходило при пониженной теплопроизводительности горелки, особенно в период розжига. Указанное явление было ликвидировано путем уменьшения диаметра выходного насадка, что повысило среднюю скорость выхода газовоздушной смеси. Диапазон регулирования горелки увеличился.

При наладке подовых горелок основное внимание должно быть обращено на равномерность распределения воздуха по отдельным горелкам и длине щели каждой горелки. Потери тепла от химической неполноты горения при избытке воздуха в топке более 1,25 чаще всего бывают обусловлены неравномерным распределением воздуха по отдельным горелкам. Для этого на остановленном агрегате проводятся специальные испытания, которые заключаются в следующем: пускается в работу дутьевой вентилятор и устанавливается расход воздуха, примерно равный расходу при номинальной нагрузке (при этом в топке должно поддерживаться разрежение $2 \div 3$ *мм вод. ст.*), либо — за счет естественной тяги или включения в работу дымососа.

При установившемся воздушном режиме и разрежении в топочной камере производится измерение скорости выхода воздуха из щели каждой горелки по всей ее длине. Измерения производятся через каждые $300 \div 400$ *мм* пневмометрической трубкой или анемометром. Значитель-

ное расхождение (более 20%) скорости выхода воздуха из щелей разных горелок указывают на неравномерное его распределение. Улучшить распределение воздуха по отдельным горелкам можно установкой специальных воздухораспределительных решеток под каждой щелью; при этом чем меньше живое сечение решетки по отношению к площади щели, тем равномернее распределение воздуха и тем больше необходимый напор, создаваемый вентилятором.

Работу подовых горелок также можно улучшить за счет увеличения высоты щели до 400 *мм*, однако при этом следует установить контроль за температурой газораспределительной трубы горелки во избежание ее перегрева.

При наладке горелочных устройств и производстве измерений необходимо помнить, что все эти работы являются газоопасными и помимо общих правил необходимо учитывать особенности проводимых испытаний, соблюдая дополнительные меры предосторожности. Все контрольно-измерительные приборы, временно подключаемые к системе газопроводов, должны иметь отключающие краны, а соединительные резиновые трубки — быть абсолютно плотными и не размещаться поблизости от поверхностей, имеющих высокую температуру. После окончания измерений все приборы должны быть отключены, а краны проверены на плотность обмыливанием. Приборы, заливаемые ртутью, поверх нее должны иметь столбик воды. Продувать импульсные линии приборов, подключенных к газопроводам, следует на улицу, для чего резиновые шланги выводятся за окно. При этом *необходимо проверять, чтобы поблизости не было открытого* огня. Нельзя продувать аспираторы в помещении цеха, а также сжигать отобранную пробу газа до отсоединения прибора от газозаборной трубки.

Особенно осторожно надо испытывать инжекционные горелки на проскок и отрыв пламени. Эти испытания могут проводиться только на одной горелке при нормальном режиме работы остальных горелок. При испытании на проскок или отрыв пламени следует находиться в стороне от воздушно-регулировочной шайбы и в то же время внимательно следить за работой горелки. Давление газа перед горелкой понижают или повышают постепенно. Персонал, обслуживающий агрегат, заранее должен быть оповещен о проводимых испытаниях и проинструктирован.

Неполадки в работе горелок и способы их устранения

Чаще всего неудовлетворительная работа инжекционных горелок полного предварительного смешения вызывается недостаточной инжекционной способностью, вследствие чего горелка работает с недостатком воздуха. Наиболее эффективным мероприятием в этом случае является уменьшение диаметра сопла.

Для сохранения производительности горелки при уменьшении диаметра сопла приходится идти на повышение давления газа. В целом ряде установок повысить давление газа перед горелкой невозможно вследствие недостаточного давления на входе в регулятор. В этом случае для снижения потери тепла от химического недожога следует ввести в топку вторичный воздух, включая в работу дутьевой вентилятор, или за счет естественного присоса воздуха.

На одном из котлов производительностью 10 *т/ч*, оборудованном инжекционными горелками полного предварительного смешения, в результате испытания было установлено, что горелки работают с коэффициентом избытка воздуха не более 0,8. Так как давление газа перед горелками невозможно было поднять свыше 1200 *мм вод. ст.*, то для снижения потери тепла от химического недожога пришлось подать в топку вторичный воздух от имевшегося дутьевого вентилятора. Для этого в полотне решетки, закрытом огнеупорным кирпичом, была удалена часть кирпичей и под решетку подан воздух. В результате этого потеря тепла от химического недожога снизилась с 21 до 3%, а потеря тепла с уходящими газами возросла с 14 до 22%, что в итоге привело к повышению к. п. д. агрегата на 10%.

В практике эксплуатации при некачественной выкладке туннеля наблюдается быстрое его разрушение. Это приводит к обгоранию выходного насадка горелки. Вследствие перегрева и обгорания насадка сокращается диапазон регулирования горелки из-за преждевременного проскока пламени.

Особенно серьезное внимание следует обращать на режим работы инжекционных горелок при сжигании смеси газов искусственного с природным, когда теплота сгорания может колебаться в пределах до 500 ÷ 600 *ккал/м*^{3}. Опыт эксплуатации установок, работающих на смешанном газе, показал, что сопла горелок должны быть рассчитаны

на максимальную теплоту сгорания газа, так как при этом исключается появление значительного химического недожога. Однако при понижении теплоты сгорания газа наблюдается некоторое увеличение избытка воздуха и потерь тепла с уходящими продуктами сгорания.

При работе установок на газообразном топливе необходимо следить за наличием присосов в топочную камеру и газоходы агрегата. На ряде установок горелки работают с недостатком воздуха, вследствие чего имеется потеря тепла от химической неполноты горения, а коэффициент избытка воздуха за агрегатом составляет 2 ÷ 2,2. Специальные испытания установок показали, что это явление обусловлено большими присосами воздуха в топку. Особенно заметно возрастают присосы воздуха в топку при отключении отдельных газовых горелок, поэтому всегда желательно регулировать работу агрегата не выключением отдельных горелок, а снижением производительности всех горелок.

Если установка оборудована горелкой с принудительной подачей воздуха, следует периодически контролировать плотность сочленения горелки с обмуровкой топочной камеры, так как часто наблюдаются случаи утечек газа в неплотности обмуровки. Имеются случаи попадания газа в обмуровку агрегатов, оборудованных турбулентными горелками. В турбулентной горелке газ вытекает в закрученный поток воздуха, и затем закрученная газовоздушная смесь из горелки поступает в амбразуру, находящуюся в обмуровке топки. Струйки потока, получившие вращательное движение, создают динамический напор на стенки амбразуры и через швы кирпичной кладки часто попадают в неплотности между кладкой из огнеупорного и красного кирпича, поднимаясь вверх внутри кладки. В связи с этим наблюдаются случаи горения газа в обмуровке лючков и гляделок, расположенных выше горелок.

Если в результате утечек газо-воздушная смесь попадает в топку и сгорает в ней, то это не представляет опасности. Но бывает, что газо-воздушная смесь через неплотности обмуровки попадает в помещение цеха и приводит к его загазованию.

У горелок с периферийной подачей газа при пониженных нагрузках агрегата возможно затягивание пламени в горелку и вследствие этого перегрев и деформация газораспределительного коллектора. При этом происходит нарушение распределения газовых струй в воздушном

потоке и изменение качества смешения. В результате возможно появление химической неполноты горения, удлинение факела и нарушение нормального режима работы агрегата.

Так, например, у горелки, показанной на рис. 56, из-за перегрева газораспределительного коллектора в нем появились трещины. Обслуживающий персонал заметил, что при том же давлении газа нагрузка агрегата возросла. В продуктах сгорания был обнаружен значительный химический недожог. Для выяснения этого явления агрегат был остановлен, и обнаружилось, что из-за трещин в газовом коллекторе расход газа через горелку увеличился, что привело при неизменном давлении газа к возрастанию нагрузки агрегата.

Разрушение и оплавление амбразур или щелей у горелок приводит к выходу из строя газораспределительных коллекторов. Чаще всего разрушение амбразур и щелей обусловлено применением низкосортных огнеупоров (например, класс Б второго сорта) и наличием больших зазоров между кирпичами при выкладке.

У горелки, показанной на рис. 58, через короткое время включения ее в работу начал раскаляться докрасна воздушный короб. Из-за этого агрегат пришлось аварийно остановить. При осмотре было обнаружено, что щель горелки оплавлена и частично разрушена. При анализе этой аварии было установлено, что разрушение щели произошло из-за применения некачественного огнеупорного кирпича, выложенного к тому же на глиняном растворе. Это привело при работе горелки к вытеканию раствора и разрушению щели.

При работе подовых горелок иногда наблюдается деформация газового коллектора, что нарушает равномерность распределения газо-воздушной смеси на выходе из щели. Это можно обнаружить по появлению языков пламени на отдельных участках по длине щели. Чаще всего деформация коллектора происходит из-за пониженных скоростей газа в коллекторе горелки. При обнаружении описанных явлений необходимо горелку пересчитать с целью уменьшения диаметра коллектора. У комбинированных горелок могут иметь место разрушения отдельных элементов горелки при переходе с одного вида топлива на другое. Чаще всего это происходит по вине обслуживающего персонала, который нарушает действующие инструкции. Так, например, при переводе работы горелки, показанной на рис. 66, с твердого топлива на газообразное

необходимо убрать раздающий конус при помощи телескопического устройства. В противном случае обгорит конус и горелка не сможет нормально работать на пыли.

Помимо описанных неполадок в работе горелок, связанных с выходом из строя ее отдельных элементов, возможны аварии, происходящие из-за неправильных действий обслуживающего персонала, особенно при включении горелок.

Очень осторожно следует зажигать горелки, ни в коем случае не внося огонь в топку до тех пор, пока не будет уверенности, что она не загазована. Поспешные действия в момент зажигания горелок приводят к серьезным авариям. На одном из предприятий при розжиге потух запальник. Кочегар, не закрыв подачу газа, поджег факел от соседней горелки и внес его в топку. За короткое время топка оказалась загазованной, и произошел взрыв, разрушивший обмуровку агрегата и нанесший тяжелые травмы кочегару.

ЛИТЕРАТУРА

Артемьев В. П., Штейнер И. Н. Современные коротко-пламенные газомазутные горелки для котлов малой и средней производительности. НИИ ИНФОРМТЯЖ, 1965.

Бахшиян Ц. А. Трубчатые печи с излучающими стенами топки. М., ГосИПТИ, 1960.

Бузников Е. Ф., Роддатис К. Ф., Спейшер В. А. Перевод котлов ДКВ и ДКВР на газообразное топливо. Энергия, 1964.

Друскин Л. И. Сжигание газа в промышленных печах и котлах. Гостоптехиздат, 1962.

Использование газа в промышленности. Под ред. Д. Б. Гинзбурга. М., Гостоптехиздат, 1961.

Иссерлин А. С. Условия устойчивости работы инжекционных газовых горелок. Газовая промышленность, 1962, № 5.

Иссерлин А. С. Газовые горелки. Л., Гостоптехиздат, 1963.

Иссерлин А. С. Газовое отопление. Л., Недра, 1966.

Клименко А. П. Сжиженные углеводородные газы. М., Гостоптехиздат, 1962.

Кнорре Г. Ф. Топочные процессы. М., Госэнергоиздат, 1959.

Лисиенко В. Г., Кокарев Н. И., Китаев В. И. Авторское свидетельство № 164910.

Лобынцев Ю. И. Авторское свидетельство № 151762. Бюллетень изобретений № 22, 1962.

Майзельс П. Б., Вигдорчик Д. Я. Газогорелочные устройства. Издательство литературы по строительству. М., 1964.

Михеев В. П. Сжигание природного газа в промышленных установках. Л., Гостоптехиздат, 1962.

Мурзаков В. В. Сжигание газа в паровых котлах. Госэнергоиздат, 1962.

Нечаев М. А. и др. Справочник работника газового хозяйства. Л., Недра, 1965.

Равич М. Б. Упрощенная методика теплотехнических расчетов. М., Наука, 1964.

Рафалович И. М. Природный газ как топливо для металлургических печей. М., Металлургиздат, 1961.

Сигал И. Я. Газогорелочные устройства котельных установок. Киев, Гос. изд. техн. литературы УССР, 1961.

Спейшер В. А. Сжигание газа на электростанциях и в промышленности. Госэнергоиздат, 1960.

Столпнер Е. Б., Эстеркин Р. И. Наладка и эксплуатация систем газоснабжения котельных установок. Л., Недра, 1964.