

Основные технические характеристики горелок ГТПЦ
конструкции ЦНИИТмаша

Показатели	ГТПЦ-2	ГТПЦ-3	ГТПЦ-4	ГТПЦ-5	ГТПЦ-7	ГТПЦ-10
Номинальная тепловая мощность, кВт	170	286	384	477	715	954
Номинальное давление, кПа:						
газа				3		
первичного воздуха				3		
вторичного воздуха			3,5; 8; 20; 35			
Коэффициент избытка воздуха при номинальном режиме			1,15			
Коэффициент рабочего регулирования	6,7	7,5	7	7,1	6,7	7,1
Номинальный расход природного газа, м ³ /ч	17,2	28,9	38,9	48,3	72,4	96,6
Размеры, мм:						
L	615		720			1010
L_1	170		190			229
L_2	215		260			430
L_3	290		330			410
L_4	260		260			325
A	285		330			410
A_1	355		380			450
B	330		380			460
H	400		430			500
D	150		170			200
D_1	110		150			170
D_2	90		110			110
D_3	270		320			382
d			16			
d_1	12				16	
d_2			12			
Число отверстий:						
n		4				8
n_1			4			
n_2			4			
Масса, кг	65,0		80,0			165,0

наружной обечайкой и цилиндром и далее между цилиндром и наружной стенкой камеры сгорания, где нагревается и направляется в воздушную камеру, откуда поступает в камеру предварительного смешения (первичный воздух) и через перфорацию конуса (вторичный воздух) — в камеру сгорания.

Продукты сгорания (теплоноситель) выходят из камеры через отверстия в насадке, который выполнен в двух вариантах: либо с отверстиями, равномерно расположенными по окружности и длине, либо с отверстиями, расположенными в пределах центрального угла 150° по длине.

Розжиг горелки ПИВ производится с помощью электрической свечи зажигания, смонтированной в пилотно-защитном устрой-

Основные технические характеристики горелок ПИВ
конструкции ВНИИпромгаз

Показатели	ПИВ-60. РПВ-60А	ПИВ-120, РПВ-120А	ПИВ-450, РПВ-450А	ПИВ-700, РПВ-700А
Номинальная тепловая мощность, кВт	70	140	540	815
Номинальное давление, кПа: газа	3	4,6	4,5	3,6
воздуха	4,4	3,6	4,15	3,15
Коэффициент избытка воздуха при номинальном режиме			2	
Диапазон изменения коэффициента избытка воздуха при номинальном режиме			2—4	
Коэффициент рабочего регулирования			8	
Номинальный расход природного газа, м ³ /ч	7	14	55	80
Размеры, мм:				
<i>D</i>	180	194	325	362
<i>D</i> ₁	200	245	420	430
<i>D</i> ₂	130	170	280	305
<i>D</i> ₃	121	146	219	245
<i>d</i>	14		18	
<i>d</i> ₁		14		22
<i>d</i> ₂	1/2"	3/4"	1 1/2"	2"
<i>H</i>	282	325	580	635
<i>H</i> ₁	170	190	350	400
<i>H</i> ₂	120	150	220	260
<i>L</i>	1125	1525	2180	2500
	1100	1415	2085	2415
<i>L</i> ₁	198	235	350	455
<i>L</i> ₂	285	380	660	590
<i>L</i> ₃	555	800	1130	1330
<i>d</i> ₀	7,0	10,0	18,5	23,0
Число отверстий:				
<i>n</i>		4		8
<i>n</i> ₁	6		8	12
Масса, кг	30,5	45,5	105,0	160,0
	29,0	44,0	103,0	158,0

Примечание. В числителе данные для ПИВ с пилотно-защитным устройством, в знаменателе — для ПИВ только со свечой зажигания.

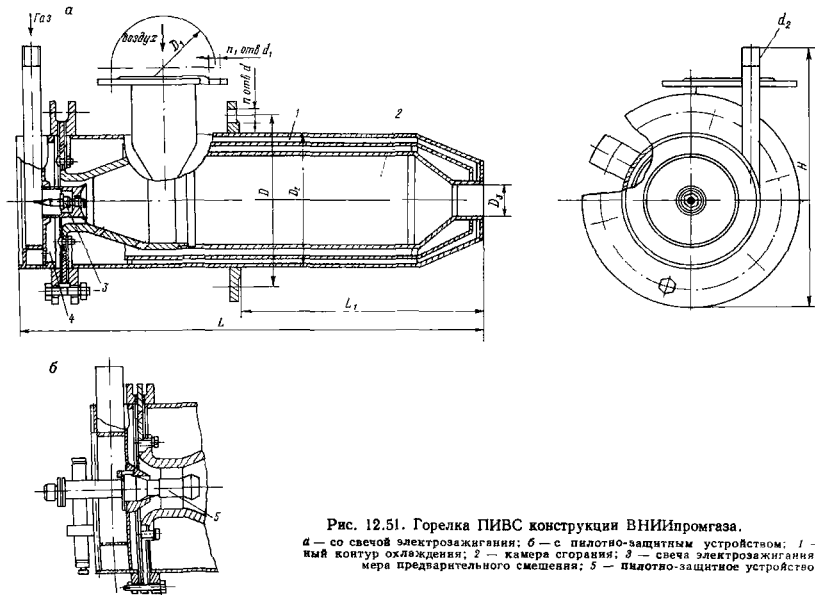


Рис. 12.51. Горелка ПИВС конструкции ВНИИпромгаз.

a — со свечой электрозажигания; *б* — с пилотно-защитным устройством; 1 — воздушный контур охлаждения; 2 — камера сгорания; 3 — свеча электрозажигания; 4 — камера предварительного смешения; 5 — пилотно-защитное устройство.

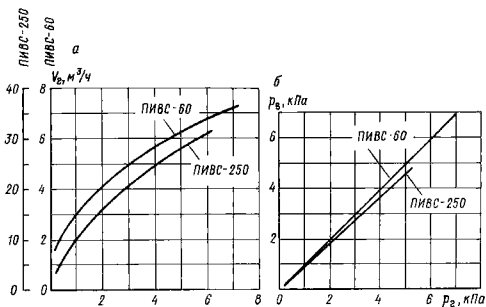


Рис. 12.52. Графики расходной (а) и регулировочной (б) характеристик горелок ПИВС.

V_g — расход природного газа, $\text{м}^3/\text{ч}$; p_a — давление воздуха, kPa ; p_g — то же, газа, kPa .

стве, а горелки ПИВ-А — непосредственно свечой зажигания. В горелках предусмотрен контроль пламени.

Горелки ПИВС конструкции ВНИИпромгаза (рис. 12.51). Это — скоростные с переменным избытком воздуха горелки, предназначенные для сжигания природного газа в системах отопления нагревательных, термических печей, сушильных и других тепловых установок, где требуется теплоноситель, характеризующийся большой скоростью и переменной температурой.

В этих горелках предусматривается воздушное охлаждение камеры сгорания с последующим использованием подогретого воздуха для горения в качестве первичного, подаваемого в камеру предварительного смешения, и вторичного, поступающего в камеру сгорания. По устройству и принципу работы горелки ПИВС аналогичны рассмотренным выше горелкам ПИВ. Отличие заключается в выбросе продуктов сгорания (теплоносителя) в агрегат с большой скоростью (до 200 м/с) через калиброванное сопло. Расходная и регулировочная характеристики горелок ПИВС приведены на рис. 12.52, а технические — в табл. 12.29.

Горелки ДИС конструкции Куйбышевского политехнического института (рис. 12.53, табл. 12.30). Предназначены для сжигания природного, попутного нефтяного и сжиженного углеводородного газов в промышленных печах и сушилках.

Горелки, у которых газ инжектируется принудительно подающимся воздухом, называют горелками с активной воздушной струей. Принцип работы их следующий. Газ из газопровода поступает в регулятор прямого действия, где его давление снижа-

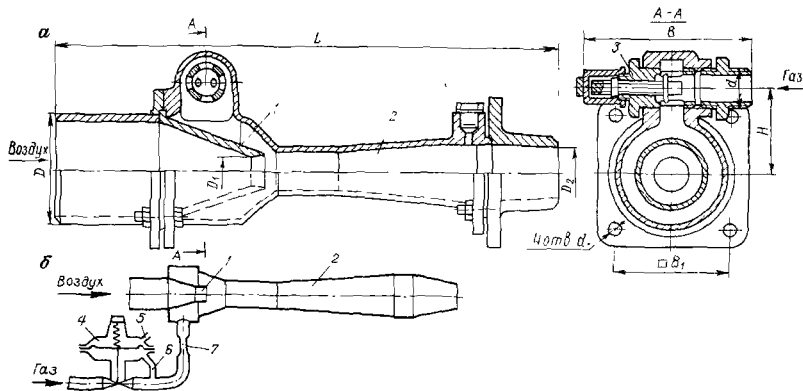


Рис. 12.53. Горелка ДИС конструкции Куйбышевского политехнического института.
 а — с расходом газа 10—25 м³ ч; б — схема подключения горелки; 1 — воздушное сопло; 2 — смеситель; 3 — клапан регулировочный; 4 — регулятор давления газа; 5 — штуцер (импульсная трубка); 6 — трубка регулируемого давления; 7 — сопротивление

Основные характеристики газогорелочного блока Л1-Н
конструкции НИИСантехники

Показатели	Горение	
	«малое»	«большое»
Тепловая мощность, кВт	418	1080
Расход, м ³ /ч:		
газа	42	108
воздуха	423	1085
Давление, Па:		
газа перед горелкой	220	1450
» » блоком	—	2700
воздуха	950	850
Коэффициент избытка воздуха	1,05	1,04
Разрежение в топке, Па	10	10
Температура факела на расстоянии 0,16 м от среза горелки, °С	—	1160
Длина факела, м, горелок:		
основной	—	1,0
запальной		0,1
Мощность электродвигателя (вентилятор Ц14-46 № 2), кВт		1,1
Масса без пульта управления, кг		165

дом контроля пламени и лючком для наблюдения за горением, систему газопроводов и арматуру. Фронтная плита оснащена специальными направляющими, по которым перемещается тележка с горелкой. Это облегчает эксплуатацию, упрощает осмотр и наладку огневого и воздушного узлов блока.

Газ через патрубок $d_y = 50$ мм подается в газовую камеру и распределитель, где он встречает преграду и, изменив направление на 180° , попадает в закрученный поток воздуха через щель, образованную плоскостью стабилизирующего диска и обрезом распределителя. Воздух от вентилятора через входной квадратный патрубок поступает в смеситель, где установлен стабилизирующий металлический диск с лопатками. Часть воздуха проходит по периферийной зоне смесителя, а часть закручивается лопатками, обеспечивая интенсивное смешение газа с воздухом. В центральной области вдоль оси горелки закрученный поток после распределителя создает зону рециркуляции, обеспечивая стабилизацию пламени без отрыва.

Блок Л1-Н работает в режиме автоматического двухпозиционного регулирования мощности котла: 100% («большое горение») и 40% («малое горение») от номинальной мощности, обеспечивая поддержание постоянной температуры воды на выходе из котла при переменном теплотреблении.

Система трубопроводов блока имеет основной и продувочный газопроводы с кранами, электромагнитные клапаны «большого

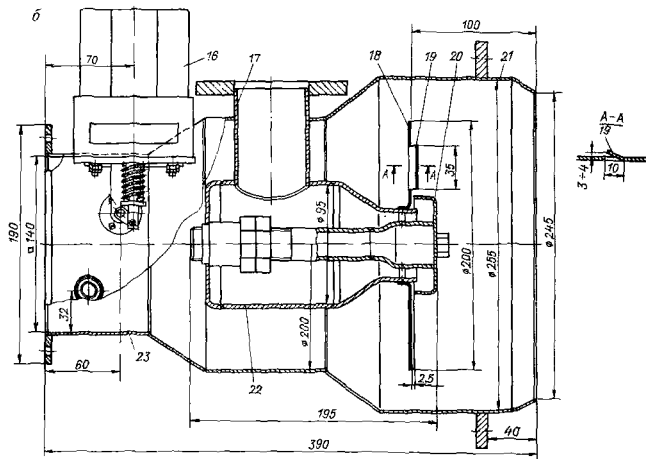


Рис. 12.54. Блок газогорелочный автоматизированный Л1-Н.

а — общий вид; б — горелка основная; 1 — общий отключающий край; 2 — основной газопровод; 3 — край продувочного газопровода; 4 — приборы автоматки; 5 — горелка запальная; 6 — контрольный электрод; 7 — горелка основная; 8 — тележка; 9 — рама; 10 — кабель, идущий к пульту управления; 11 — клеммная коробка; 12 — вентилятор; 13 — фронтальная плита; 14 — смотровой лючок; 15 — газопровод к запальной горелке; 16 — электромагнитный привод к воздушной заслонке; 17 — газовый патрубок; 18 — стабилизирующий диск с закручивающими воздух лопатками; 19 — лопатки; 20 — газовый распределитель; 21 — смеситель; 22 — газовая камера; 23 — воздушный патрубок.

Основные технические характеристики стеклодувных горелок
конструкции Мосгазниипроекта

Показатели	Шифр горелки	
	3182	3183
Номинальная тепловая мощность, кВт	14,6	7,0
Номинальное давление, кПа:		
газа		1,3/2,5
воздуха		20
Число сопел	2/3	3/2
Диаметр сопел d_c , мм	2,0/1,3	1,5/1,0
Коэффициент избытка воздуха при номинальном режиме		1,15
Коэффициент рабочего регулирования		4
Размеры, мм:		
D	170	80
D_1	120	60
d	20	12
d_1	1,5	0,3
d_2	25	12,5
d_3	7	4
H	108	64
L	285	176
Масса, кг	4,2	1,1

Примечание. В числителе приведены данные для природного газа при $Q_H = 35,6$ МДж/м³ и $\rho = 0,73$ кг/м³; в знаменателе — для СУГ при $Q_H = 92,2$ МДж/м³ и $\rho = 2$ кг/м³.

горения» и «малого горения». В воздушном тракте установлена заслонка, начальное и конечное положение которой регулируется спеднальным винтом. Автоматика безопасности блока прекращает подачу газа в случае невоспламенения или погасания пламени у основной или запальной горелки; понижения давления воздуха перед основной горелкой до 300 Па; понижения давления газа до 150 Па или повышения его более 1700 Па; падения разрежения в топке ниже 10 Па; повышения температуры воды в котле выше 115 °С и давления воды (более 0,6 МПа) или понижения его (менее 0,18 МПа); отсутствия напряжения в цепях автоматики. Причины аварийного отключения фиксируются на световом табло пульта управления, а сигнал передается в помещение котельной или на диспетчерский пункт.

Горелки стеклодувные конструкции Мосгазниипроекта (рис. 12.55, табл. 12.32). Предназначены для стеклодувных и других работ, где необходимо жесткое высокотемпературное пламя. Горелка состоит из двух концентрических трубок, огневого насадка и штуцеров с краями для регулирования подачи газа и воздуха. При подаче газа по центральной трубке, а воздуха по

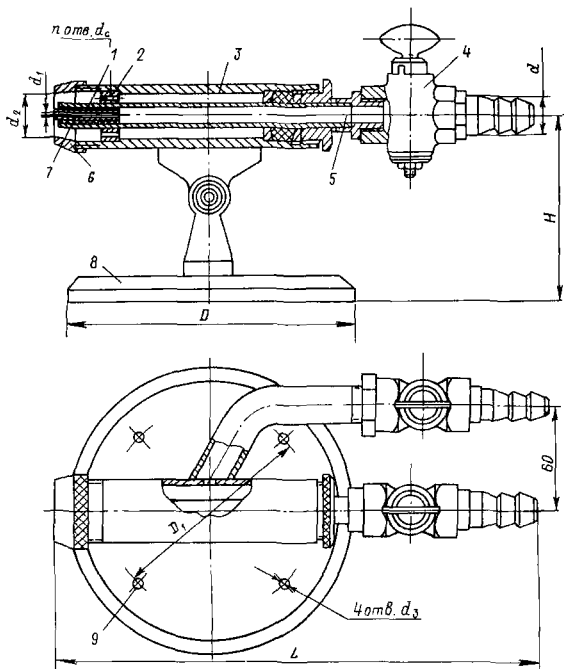
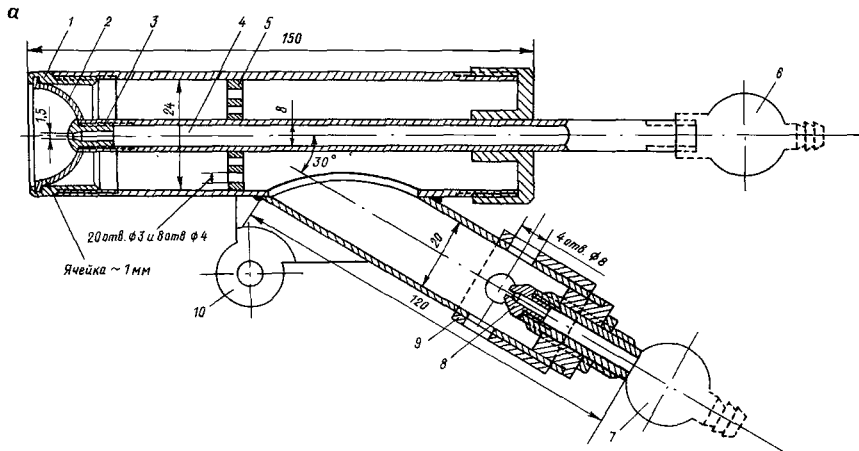


Рис. 12.55. Горелки стеклодувные конструкции Мосгазиниипроекта.

1 — сменная вставная трубка; 2 — диск с соплами для выхода газа; 3 — газовая трубка; 4 — кран; 5 — воздушная трубка; 6 — огневой насадок; 7 — воздушное сопло; 8 — подставка; 9 — отверстие для крепления горелки.

периферийной возникает мягкое длинное пламя с температурой не выше 900°C . Наоборот, при подаче воздуха по центральной трубке, а газа по периферийной получается жесткое острое прозрачное пламя с температурой около 1100°C , необходимое для плавления стекла и других нужд. Интенсификация горения в этом случае достигается за счет двухстороннего подвода воздуха: принудительно изнутри и за счет диффузии снаружи.

Устанавливая в отверстие воздушного сопла стеклянные капиллярные трубки различных длины и диаметра, можно получать



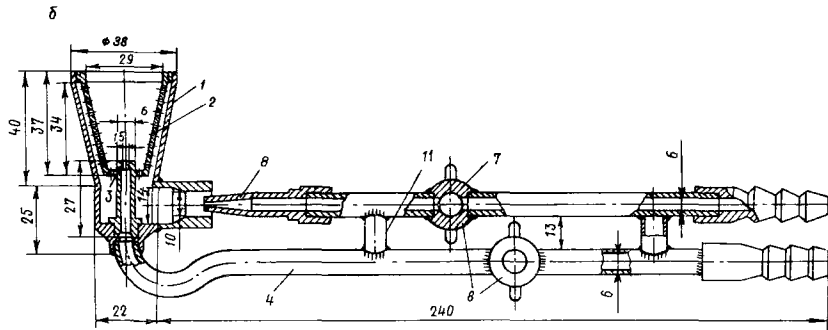
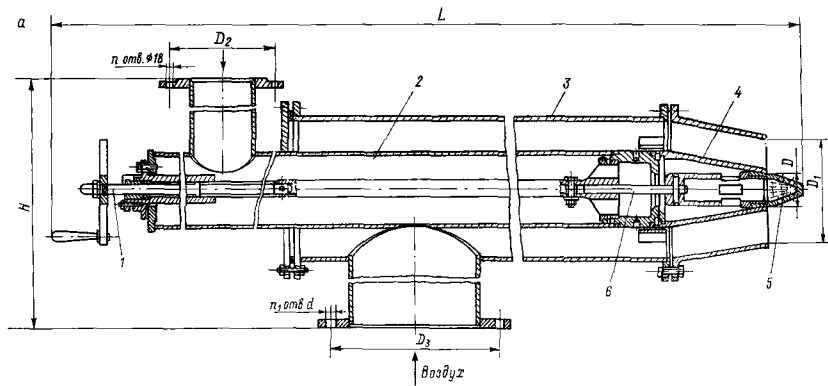


Рис. 12.56. Горелки с принудительной подачей и частичной инжекцией воздуха для обработки стекла и пайки цветных и черных металлов.

a — стационарная; *б* — переносная. 1 — огневой насадок; 2 — сетчатый стабилизатор горения; 3 — сопло для воздуха или кислорода; 4 — трубка для подвода сжатого воздуха или кислорода; 5 — перфорированный диск; 6, 7 — краны для регулирования расхода (6 — воздуха, 7 — газа); 8 — газовое сопло; 9 — регулировочная шайба; 10 — шарнир; 11 — трубки для стабилизации положения газового сопла.



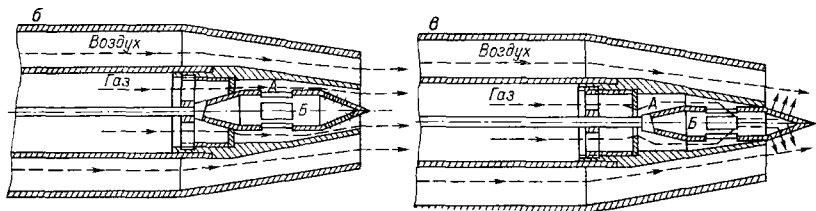


Рис. 12.57. Горелка с переменной длиной факела конструкции Куйбышевского политехнического института.

а — общий вид горелки; *б-в* — положение клапана соответственно при длинном и укороченном пламени; *1* — механизм передвижения; *2* — газовая камера; *3* — воздушная камера; *4* — сопло; *5* — клапан газораздаточный; *6* — дроссель; *А* — камера газовая; *Б* — камера газораспределителя.

пламена различных жесткости, длины и температуры. При необходимости получения жестких пламен с более высокой температурой в центральную трубку взамен воздуха подается кислород. Для удобства пользования горелка укрепляется на подставке с шарниром, позволяющим устанавливать ее в разнообразные положения.

Горелки для пайки изделий из цветных и других металлов и для обработки стекла (рис. 12.56). Особенностью этих горелок является то, что одна часть воздуха (до 40%) инжектируется из атмосферы за счет энергии газовой струи, а другая — принудительно (внутри газозвоздушного потока), обеспечивая высокую жесткость пламени. Для создания устойчивых пламен горелки оборудованы сетчатыми стабилизаторами, установленными в огневом насадке. Обе горелки могут применяться для сжигания природного и сжиженного углеводородного газов и работать на воздушном и кислородном дутье в зависимости от необходимой температуры пламени.

Основные характеристики этих горелок при работе на природном (в числителе) и сжиженном углеводородном (в знаменателе) газах приведены ниже.

Техническая характеристика горелок

Тепловая мощность, кВт	7
Номинальное давление газа, кПа	1,3/3,0
Коэффициент избытка инжектируемого воздуха α_1	0,35÷0,4
Температура пламени, °С:	
при воздушном дутье	1100/1150
при кислородном дутье	1350/1500
Диаметр сопел, мм:	
газовых	2,2/1,6
воздушного	1,5
Давление, кПа:	
воздуха	50
кислорода	40

Горелки с переменной длиной факела конструкции Куйбышевского политехнического института (рис. 12.57, табл. 12.33). Предназначены для сжигания природного газа во вращающихся печах для обжига керамзитового гравия и других материалов, а также и в других тепловых установках, для которых необходимо в процессе работы изменять длину пламени, т. е. изменять по длине максимум температур.

В принцип регулирования длины пламени заложен метод изменения смещения газа с воздухом, т. е. газа в поток воздуха. В горелке (рис. 12.57, а) имеется механизм передвижения в виде профильного полого конуса, который может изменять скорость, направление и систему подачи газа в поток воздуха. Смещение газа с воздухом внешнее. Для организации длинного пламени (рис. 12.57, б) газораздающий клапан при помощи штурвала убирается внутрь горелки. В результате этого газ вытекает из сопла

Основные технические характеристики горелок с переменной длиной факела конструкции Куйбышевского политехнического института

Показатели	Шифр горелок			
	70138	70144	70131	70150
Номинальная тепловая мощность, кВт	3488	8720	11 046	14 534
Номинальный расход природного газа, м ³ /ч	353	883	1 118	1 471
Номинальное давление, кПа:				
газа			30	
воздуха			1,8	
Коэффициент избытка воздуха при номинальном режиме			1,1	
Коэффициент рабочего регулирования			3	
Номинальная длина факела, мм:				
короткого	1080	1700	1900	2 200
длинного	5400	8400	9500	10 800
Размеры, мм:				
<i>D</i>	55	90	100	120
<i>D</i> ₁	180	282	318	360
<i>D</i> ₂	170	225	255	280
<i>D</i> ₃	380	395	445	495
<i>d</i>	18		23	
<i>H</i>	536	679	715	850
<i>L</i>	2000	2500	3000	3500
Число отверстий:				
<i>n</i>	4		8	
<i>n</i> ₁	8	12		16
Масса, кг	135	300	382	496

кольцевой струей параллельно потоку воздуха с малой скоростью. Смешение ухудшается — пламя удлиняется. Для получения укороченного пламени (рис. 12.57, в) газораздаточный клапан выдвигается вправо, перекрывая кольцевой зазор, и газ вытекает поперек потока воздуха через большое число мелких сопловых отверстий. Это улучшает смешение газа с воздухом, в результате чего пламя укорачивается, а его светимость уменьшается.

В результате изменения длины пламени перемещается зона максимальных температур в камере сгорания, что позволяет частично управлять этим процессом.

12.3.4. ГАЗОВЫЕ ДИФФУЗИОННЫЕ ГОРЕЛКИ

Эти горелки наиболее просты по конструкции и предназначены для подвода к месту сжигания только горючего газа. Воздух для горения поступает из окружающей атмосферы за счет разрежения в топке (рис. 12.58). Смешение газа с воздухом происходит в результате молекулярной диффузии и протекает одновременно с процессом горения. Так как скорость горения является функцией сравнительно небольшой скорости смешения посред-

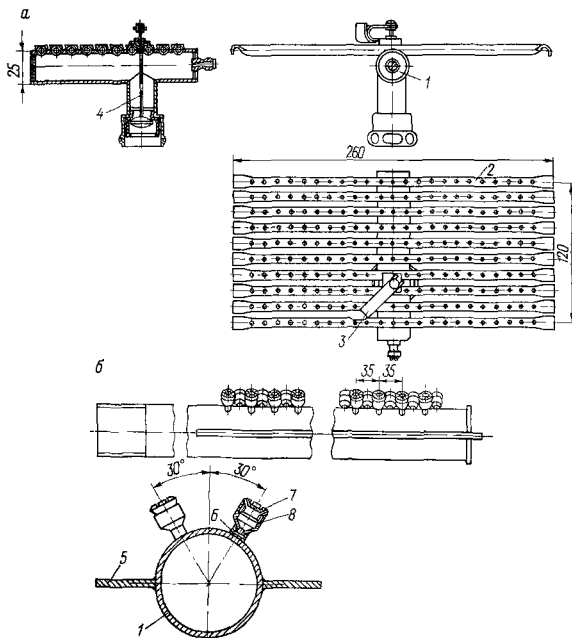


Рис. 12.58. Горелки с диффузионным принципом сжигания газа.

a — для проточных водонагревателей; *б* — для небольших котлов и сушил; 1 — коллектор; 2 — газораспределительные трубки; 3 — биметаллическая скоба-пружина; 4 — шток в клапане; 5 — направляющее ребро; 6 — соединительная втулка; 7 — огневые отверстия; 8 — nipple.

ством диффузии, то длина пламен и их светимость получают наибольшее развитие.

Достоинством горелок является высокая устойчивость пламен, широкий диапазон регулирования, относительное постоянство температуры по высоте (длине) факела, небольшие габаритные размеры при значительной тепловой мощности, быстрота и надежность распространения пламени по поверхностям любых форм, устойчивость работы на предварительно нагретом воздухе, простота изготовления и обслуживания, а также возможность работы без принудительной подачи воздуха.

Основной недостаток горелок, в особенности при сжигании углеводородных газов, — недопустимость резкого охлаждения пламени, так как это приводит к наличию химического недожога и отложению сажистых частиц на теплообменных поверхностях. По этой причине такие горелки применяют в приборах и установках, где требуется сравнительно невысокая и равномерная температура и где обеспечивается свободное развитие пламени без соприкосновения с холодными поверхностями. Они успешно используются также в некоторых высокотемпературных промышленных печах, работающих на нагревом до 500—1000 °С воздухе.

Наиболее широко эти горелки применяют в бытовых газовых водонагревателях, небольших отопительных и паровых котлах и в различных сушилках, работающих на искусственных быстрогорящих газах с $Q_{н} = 13,4 \div 17,6$ МДж/м³ (газы коксовый, высокотемпературной перегонки сланцев, парокислородного дутья под давлением и др.).

Горелка (рис. 12.58, а) предназначена для сжигания газа в бытовых проточных водонагревателях с тепловой мощностью 24,0—25,6 кВт. Она состоит из 10 латунных газораспределительных трубок диаметром 7 мм, присоединенных к коллектору. На поверхности трубок просверлено 238 газовыпускных отверстий диаметром 0,7 мм, на средних трубках 60 отверстий диаметром 0,6 и 30 диаметром 0,5 мм. Шаг между осями отверстий 8, а между распределительными трубками 12 мм. Указанные размеры газовыпускных отверстий и шаг между ними и трубками приводят к образованию коротких полупрозрачных пламен, мгновенному их распространению по всем отверстиям и равномерному подводу воздуха к каждому факелу. Зажигание вытекающего из газовыпускных отверстий газа осуществляется от запальной горелки, нагревающей одновременно биметаллическую скобу-пружину, соединенную с клапаном для пропуска газа в горелку.

На рис. 12.58, б показана другая конструкция горелки, предназначенной для сжигания быстрогорящих газов в топках небольших котлов, сушилок и других установках, в которых пламена не омывают теплообменных поверхностей. Горелка состоит из трубы, к вертикальной оси которой под углом 30° приварены или ввинчены два ряда втулок, направленных в разные стороны. В каждую втулку ввинчен ниппель с керамической головкой, имеющей в зависимости от расхода газа 8—16 отверстий диаметром 0,8—1 мм. Керамическая головка обеспечивает продолжительность срока работы горелки и неизменность размеров газовыпускных отверстий.

При сжигании природных газов эти горелки применяют в секционных котлах с высокими топками, а также в других установках, где необходимы длинные светящиеся пламена, хотя в этих котлах чаще используют горелки, аналогичные приведенным на рис. 12.46. В отличие от простейшей однорядной горелки, в рассматриваемые здесь горелки воздух для сжигания газа поступает

ТАБЛИЦА 1

Основные характеристики горизонтальных щелевых однотрубных горелок с подводом воздуха за счет разрежения в топке (при $Q_{\text{н}} = 35,6 \text{ МДж/м}^2$ и $\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$, данные Украиннижпроекта)

Шифр горелок	Номинальная тепловая мощность, кВт	Номинальный расход газа, м ³ /ч	Номинальное давление газа, Па	Диаметры газопускных отверстий, мм		Число отверстий n	Шаг между осями отверстий, мм	Диаметр трубы D, мм	Ширина туннеля a, мм	Длина туннеля L, мм	Масса трубы горелки, кг
				p = 1300 Па	p = 2000 Па						
ПГ-Н-5	49,4	5,0	1300 и 2000	1,4	1,3	26	15	25	90,0	220	2,5
ПГ-Н-7	69,2	7,0	1300 и 2000	1,4	1,3	38	15	25	90,0	300	2,6
ПГ-Н-10	98,8	10,0	1300 и 2000	1,4	1,3	52	15	25	90,0	400	2,8
ПГ-Н-15	148,2	15,0	1300 и 2000	1,4	1,3	76	15	40	110,0	580	5,0
ПГ-Н-20	197,6	20,0	1300 и 2000	1,4	1,3	100	15	40	110,0	760	5,5
ПГ-Н-35	345,8	35,0	1300 и 2000	1,4	1,3	174	15	40	110,0	1320	7,2
ПГ-Н-50	494	50,0	1300 и 2000	1,6	1,4	170	20	50	120,0	1720	11,0
ПГ-Н-75	741	75,0	1300 и 2000	1,6	1,4	254	20	50	120,0	2550	14,0

под колосники и в туннель не принудительно, а подводится за счет разрежения в топке, создаваемого дымовой трубой.

Горелки обеспечивают удовлетворительное сгорание газа при минимальном давлении 0,2 кПа и $\alpha = 1,25 \div 1,3$ (табл. 12.34). Разрежение в топке для подвода воздуха должно быть не менее 20 Па на высоте 1 м от горелки. Недостатки газовых диффузионных горелок аналогичны таковым горелок, работающих на принудительно подающемся воздухе, но проявляются более заметно.

На рис. 12.59 приведена горелка ГРЦ, предназначенная для сжигания больших количеств природного газа во вращающихся печах промышленности строительных материалов (цементные, известковые и др.). Горелка подводит только горячий газ, сгорание которого происходит в воздухе, поступающем в печь за счет разрежения. С целью регулирования характеристик пламени (длины, светимости, зоны горения) конструкция горелки позволяет изменять сечение сопла, вызывать различную степень завихрения газового потока при постоянном расходе газа.

Горелка ГРЦ позволяет разделять газовый поток на две части: первая — прямоструйный поток газа (по внешнему кольцевому каналу); вторая — завихренный поток (внутри полого дросселя).

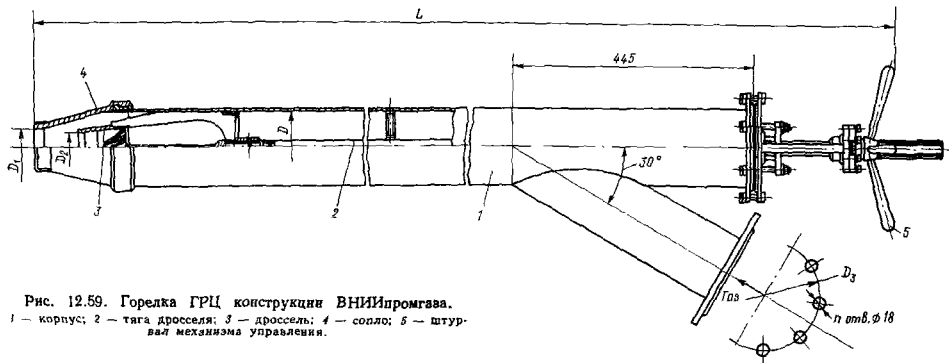


Рис. 12.59. Горелка ГРЦ конструкции ВНИИпромгаз.
 1 — корпус; 2 — тяга дросселя; 3 — дроссель; 4 — сопло; 5 — штурвал механизма управления.

Основные технические характеристики горелок ГРЦ
конструкции ВНИИпропгаза

Показатели	ГРЦ-2500	ГРЦ-3500	ГРЦ-4500	ГРЦ-5000	ГРЦ-6000	ГРЦ-7000	ГРЦ-9000	ГРЦ-14000
Номинальная тепловая мощность, МВт	24,8	34,7	44,5	49,4	59,3	69,2	89,0	138,4
Номинальное давление газа, кПа					190			
Номинальный коэффициент избытка воздуха					1,05			
Номинальный расход природного газа, м ³ /ч	2500	3500	4500	5000	6000	7000	9000	14 000
Размеры, мм:								
D	108	133	133	133	159	159	159	219
D_1	65	75	80	85	95	105	120	150
D_2	46	54	60	65	72	78	85	110
D_3	170		200			225		280
L	10 480	10 550	10 535	10 505	10 615	10 535	10 475	10 620
Число отверстий n	4	8	8	8	8	8	8	8
Масса, кг	144	182	231	231,5	236	233	234	452

Передвижение дросселя относительно сопла горелки осуществляется путем вращения штурвала механизма управления. Перераспределение газовых потоков по кольцевому каналу или через завихритель внутри дросселя дает возможность плавно изменять длину факела и зону максимальных температур в печи. Приближение факела к нагреваемому материалу повышает производительность печей, обеспечивает снижение удельного расхода топлива, необходимую жесткость факела. Основные характеристики горелок ГРЦ приведены в табл. 12.35.

12.3.5. ГОРЕЛКИ РАЗНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Горелки газовые турбореактивные ГГТР-С конструкции Гипроингаза (рис. 12.60). Предназначены для сжигания газа в топках котлов, печей, сушилок и других теплоагрегатов, работающих с давлением 0,3—10 Па. Эти горелки сняты с производства, однако часть их находится в эксплуатации и знание их устройства и особенностей будет полезно для обслуживающего персонала.

Турбореактивные горелки используют энергию газа среднего или высокого давления для вращения реактивной турбинки и связанного с ней осевого вентилятора для подачи воздуха. Газ среднего давления через входной патрубок и полый вал поступает в трубчатые лопатки реактивной турбинки, из которых через сопла вытекает с большой скоростью в устье горелки. Под воз-

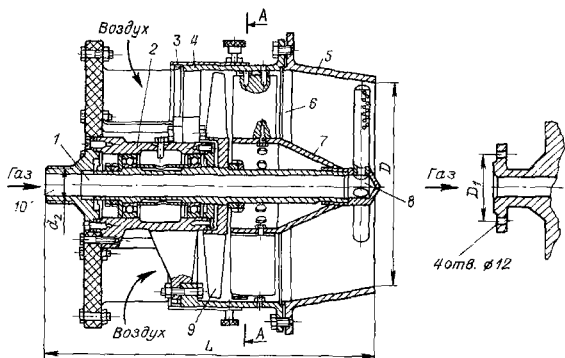
Основные характеристики и размеры горелок ГГТР конструкции Гипронигаса

Показатели	ГГТР-С-50	ГГТР-С-100	ГГТР-С-200	ГГТР-С-500	ГГТР-С-1000
Номинальная тепловая мощность, кВт	825	1512	2770	7210	14 700
Номинальное давление газа, кПа	120		100	90	
Коэффициент избытка воздуха при номинальном режиме	1,03		1,04	1,05	
Номинальный расход природного газа, м ³ /ч	81	148	270	700	1450
Коэффициент рабочего регулирования	4,8	2,5	3,2	4,2	
Размеры, мм:					
L	400	450	500	567	685
A	260	300	390	520	690
A ₁	220	260	330	450	575
D	165	200	270	355	520
D ₁	—	—	—	110	130
d ₁	13	13	20	20	24
d ₂	Труб. 3/4"	Труб. 1"	Труб. 1 1/2"	—	—
Масса, кг	11,5	20,0	37,0	72,0	136,6

действием возникающей реактивной силы турбинка, вал и вентилятор приводятся во вращение. Засасываемый вентилятором воздух через регулирующий направляющий аппарат подается в устье горелки, где смешивается с вытекающими из сопел струями газа. Изменение расхода (давления) газа ведет к увеличению или уменьшению частоты вращения турбинки и установленного на этой же оси осевого вентилятора, в результате чего обеспечивается, как и у инжекционных горелок, постоянство соотношения газ—воздух, т. е. сохранение постоянным коэффициента избытка воздуха. Относительная длина факела составляет 5—8 диаметров насадка.

По данным Гипронигаса эти горелки работают устойчиво в широком диапазоне изменения тепловой мощности и обеспечивают автоматически заданное соотношение газа и воздуха. Горелки рассчитаны на сжигание природного газа ($Q_n = 33,5 \div 37,7$ МДж/м³) при номинальном давлении 90—120 кПа и $\alpha = 1,03 \div 1,05$. Диапазон регулирования горелок по давлению укладывается в пределы от 5 до 90 кПа (табл. 12.36).

Следует отметить, что по принципу действия горелки ГГТР-С перспективны, но для их изготовления требуется высокая культура производства.



Достоинствами рассмотренных горелок являются использование энергии газа для подачи воздуха и, как следствие, отсутствие необходимости в установке вентиляторов, двигателей и в устройстве воздуховодов, а также компактность горелки и сравнительно высокая полнота сгорания при низких коэффициентах избытка воздуха. К недостаткам этих горелок относятся сложность их изготовления и возможность сгорания турбинки неработающей горелки за счет излучения пламени работающих горелок и раскаленной кладки.

Горелки для местного нагрева (рис. 12.61). Работают на однородной газозвушной смеси с $\alpha = 1,03 \div 1,05$, приготовленной в специальных смесительных установках. Горелка (рис. 12.61, а) выполнена в виде керамической чаши, в которую через распределительный керамический колпачок подается под давлением около 20 кПа газозвушная смесь. Огнеупорная чаша и керамический колпачок изготавливаются из смеси оксида алюминия и кремневого ангидрида или других огнеупорных материалов, стойких к температурам до 1800 °С. Стабильность горения по отношению к отрыву достигается за счет омывания вытекающими струями раскаленной поверхности чаши, а по отношению к проскоку — высокими скоростями вытекающей из щелей газозвушной смеси (обычно более 100 м/с.)

Температура на поверхности чаши при номинальном режиме достигает 1400—1500 °С, в силу чего чаша становится интенсивным источником излучения в инфракрасной области спектра. Горелка достаточно широко применяется для скоростного нагрева тонкостенных стальных изделий в проходных термических печах.

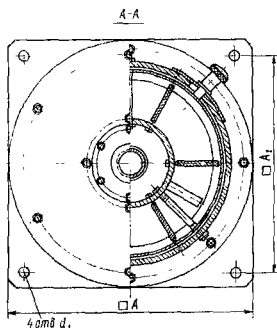


Рис. 12.60. Турбореактивная горелка ГТТР-С.

1 — полый вал; 2 — корпус подшипникового узла; 3 — заслонка воздушного регистра; 4 — корпус горелки; 5 — головка; 6 — направляющий воздушный аппарат; 7 — обтекатель; 8 — реактивная турбинка; 9 — осевой вентилятор; 10 — патрубок для входа газа.

В последнее время значительное распространение получили различные способы местного нагрева. Отличительной чертой такого нагрева является интенсивный подвод теплоты только к части изделия, подлежащего обработке, а вся основная масса его остается при этом сравнительно холодной. Для такого нагрева в зарубежной практике применяют горелки, показанные на рис. 12.59, б. Они снабжены огнеупорными туннелями различной конструкции, а для интенсификации сгорания — закручивателями газозадушной смеси и желобками в туннелях, что способствует полному сгоранию смеси в туннеле при тепловой мощности до 700 МВт/м^3 . Температура продуктов сгорания на выходе из туннеля достигает 1600°C , а скорость их вылета 300 м/с и выше. Установка горелок в камере обеспечивает передачу теплоты нагреваемым частям изделий до 70 Вт/см^2 и более. Горелки устойчиво работают при давлении смеси от $0,01$ до $0,2 \text{ МПа}$; их обычно изготавливают на тепловую мощность $5\text{--}10 \text{ кВт}$ и выше.

Форкамерные инжекционные горелки конструкции Укриниинжпротка (рис. 12.62, табл. 12.37). Предназначены для сжигания природного газа в топках секционных чугунных котлов и других тепловых установок, работающих с разрежением $10\text{--}30 \text{ Па}$. Они могут работать на низком и среднем давлении газа. Особенностью этих горелок является то, что воздух, необходимый для сжигания газа, подается за счет как инжекции ($65\text{--}70\%$), так и разрежения в топке ($40\text{--}50\%$).

Форкамерные горелки не рекомендуются к широкому применению, так как при госиспытаниях их не получены необходимые по современным требованиям технические характеристики. Однако в эксплуатации все еще находится большое количество таких горелок. Знать особенности этих горелок и рекомендации по их использованию необходимо. Название эти горелки получили

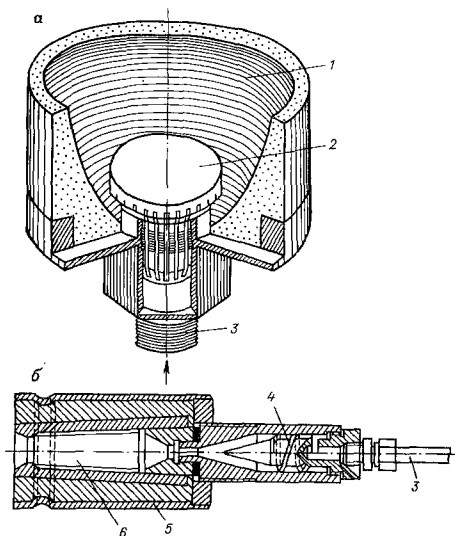


Рис. 12.61. Горелки, работающие на предварительно подготовленной газозоодушнор смеси.

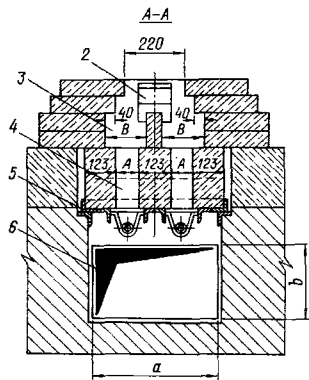
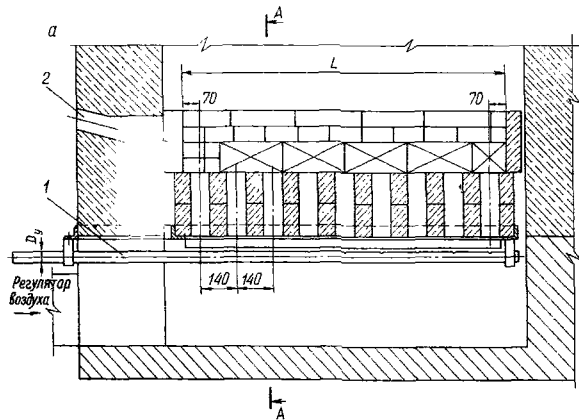
a — излучающая горелка в виде чаши; *б* — высокоскоростная туннельная горелка; 1 — чаша из огнеупорного материала; 2 — распределительный керамический колпачок; 3 — штуцер для подвода газозоодушной смеси; 4 — винтовой закручиватель воздуха; 5 — кожух; 6 — туннель.

по наличию у них специальной керамической форкамеры, в которой и происходит смешение газа с воздухом и горение газозоодушной смеси.

Горелка состоит из труб-коллекторов с одним рядом отверстий (сопел) диаметром 3—6 мм и шагом между ними 140 мм, инжекторов-смесителей и форкамеры, изготовленной из шамотного кирпича. Горелка в зависимости от тепловой мощности может иметь 1, 2 или 3 коллектора. Каждое сопло имеет свой керамический смеситель длиной 250 мм, в котором на высоте 200 мм начинается горение газозоодушной смеси. Сгорание 90% газа осуществляется в форкамере, которая имеет вид щели. Догорание газа осуществляется в топке. Расположение горелок на поду топки обеспечивает хорошие условия для более равномерного распределения тепловых потоков по длине топки секционных котлов.

Основные характеристики и размеры форкамерных горелок конструкции Украининжпроекта

Шифр горелок	Номинальная тепловая мощность, кВт	Номинальный расход природного газа, м ³ /ч	Коэффициент рабочего регулирования	Диаметры газовых отверстий, мм, при номинальном давлении газа, кПа			Число газовых коллекторов	Число газовых отверстий на одном коллекторе	Размеры, мм					Масса металлической части горелки, кг
				1,3	2,0	3,0			L	A	B	D _y	a × b, мм ²	
ГИФ-Н-15	148,3	15	2,5	4,7	4,2	—	2	3	420	70	140	32	225	28,7
ГИФ-Н-20	197,7	20	2,5	4,7	4,2	—	2	4	560	70	140	32	300	33,1
ГИФ-Н-35	346	35	2,5	5,5	4,2	—	2	5	700	70	140	40	525	39,8
				5,8	5,2	—	3	3	420	82	140	40	525	31,7
ГИФ-С-35	346	35	6,5	—	—	3,7	1	5	700	50	100	25	525	22,2
ГИФ-Н-50	494,3	50	2,5	5,5	4,95	—	2	7	1120	80	150	40	750	49,1
ГИФ-С-50	494,3	50	6,5	—	—	3,7	1	7	980	60	100	25	750	28,5
ГИФ-Н-70	692	70	2,6	5,8	5,2	—	3	6	840	82	140	40	105	59,5
ГИФ-Н-75	741	75	2,5	5,7	5,05	—	2	10	1400	80	150	50	1125	64,2
ГИФ-С-75	741	75	6,5	—	—	4,0	1	9	1260	60	100	40	1125	33,6
ГИФ-Н-100	990	100	2,5	5,7	5,1	—	2	13	1820	80	150	50	1500	77,9
ГИФ-С-100	990	100	6,5	—	—	4,5	1	10	1400	70	130	40	1500	37,8
ГИФ-Н-105	1038	105	2,5	5,8	5,2	—	3	9	1260	82	140	40	1575	77,3
ГИФ-Н-140	1384	140	2,5	5,8	5,2	—	3	12	1680	82	140	40	2100	95,0
ГИФ-С-150	1483	150	6,5	—	—	4,9	1	12	1680	75	130	40	2250	44,0



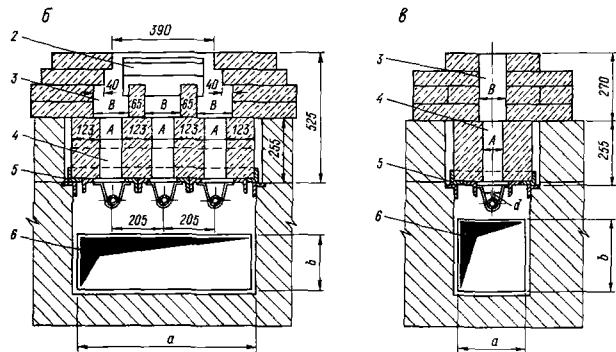


Рис. 12.62. Форкамерные горелки конструкции Украининжпроект.

a-b — низкого давления (*a* — с двумя коллекторами, *b* — с тремя коллекторами); *a* — среднего давления с одним коллектором; 1 — газовый коллектор с отверстиями-соплами; 2 — запальное отверстие; 3 — форкамера; 4 — керамический блок-смеситель; 5 — опорная конструкция; 6 — проем для поступления воздуха.

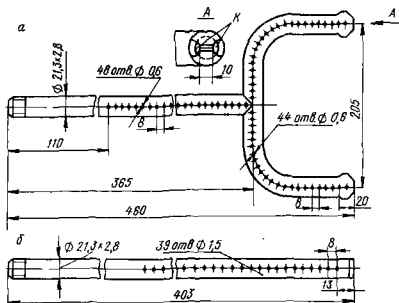


Рис. 12.63. Трубка бегущего огня.

a — для зажигания двухколлекторной форкамерной горелки (форма сплюснутых концов показана условно); *б* — для зажигания горизонтальной щелевой горелки (подовой)

Газовые запальные устройства. Предназначены для розжига основных горелок тепловых агрегатов. Они могут быть стационарными и переносными, с зажиганием факелом или электрической искрой, с контролем и без контроля пламени. Основная часть запального устройства — запальная горелка, обладающая высокой надежностью во всех режимах работы: от момента поджигания пламени до стабильного розжига и работы основных горелок, включая (для переносных запальников) и момент вынесения их в топку.

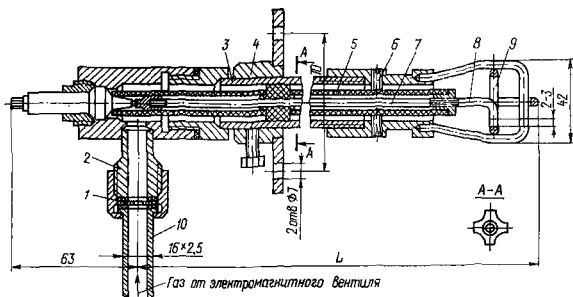


Рис. 12.64. Запально-защитное устройство (ЗЗУ) завода «Ильмаринен».

1 — дроссельная шайба; 2 — штуцер; 3 — ствол; 4 — втулка с фланцем; 5 — изоляция из керамики; 6 — регулировочный винт; 7 — центральный электрод; 8 — хвостовик центрального электрода; 9 — кольцевой электрод наконечника.

Практика показывает, что розжиг горелок и пуск в работу теплоагрегатов являются наиболее ответственными этапами и требуют применения совершенно надежных запальных устройств, исключающих возможность взрыва.

Конструкции, устройство, работа и технические характеристики переносных запальников инжекционного типа даны в разделе 12.3.2 и на рис. 12.32. Ниже рассмотрены некоторые стационарные запальные устройства.

На рис. 12.63 показан стационарный диффузионный запальник — трубка бегущего огня, предназначенный для розжига одной или нескольких горизонтальных щелевых или форкамерных горелок в топках чугуновых секционных котлов. Как видно из рисунка, запальник представляет собой трубу с просверленными в ней отверстиями для выхода газа. Шаг между отверстиями должен быть таким, чтобы обеспечивал беглость огня, но при этом отдельные факелочки не сливались в общее пламя.

На рис. 12.64 показано запально-защитное устройство (ЗЗУ) завода «Ильмарине» для автоматического или дистанционного розжига газовых горелок и мазутных форсунок, а также для контроля за наличием факела в топке. На газопроводе перед ЗЗУ устанавливается электромагнитный вентиль. Запальник имеет электроды: центральный, соединенный с высоковольтным трансформатором или катушкой зажигания, и кольцевой заземленный. При включении (нажатии кнопки) электрический ток одновременно подается на электромагнитный вентиль, открывая проход газа к запальной горелке, и на трансформатор (катушку зажигания), а от него — на хвостовик центрального электрода. Между хвостовиком и кольцевым электродом появляется искра, поджигающая газ, вытекающий из ствола запальной горелки. Импульс от появившегося факела в запальной горелке передается на управляющий прибор для подачи газа к основной горелке.

Контроль за пламенем запальника может осуществляться с помощью ионизационного датчика, который фланцем крепится к стволу запальника. Этот датчик монтируется в общей установочной трубе, диаметр которой должен быть не менее 70 мм. При этом наконечник запальника во избежание перегрева следует располагать в 250—400 мм от торца трубы. Для устойчивого горения вытекающего газа за счет разрежения в топке через установочную трубу подают воздух.

ЗЗУ вместе с трубой должно быть установлено в топке так, чтобы пламя запальника пересекалось с осью основной горелки близко к корню факела.

На рис. 12.65 показаны электрозапальник (ЭЗ) Московского завода тепловой автоматики и варианты установки его в топках для различных горелок. Запальник работает устойчиво при изменении давления от 1 до 50 кПа при разрежении в топке 10—50 Па. Расход природного газа 6,5 м³/ч при давлении 40 кПа. Размеры запального факела: диаметр ~200 мм, длина 400 мм. Завод вы-

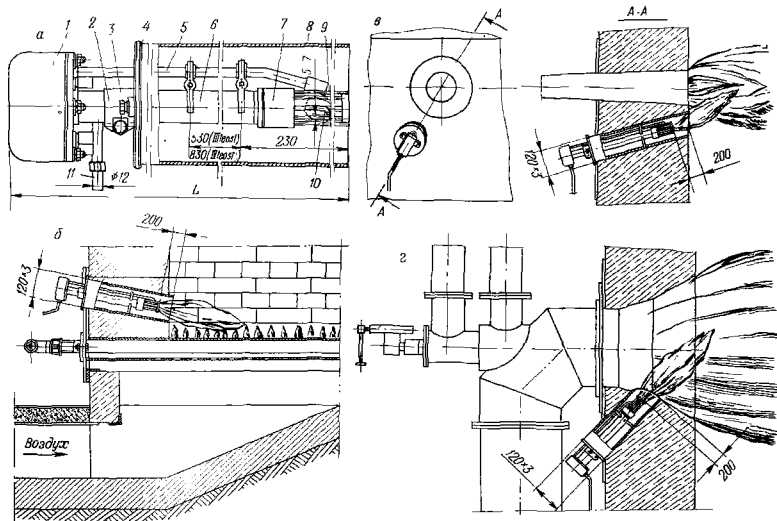


Рис. 12.65. Электрозапальник Московского завода тепловой автоматики.

a — общий вид; *б-г* — компоновка с горелками: *б* — подовой, *г* — типа ИГК; *д* — типа ГМГМ; *1* — коробка; *2* — подвижный комут; *3* — болт; *4* — скользящий фланец; *5* — контрольный электрод; *6* — труба запальника; *7* — огневой насадок; *8* — труба; *9* — стабилизирующая решетка; *10* — наконечник; *11* — газовый штуцер

пускает четыре типоразмера электрозапальника, различающиеся длиной корпуса и массой:

	I	II	III	IV
Длина L , мм	500	800	1400	2000
Масса, кг	6,5	9,5	11,0	12,5

При пуске электрозапальника нажатием кнопки открывается электромагнитный клапан на подводщем газопроводе, и газ через штуцер поступает в коробку, трубу и вытекает из огневого насадка к месту установки стабилизирующей решетки из жаростойкого металла и наконечника электрода, подключенного высоковольтным проводом к трансформатору (6—12 кВ). Искра между наконечником и стабилизирующей решеткой поджигает газ. Воздух для горения подается через отверстия в скользящем фланце за счет разрежения в топке. Контроль наличия пламени запальника основан на принципе детектирующего свойства пламени, возникающего в цепи контрольный электрод — пламя — стабилизатор. Сигнал наличия пламени принимается автоматикой безопасности теплового агрегата.

Электрозапальник монтируют в специальной трубе, заделываемой в кладку топки, и крепят к ней при помощи скользящего фланца.

12.4. РАСЧЕТЫ ГОРЕЛОК

Теоретический расчет газовых горелок является весьма сложным, так как связан с комплексными расчетами процессов смешения, горения и теплоотдачи, которые должны обеспечивать не только высокую эффективность сжигания газового топлива, но и минимально возможную концентрацию вредных компонентов в продуктах сгорания. Так как такой методики еще не существует, то при расчете горелок приходится пользоваться рядом приближенных данных, полученных из практики или отдельных экспериментов. Ниже приведена наиболее упрощенная и вместе с тем оправдавшая себя в практике методика расчета я пересчета на взаимозаменяемый газ наиболее распространенных газовых горелок.

Инжекционные горелки, выдающие гомогенную газозвудушную смесь с $\alpha_1 < 1,0$. Эти горелки наиболее часто работают на газе низкого давления, широко применяются в бытовых газовых аппаратах и многочисленных тепловых установках предприятий и учреждений городского хозяйства.

Расчет горелок (рис. 12.66) должен обеспечивать необходимую для аппаратов и установок тепловую мощность; широкий диапазон регулирования расхода газа; устойчивость пламен без применения искусственных стабилизаторов горения и отсутствие или малую концентрацию вредных компонентов в продуктах сгорания. Он включает в себя определение размеров следующих конструктивных элементов: сопла, горловины смесителя, конфузора, диффузора, огневых каналов и габаритных размеров, обеспечивающих возможность установки горелки в заданной топке. Исходными данными для расчета являются тепловая мощность горелки, химический состав газа, давление газа перед соплом и температуры газа и воздуха, а также характеристики аппарата или тепловой установки, для которых горелка рассчитывается.

По указанным исходным данным определяют низшую теплоту сгорания и плотность газа, теоретический расход воздуха. При расчете таких горелок объем газа и его плотность могут определяться при нормальных физических условиях. Объясняется это тем, что давление газа мало отличается от атмосферного, а его температура для зимнего расчетного периода изменяется от 5 до 10 °С. При тех же условиях с допустимой для практики точностью могут определяться теоретический расход воздуха и его плотность. При расчете горелок можно не учитывать

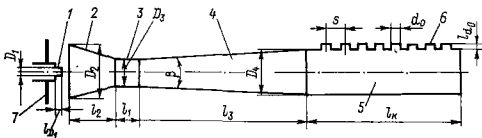


Рис. 12.66. Расчетная схема нижекционной горелки.

1 — сопло; 2 — конфузор; 3 — горловина; 4 — диффузор; 5 — распределительный коллектор; 6 — огневые каналы; 7 — регулировочная шайба (поступления первичного воздуха).

содержание в газе и воздухе водяных паров, так как оно очень мало влияет на объем и плотность, а также теплоту сгорания газа.

Расход газа V_r , $\text{м}^3/\text{ч}$.

$$V_r = q/(Q_H N \eta), \quad (12.3)$$

где q — номинальная теплопроизводительность установки, $\text{кДж}/\text{ч}$; Q_H — низшая теплота сгорания газа, $\text{кДж}/\text{м}^3$; N — число принимаемых к установке однотипных горелок с одинаковым расходом газа; η — КПД установки.

Давление газа p_r , Па, перед соплом горелки определяется на основании гидравлического расчета газопроводов. Вместе с тем для обеспечения широкого диапазона регулирования расхода газа оно должно быть не менее определяемого по формуле

$$p_r = 0,27 Q_H / 100 + 40. \quad (12.4)$$

Теоретическая скорость истечения газа из сопла w_r , $\text{м}/\text{с}$, при низком давлении (до 5 кПа) рассчитывается по формуле гидравлики, не учитывающей изменение плотности газа:

$$w_r = \sqrt{2 p_r / \rho_r}, \quad (12.5)$$

где p_r — давление газа перед соплом, Па; ρ_r — плотность газа, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Площадь поперечного сечения газового сопла f , м^2 , и его диаметр D определяются по формулам

$$f_{D_1} = V_r / (3600 \mu w_r); \quad (12.6)$$

$$D_1 = \sqrt{4 f_{D_1} / 3,14}, \quad (12.7)$$

где μ — коэффициент расхода, учитывающий неравномерность распределения скоростей потока газа по сечению сопла, сопротивления трения в нем и сжатие струи, зависит от формы сопла.

Для цилиндрического сопла с острыми краями в тонкой стенке (рис. 12.67, а) в зависимости от качества обработки внутренней стенки $\mu = 0,6 \div 0,65$; для того же сопла, но с закругленными изнутри краями (рис. 12.67, б) $\mu = 0,7 \div 0,75$; для конического сопла (рис. 12.67, в) коэффициент расхода μ зависит от угла конусности β : при $\beta = 15^\circ$ $\mu = 0,9$; при $\beta = 30^\circ$ $\mu = 0,85$ и при $\beta = 45^\circ$ $\mu = 0,82$; для наиболее распространенного сопла (рис. 12.67, г) с цилиндрическим каналом и $\beta = 90^\circ$ значение μ зависит от отношения длины цилиндрической части сопла l_{D_1} к диаметру сопла D_1 : при $l_{D_1} : D_1 = 0,18$ $\mu = 0,75$; при $l_{D_1} : D_1 = 0,45$ $\mu = 0,85$; при $l_{D_1} : D_1 = 1,0$ $\mu = 0,85$; при $l_{D_1} : D_1 = 2$ $\mu = 0,84$.

Диаметр горла смесителя D_2 , м, определяется из уравнения, выражающего закон сохранения количества движения при смешении двух газов. Количество движения 1 м^3 инжектируемого газа равно $w_r p_r$, а инжектируемого из атмосферы воздуха может приниматься равным нулю. В этом случае количество движения смеси газа и воздуха

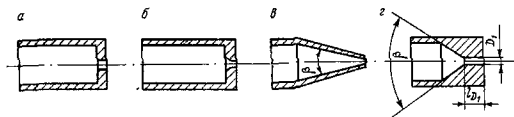


Рис. 12.67. Формы сопел инжекционных горелок.

$$w_3 (\rho_T + n\rho_B), \quad (12.8)$$

где w_3 — скорость газозвушной смеси в горловине смесителя, м/с; ρ_B — плотность воздуха, кг/м³; n — объемная кратность инжекции (количество воздуха, инжектируемое 1 м³ газа), м³/м³.

Уравнение сохранения количества движения

$$w_T \rho_T = w_3 (\rho_T + n\rho_B). \quad (12.9)$$

Выразив расход газа V_T , м³/ч, и смеси $V_T (1 + n)$, м³/ч, через соответствующие скорости и сечения

$$V_T/3600 = \pi D_T^2 w_T/4 \quad \text{и} \quad V_T (1 + n)/3600 = \pi D_3^2 w_3/4,$$

получим

$$w_3 = w_T (1 + n) (D_T/D_3)^2. \quad (12.10)$$

Так как кратность инжекции $n = V_T \alpha_1$, то

$$D_3 = D_T \sqrt{(1 + \alpha_1 V_T) (1 + \alpha_1 V_T \rho_B/\rho_T)}, \quad (12.11)$$

где α_1 — коэффициент избытка инжектируемого воздуха; V_T — теоретическая потребность в воздухе для сгорания 1 м³ газа, м³/м³.

Формула (12.11) показывает, что α_1 для данного вида газа зависит только от соотношения диаметра горловины к диаметру сопла и не зависит от давления инжектируемого газа. Это значит, что инжекционные горелки обеспечивают постоянство соотношения газа и воздуха в смеси независимо от изменения расхода газа. Так, для горелок рассматриваемого вида α_1 должен приниматься таким, чтобы не происходило проскока пламени внутрь смесителя при минимально необходимом расходе газа. Численное значение этого коэффициента

$$\alpha_1 < [(100/L_B) - 1] (1/V_T), \quad (12.12)$$

где L_B — верхний предел воспламеняемости газа.

Одновременно значение α_1 должно быть больше такого, при котором возможно образование желтых язычков (краев) пламени:

$$\alpha_1 > 0,75 (m - \frac{1}{2} n/4)^{0,5} d_0^{0,25}, \quad (12.13)$$

где m — число углеродных атомов в молекуле или среднее их число в сложном газе; n — то же, водородных атомов; d_0 — диаметр огневых каналов на коллекторе горелки, м.

Диаметры конфузора D_2 и диффузора D_4 принимаются примерно одинаковыми:

$$D_2 \approx D_4 = (2,0 - 2,2) D_3. \quad (12.14)$$

Длина горловины смесителя и длина конфузора

$$l_1 = (2,5 - 3,5) D_3; \quad l_2 = (1,3 - 1,5) D_3. \quad (12.15)$$

Переход конической поверхности конфузора в цилиндрическую горловины для литых смесителей рекомендуется выполнять по дуге окружности радиуса $R = (3 \div 5) D_3$.

Значения коэффициента k в зависимости от вида газа и коэффициента избытка первичного воздуха

Коэффициент избытка первичного воздуха α_1	Природный газ	Сжиженный углеводородный газ	Коксовый газ
0,2	—	—	0,85
0,3	0,85	—	0,6
0,4	0,7	1,1	0,5
0,5	0,6	0,9	0,38
0,6	0,5	0,8	0,3
0,7	0,4	0,65	0,24
0,8	0,32	0,5	0,2

Длина диффузора смесителя l_3 , м,

$$l_3 = (D_4 - D_3)/(2 \operatorname{tg} \theta/2), \quad (12.16)$$

где θ — угол расширения диффузора, принимаемый для обеспечения безотрывности потока газовой смеси в пределах 6—8°.

Суммарная площадь огневых каналов коллектора, м².

$$\sum f_{d_0} = V_{см}/w_{см} = V_T(1 + \alpha_1 V_T)/(3600 w_{см}), \quad (12.17)$$

где $V_{см}$ — расход газовой смеси, м³/с; $w_{см}$ — скорость вытекания из огневых каналов газовой смеси, м/с. Она принимается такой, чтобы не происходило отрыва пламени. Эта скорость для природных газов должна быть несколько меньше определяемой по формуле

$$w_{см} \leq 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot d_0 T^3 (1 + V_T)/(1 + \alpha_1 V_T), \quad (12.18)$$

где T — абсолютная температура газовой смеси, К.

Так как уравнение (12.18) имеет две неизвестные величины, то для определения скорости вытекания смеси необходимо задаваться диаметрами огневых каналов. Обычно их размеры укладываются в пределы от 3 до 6 мм.

Число огневых каналов на коллекторе

$$N' = \sum f_{d_0}/f_{d_0}, \quad (12.19)$$

где f_{d_0} — площадь одного огневого канала, м².

Огневые каналы на коллекторе горелки обычно размещаются в один или в два ряда, в последнем случае — в шахматном порядке. При двухрядном расположении каналов минимальная длина коллектора l_k , м,

$$l_k = (N - 1)s/2 + 2S, \quad (12.20)$$

где s — шаг между осями огневых каналов, м. Для обеспечения быстрого распространения пламени по всем каналам и предотвращения их слияния принятый шаг между осями каналов должен укладываться в пределы, определенные экспериментально. При $\alpha_1 = 0,6$ для $d_0 = 2 \div 6$ мм $s = (2,4 \div 2,8) d_0$. Для этой же цели расстояние между осями рядов каналов должно быть в 2,0—2,5 раза больше расстояния между каналами.

При выборе глубины огневых каналов l_{d_0} следует исходить из того, что ее увеличение способствует устойчивости горения в отношении проскока пламени. Объясняется это охлаждающим действием стенок каналов и, как следствие, уменьшением скорости распространения пламени в газовой смеси. Вместе с тем чрезмерная глубина приводит к увеличению сопротивления трения, что может быть причиной уменьшения коэффициента инжекции первичного воздуха. Кроме того, чрезмерное увеличение глубины каналов приводит к созданию приподнятых каналов, осложняющих изготовление горелок.

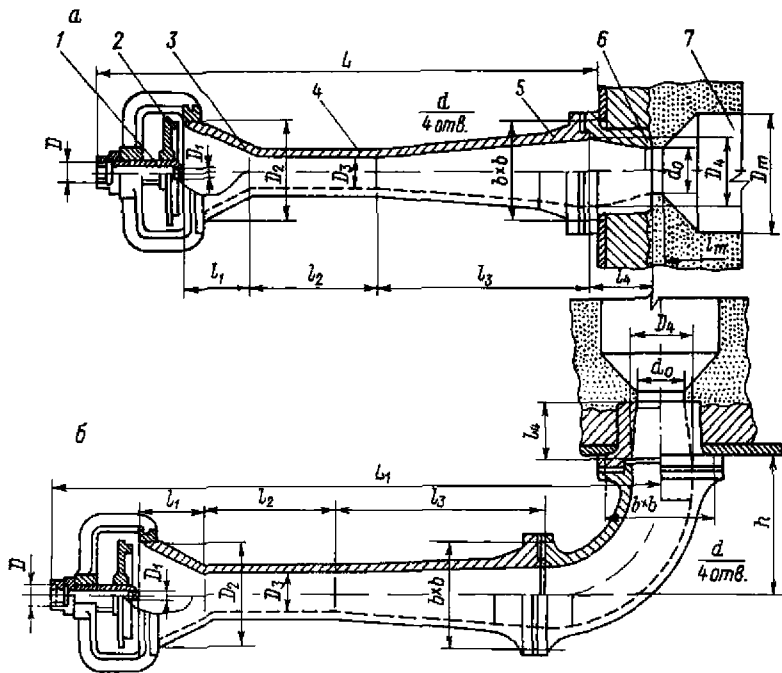


Рис. 12.68. Инжекционные горелки Ленгипроинжпроекта для природного газа среднего давления.

a — с прямым смесителем; *b* — с угловым смесителем; 1 — сопло; 2 — шайба для регулирования количества инжектируемого воздуха; 3 — конфузор смесителя; 4 — гореловина; 5 — диффузор; 6 — огневой насадок; 7 — огнеупорный туннель.

По экспериментальным данным глубину каналов следует принимать

$$l_{d_0} = (1,5 \div 2,0) d_0 \quad (12.21)$$

Большая глубина должна приниматься для быстрогорящих газов и в тех случаях, когда α_1 близок к пределу воспламеняемости или больше него.

Газовые горелки должны размещаться в топке так, чтобы конусный фронт пламени не омывал теплообменных поверхностей, так как это приводит к появлению продуктов незавершенного сгорания.

Определение высоты конусного фронта пламени h , мм, может с достаточным приближением к практике производиться по следующей эмпирической формуле:

$$h = 0,785kd_0^2y, \quad (12.22)$$

где k — коэффициент, зависящий от вида газа и коэффициента избытка первичного воздуха в смеси, определяемый по табл. 12.38; y — отношение расчетной удельной тепловой нагрузки к номинальной, равной $17 \text{ кДж}/(\text{мм}^2 \cdot \text{ч})$.

Инжекционные горелки с $\alpha_1 > 1,0$. Наиболее часто эти горелки работают на газе среднего давления для его сжигания в промышленных печах, сушилках и других тепловых установках (рис. 12.68). В качестве примера взята горелка конструкции Ленгипроинжпроекта (табл. 12.39, 12.40). Работа инжекторов среднего давления не отличается от работы инжекторов низкого давления; как в тех, так и в других расчетное давление газа при выходе из сопла равняется атмосферному, т. е. давлению инжектируемого воздуха. Между тем, согласно закону истечения давление при выходе из отверстия сохраняет постоянное значение, равное

**Характеристики инжекционных горелок Ленгширонпроекта для природного
при давлении в топке, равном**

Номер горелки	Расход газа, м ³ /ч. при					
	10	20	30	40	50	60
1	2,0	2,8	3,3	3,8	4,1	4,4
2	3,2	4,4	5,3	6,0	6,5	7,0
3	4,2	5,7	6,8	7,7	8,4	9,0
4	5,0	6,8	8,1	9,2	10,0	10,7
5	5,8	8,0	9,5	10,8	11,7	12,6
6	7,0	9,7	11,6	13,1	14,3	15,3
7	—	13,7	16,3	18,4	20,0	21,5
8	—	19,6	23,3	26,4	28,7	30,8
9	—	23,6	28,1	31,8	34,6	37,2
10	—	28,0	33,4	37,7	41,1	44,1

атмосферному лишь до тех пор, пока отношение начального давления газа p_1 перед соплом к конечному p_2 на выходе из сопла не превышает критического значения $\beta_{кр}$, т. е. при условии, когда

$$p_1/p_2 < \beta_{кр} \quad (12.23)$$

Для природных газов $\beta_{кр} = 1,9$. Принимая согласно изложенному $p_2 = 0,1$ МПа (абс.), получаем критическое значение p_1 :

$$p_1 = p_2 \cdot 1,9 = 0,19 \text{ МПа (абс.)} \quad (12.24)$$

Для сжиженных углеводородных газов критическое значение $p_1 = 0,175$ МПа (абс.).

Если начальное давление природного газа превысит критическое [0,19 МПа (абс.)], то давление на выходе из сопла, равное $p_2 = p_1/1,9$, превысит атмосферное давление, что приведет к некоторому снижению кратности инжекции.

Формула (12.5) теоретической скорости истечения газа из сопла может применяться для инжекторов среднего давления с допустимой для практики точ-

Конструкционные размеры инжекционных горелок

Номер горелки	D	Разме						
		D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	d ₀	l ₁	l ₂
1	1/2"	2,3	64	32	48	35	50	94
2	3/8"	2,9	80	40	60	44	60	120
3	3/4"	3,3	91	45	68	50	70	135
4	3/4"	3,6	102	51	77	56	80	150
5	3/4"	3,9	110	55	83	60	90	157
6	1"	4,3	120	60	90	66	95	175
7	1"	5,1	144	72	108	79	115	209
8	1 1/4"	6,1	170	85	128	93	135	245
9	1 1/4"	6,7	188	94	140	104	150	270
10	1 1/2"	7,3	204	102	154	112	160	300

ТАБЛИЦА 12.39

газа ($Q_H = 35,6$ МДж/м³, $\alpha = 0,73$ кг/м³, коэффициент избытка воздуха атмосферному, $\rho_1 = 1,05$)

Давление, кПа			Эксплуатационные пределы регулирования	
70	80	90	По давлению, кПа	По расходу, м ³ /ч
4,6	4,9	5,1	5—90	1,4—5,1
7,4	7,7	8,1	6—90	2,4—8,1
9,5	10,0	10,4	7—90	3,5—10,4
11,4	11,9	12,4	8—90	4,5—12,4
13,3	14,0	14,6	9—90	5,5—14,6
16,2	17,0	17,7	10—90	7,0—17,7
22,8	23,9	24,9	11—90	10,5—24,9
32,6	34,1	35,6	12—90	15,5—35,6
39,3	41,2	42,9	13—90	19,5—42,9
46,7	48,9	51,0	15—90	25,0—51,0

ностью при начальном давлении до 10 кПа. При более высоком давлении, но не превышающем для природного газа 90 кПа, необходимо пользоваться термодинамическими формулами адиабатического истечения, например:

$$\omega_r = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} \frac{p_1}{\rho_r'} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(k-1)/k} \right]} \quad (12.25)$$

или

$$\omega_r = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} RT_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(k-1)/k} \right]}, \quad (12.26)$$

где k — показатель адиабаты, равный для природного газа газовых месторождений 1,3, а для сжиженного углеводородного 1,13; p_1 — абсолютное давление газа перед соплом, Па; p_2 — абсолютное давление газа на выходе из сопла, равное 103 300 Па; ρ_r' — плотность газа при давлении p_1 , кг/м³; R — удельная газовая постоянная; T_1 — абсолютная температура газа перед соплом, К.

ТАБЛИЦА 12.40

Ленгинронизпроекта для природного газа

D _н , мм						Масса горелки, кг	
l_3	l_4	L	L_1	n	$b \times b$	Прямой смеситель	Угловой смеситель
152	52	383	488	123	74×74	5,1	7,6
190	62	457	577	138	88×88	6,7	10,2
215	66	523	651	148	105×105	9,2	14,2
248	76	589	727	158	115×115	11,3	18,0
265	81	626	774	168	120×120	14,3	21,8
285	89	692	857	189	120×120	19,2	28,3
342	104	808	993	209	135×135	23,1	33,8
410	110	995	1164	235	170×170	36,0	52,2
440	115	1030	1264	260	180×180	42,6	59,8
490	134	1125	1359	260	190×190	48,3	70,0

Площадь сечения сопла f_{D_1} и его диаметр D_1 могут быть определены по формулам (12.6) и (12.7), а диаметр горловины смесителя D_3 для горелок, устанавливаемых в топках с атмосферным давлением или разрежением до 30 Па, производится по формуле (12.11). При этом $\alpha_1 = 1,02 \div 1,05$. Для топок с противодавлением до 30 Па формула (12.11) видоизменяется за счет введения в нее коэффициента ε , учитывающего сопротивление смесителя:

$$D_3 = D_1 \sqrt{(1 + \alpha_1 V_T) (1 + \alpha_1 V_{T \rho_B / \rho_G}) (1 + \varepsilon)}, \quad (12.27)$$

где $\varepsilon = 0,1 \div 0,12$.

Остальные размеры горелок определяются по следующим соотношениям, полученным в результате экспериментальных исследований:

$$\text{диаметр конфузора} \quad D_2 = (1,7 \div 2) D_3; \quad (12.28)$$

$$\text{диаметр диффузора} \quad D_4 = (1,5 \div 1,7) D_3; \quad (12.29)$$

$$\text{диаметр кратера} \quad d_0 = (1,07 \div 1,1) D_3; \quad (12.30)$$

$$\text{длина конфузора} \quad l_1 = (1,5 \div 1,7) D_3; \quad (12.31)$$

$$\text{длина горловины} \quad l_2 = (3 \div 4) D_3; \quad (12.32)$$

$$\text{длина огневого насадка} \quad l_4 = (1,2 \div 1,7) D_3. \quad (12.33)$$

Длина диффузора l_3 определяется по формуле (12.16), а размеры туннеля по формулам

$$l_{T \text{ мин}} = 2,5 d_0; \quad D_T = (2,3 \div 2,5) d_0. \quad (12.34)$$

Горелки с принудительной подачей воздуха. В настоящее время не существует теоретически обоснованной методики расчета горелок, работающих на принудительно подающемся воздухе. Объясняется это не только трудностью комплексных расчетов процессов смешения горения и теплоотдачи, взаимно влияющих друг на друга, но и многообразием конструкций горелок, создающих сложность определения аэродинамических сопротивлений. По этой причине такие горелки, как правило, не рассчитывают, а подбирают по справочникам, альбомам проектных организаций или паспортным данным заводов-изготовителей.

Вместе с тем в практике встречается немало случаев, когда апробированные горелки не подходят по тепловой мощности, виду газа или его давлению. В этих случаях обычно производятся упрощенные расчеты, связанные с установлением основных размеров горелок в зависимости от местных условий. Основные размеры простейших газовых горелок с небольшими расходами газа (см. рис. 12.35 и др.) определяются по расчетному расходу газа и воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$:

для котлов

$$V_T = D (i_1 - i_2) / (Q_H \eta N); \quad (12.35)$$

для печей

$$V_T \approx q / [(Q_H + q_{\text{физ}}) \eta_1 N], \quad (12.36)$$

где V_T — расчетный расход газа одной горелкой, $\text{м}^3/\text{ч}$; D — количество выработанного котлом пара или горячей воды, $\text{кг}/\text{ч}$; i_1 — энтальпия пара или горячей воды, $\text{кДж}/\text{кг}$; i_2 — то же, питательной воды, $\text{кДж}/\text{кг}$; Q_H — низшая теплота сгорания газа, $\text{кДж}/\text{м}^3$; η — КПД котла, доли единицы; N — число принятых к установке горелок с одинаковым расходом газа; q — расход теплоты в рабочем

пространстве печи, кДж/ч; $q_{\text{физ}}$ — физическая теплота нагретого воздуха, кДж/м³ газа; η_1 — коэффициент отвода теплоты в рабочем пространстве печи, доли единицы, который с достаточным приближением может быть определен по формуле

$$\eta_1 = 1 - i_{\text{yx}}/i_{\text{T}} \quad (12.37)$$

(i_{yx} — энтальпия уходящих газов, кДж/м³; i_{T} — энтальпия продуктов сгорания при теоретической температуре горения, кДж/м³).

Расход воздуха для сгорания газа, м³/ч,

$$V_{\text{в}} = V_{\text{r}} \alpha_1 V_{\text{T}}, \quad (12.38)$$

где V_{T} — теоретический расход воздуха для сгорания 1 м³ газа, м³/м³; α_1 — коэффициент избытка воздуха, принимаемый в зависимости от совершенства смесительных устройств в пределах $\alpha_1 = 1,05 \div 1,1$.

Расчетная скорость вылета газозвушной смеси из огневого канала (насадка) (для обеспечения широкого регулирования тепловой мощности горелки) принимается в пределах от 15 до 25 м/с. Соответственно скорость воздуха, отнесенная к тому же сечению, будет на 10% меньше.

По указанным данным определяют площадь сечения огневого канала горелки и его диаметр:

$$f_{\text{D}} = V_{\text{см}} / (3600 \omega_{\text{см}}) = V_{\text{r}} (1 + \alpha_1 V_{\text{T}}) / (3600 \omega_{\text{см}}); \quad (12.39)$$

$$D = \sqrt{4f_{\text{D}} / 3,14}, \quad (12.40)$$

где f_{D} — площадь сечения огневого канала горелки, м²; $V_{\text{см}}$ — объем газозвушной смеси, м³/ч; $\omega_{\text{см}}$ — скорость вылета газозвушной смеси, м/с; D — диаметр огневого канала, м.

Минимальная скорость вылета газовой струи или струй (при многоструйном вылете газа), м/с,

$$\omega_{\text{r}} = \omega_{\text{в}} \rho_{\text{в}} / \rho_{\text{r}}, \quad (12.41)$$

где $\omega_{\text{в}}$ — скорость воздуха, отнесенная к цилиндрическому сечению огневого канала, м/с.

Давление воздуха $p_{\text{в}}$ и газа p_{r} , Па, для создания принятой выходной скорости и преодоления гидравлических сопротивлений

$$p_{\text{в}} = (1 + \epsilon) \rho_{\text{в}} \omega_{\text{в}}^2 / 2; \quad (12.42)$$

$$p_{\text{r}} = (1 + \epsilon_1) \rho_{\text{r}} \omega_{\text{r}}^2 / 2, \quad (12.43)$$

где ϵ — коэффициент сопротивления канала воздушного потока, учитывающий сопротивление осевого лопаточного завихрителя: $\epsilon = 2,0 \div 3,0$ (в зависимости от числа лопаток и угла их поворота); ϵ_1 — то же, газового тракта, с учетом коэффициента расхода при вытекании газа через цилиндрические отверстия: $\epsilon_1 = 1,8 \div 2,0$. Остальные характеристики горелок принимаются по конструктивным соображениям. При этом следует ориентироваться на соотношения приведенных в таблицах размеров апробированных горелок.

Приведенная упрощенная методика недостаточна для расчета горелок с периферийной или центральной выдачей струй газа в закрученный поток воздуха, предназначенных для сжигания больших объемов газа. Для таких горелок необходимо не только обеспечить их пропускную способность по газу и воздуху, но и равномерно распределить газовые струи в потоке воздуха.

Такой расчет обычно выполняется по формуле

$$h = k_1 d \omega_{\text{r}} / \omega_{\text{в}} \sqrt{\rho_{\text{r}} / \rho_{\text{в}}}, \quad (12.44)$$

где h — абсолютная глубина проникновения газовых струй в поперечный поток воздуха, мм; d — диаметр отверстий, из которых происходит истечение газа в поток воздуха, мм; ω_{r} — скорость истечения газа, м/с; $\omega_{\text{в}}$ — скорость потока воздуха в месте встречи со струями газа, м/с; ρ_{r} — плотность газа, кг/м³; $\rho_{\text{в}}$ — то же, воздуха, кг/м³; k_1 — экспериментальный коэффициент, зависящий от относительного шага s между отверстиями: при $s/d = 5$ $k_1 = 1,6$; при $s/d = 10$; $k_1 = 1,75$ и при $s/d = 15$ $k_1 = 1,9$.

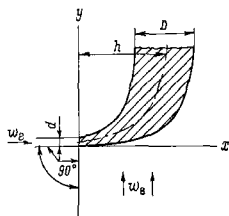


Рис. 12.69. Схема развития газовой струи в поперечном воздушном потоке.

Формула (12.44) применима при вытекании газовых струй в поток воздуха под углом 90° . При вытекании струй под другим углом в формулу (12.44) вместо k_1 подставляется произведение $k_1 \sin \beta$, где β — угол атаки. При равномерном распределении газовых струй необходимо учитывать их расширение в поперечном потоке воздуха (рис. 12.69). Диаметры струй D , мм, принявших направление потока воздуха, определяются по следующей формуле:

$$D = 0,75h. \quad (12.45)$$

Воспользовавшись формулами (12.44) и (12.45), можно подобрать такие размеры газоразпусковых отверстий и такое расположение их, чтобы струи по возможности равномерно заполняли спящий воздушный поток, не сливаясь между собой, и не омывали стенки воздушного канала. При этом газоразпусковые отверстия могут размещаться в один или несколько рядов и иметь разные размеры.

Горелки с большим расходом газа наиболее часто оборудуют простым тангенциальным или улиточным подводом воздуха для его закрутки (рис. 12.70). Коэффициент сопротивления ϵ для таких подводов воздуха при $a/d \approx 0,35$ и $b/d \approx 1,0$ для тангенциального подвода (при интенсивности закрутки $n' = 1,85$) составляет 2,0, а для улиточного (при интенсивности закрутки $n' = 3,85$) 5,0.

Интенсивность закрутки для простого тангенциального подвода

$$n' = d(d - a)/(a - b), \quad (12.46)$$

а для улиточного

$$n' = d(d + a + c)/(ab), \quad (12.47)$$

где c — расстояние между патрубком и цилиндрической полостью подвода, мм.

Пересчеты газовых горелок с одного вида газа на другой. В практике проектирования и эксплуатации газовые горелки приходится использовать для сжигания газа нерасчетных характеристик (например, сжиженный газ вместо сетевого). Основным условием для возможности этого является сохранение постоянства тепловой мощности при сжигании разных видов газа, так как в этом случае сохраняется одинаковое отношение воздуха к газу в пересчете на тепловые единицы.

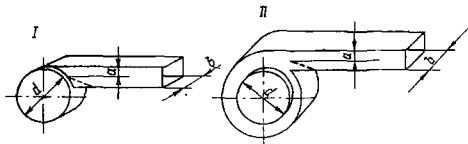


Рис. 12.70. Схемы подвода воздуха в горелки.

I — простой тангенциальный; II — улиточный

При соблюдении этого условия все размеры горелок могут оставаться неизменными, за исключением размеров газовых сопел инжекционных горелок и газоразпусных отверстий горелок, работающих на принудительно подающемся воздухе.

Размеры новых сопел при замене газа могут быть определены по следующей формуле:

$$D' = D \sqrt{(Q_n'/Q_n)} \sqrt{\rho\rho_r'/(p'p_r)}, \quad (12.48)$$

где D , Q_n , p и ρ_r — соответственно диаметр сопла, низшая теплота сгорания, давление и плотность газа, на который были рассчитаны или изготовлены газовые горелки; D' , Q_n' , p' , ρ_r' — те же характеристики для заменяющего газа.

Формула (12.48) применима для всех видов газа и всех видов горелок, оборудованных искусственными стабилизаторами горения. Для горелок без стабилизаторов (например, инжекционных низкого давления с естественной стабилизацией фронта пламени) эта формула имеет ограниченное применение: только в том случае, если нормальная скорость распространения пламени заменяющего газа отличается от скорости распространения пламени основного газа, на который была рассчитана горелка, не более чем на $\pm 20\%$. При большем отличии необходима проверка размеров огневых каналов в отношении отрыва и проскока пламен.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА КОММУНАЛЬНО-БЫТОВЫМИ И ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ

13.1. СХЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ОТ ГОРОДСКИХ ГАЗОПРОВОДОВ

Промышленные и коммунально-бытовые предприятия в зависимости от общего расхода газа, давления газа перед газогорелочными устройствами, числа и расположения потребителей (цехов), протяженности газопроводов могут снабжаться газом от городских газопроводов низкого, среднего или высокого давления. По «Правилам безопасности в газовом хозяйстве» и СНиП 2.04.08—87 межцеховые газопроводы на промышленных предприятиях могут быть как подземными, так и надземными. Выбор способа прокладки межцеховых газопроводов зависит от степени насыщенности территории подземными коммуникациями, типа грунтов и покрытий, характера строительных сооружений и зданий, расположения цехов, потребляющих газ, и технико-экономических соображений. Как правило, на предприятиях предпочтение отдается надземной прокладке межцеховых газопроводов.

Схемы газоснабжения предприятий, как и способы прокладки газопроводов, разнообразны. При выборе схемы необходимо руководствоваться техническими и экономическими требованиями, а также требованиями надежности и безопасности: обеспечение необходимых параметров горючего газа (давление и расход) перед газовыми горелками теплоагрегатов; минимальные капитало- и металлозатраты (минимальные диаметры и длины газопроводов, число ГРП и ГРУ); обеспечение надежных и безопасных строительно-монтажных и пусконаладочных работ, эксплуатации.

В зависимости от расхода и давления газа, режима работы теплоагрегатов, территориального расположения потребителей газа на предприятии и технико-экономических показателей и с учетом практики проектирования и эксплуатации различают несколько типичных схем газоснабжения промышленных и коммунально-бытовых предприятий.

Мелкие коммунально-бытовые предприятия с небольшим расходом газа и теплоагрегатами, работающими на газе низкого давления (фабрики-кухни, столовые, встроенные отопительные котельные с секционными котлами и др.), как правило, присоединяются к городским газопроводам низкого давления (рис. 13.1). Схема газоснабжения состоит из ввода газопровода на территорию

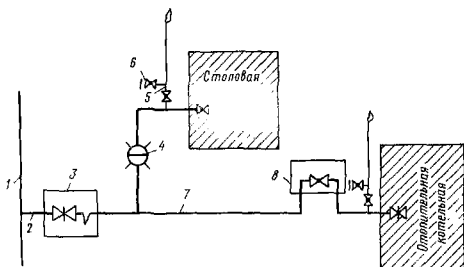


Рис. 13.1. Схема газоснабжения предприятия от городского газопровода низкого давления.

1 — городской распределительный газопровод низкого давления; 2 — ввод газопровода; 3 — задвижка с компенсатором в глубоком колодце; 4 — гидравлический затвор; 5 — продувочный газопровод; 6 — штуцер с краном и пробой для взятия пробы; 7 — подземные межцеховые (дворовые) газопроводы низкого давления; 8 — кран в мелком колодце.

предприятия с общим отключающим устройством, межцеховых газопроводов с отключающими устройствами перед каждым цехом, продувочных газопроводов и таких элементов, как контрольные трубки, контрольные проводники, конденсатосборники (для влажных газов), компенсаторы и др.

Общее отключающее устройство (задвижку) устанавливают на вводе газопровода. Оно предназначено для отключения подачи газа при ремонте или аварии системы газоснабжения. Размещается оно на городской территории (улице) и находится в ведении Горгаза.

Продувочные газопроводы предназначены для удаления воздуха и газозоудной смеси и заполнения системы чистым газом во время первоначального и последующих (после ремонтов межцеховых газопроводов или длительного отключения системы) пусков. Для определения качества продувки на продувочном газопроводе устанавливают штуцер с краном для отбора пробы среды, состав которой может быть определен на газоанализаторе.

В рассматриваемой схеме газоснабжения условно принята подземная прокладка газопроводов. На схеме отсутствуют конденсатосборники, так как в настоящее время для газоснабжения города в основном применяют осушенный природный газ. В случае использования влажного горючего газа необходимо все газопроводы прокладывать с уклоном и в низких точках системы устанавливать конденсатосборники.

Средние и крупные промышленные предприятия присоединяются к городским распределительным газопроводам среднего или высокого давления (рис. 13.2). Условно принято, что в цехах 2 и 3

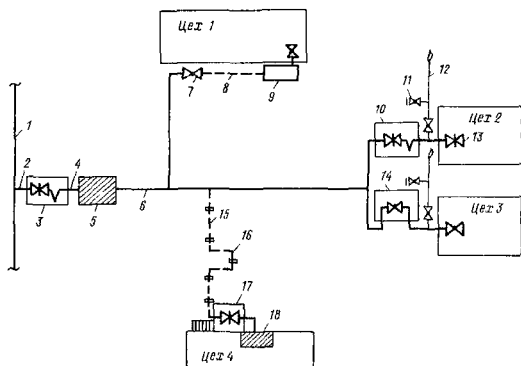


Рис. 13.2. Схема газоснабжения промышленного предприятия от городских газопроводов среднего или высокого давления.

1 — городской распределительный газопровод среднего или высокого давления; 2 — ввод газопровода; 3 — задвижка с компенсатором в глубоком колодце; 4 — подземные межцеховые газопроводы среднего или высокого давления; 5 — ГРП и центральный пункт измерения расхода газа; 6 — подземные межцеховые газопроводы среднего давления; 7 — кран; 8 — надземные газопроводы, прокладываемые по стене здания; 9 — шкафовая ГРУ (ШРУ); 10 — задвижка с компенсатором в глубоком колодце (отключающее устройство цеха); 11 — штуцер с краном и пробкой для взятия пробы; 12 — продувочный газопровод; 13 — отключающее устройство (задвижка) на вводе в цех; 14 — кран в мелком колодце; 15 — надземные межцеховые газопроводы, прокладываемые по колоннам; 16 — П-образный компенсатор; 17 — задвижка на надземном газопроводе с площадкой и лестницей для его обслуживания; 18 — внутрицеховая ГРУ.

теплоагрегаты работают на газе среднего давления (давление газа перед горелками агрегатов принято равным), а в цехах 1 и 4 — на газе низкого давления. После общего отключающего устройства на межцеховом газопроводе начального давления газа установлен ГРП, предназначенный для снижения давления газа с высокого или среднего до среднего давления, необходимого для теплоагрегатов цехов 2 и 3 с учетом потерь давления. В здании ГРП смонтирован центральный пункт измерения расхода газа, предназначенный для хозяйственных расчетов предприятия с поставщиком. В цехах 1 и 4 для использования газа низкого давления дополнительно установлены ГРУ.

Для межцеховых газопроводов принята смешанная схема прокладки — подземная и надземная. Надземные газопроводы могут прокладываться по наружным стенам и несгораемым покрытиям промышленных зданий с производствами, отнесенными по пожарной опасности к категориям В, Г и Д, а также по отдельно стоящим колоннам (опорам) и эстакадам из несгораемых материалов. Газопроводы высокого давления могут прокладываться по

стенам производственных вдуний только над окнами верхних этажей или по глухим стенам.

Диаметры газопроводов определяются гидравлическим расчетом при максимальном расходе газа с учетом ближайшей перспективы развития предприятия и допустимых потерях давления. Все подземные стальные газопроводы защищаются от коррозии, вызываемой грунтом и блуждающими электрическими токами. Применяют пассивную и активную защиту газопроводов от коррозии.

Целесообразно отметить, что совершенствование систем газоснабжения предприятий может развиваться в следующих направлениях. Выбор систем газоснабжения предприятий, давления в газовых сетях, режимов работы системы во многом зависит от применяемых газогорелочных устройств. Большинство горелок с принудительной подачей воздуха сконструированы, испытаны и работают в эксплуатационных условиях на газе низкого давления.

Промышленные предприятия в подавляющем большинстве снабжаются горючим газом от городских распределительных сетей среднего или высокого давления. Чтобы обеспечить работу горелок в паспортных режимах на ГРП или ГРУ газ редуцируется до необходимого низкого давления. Снижение давления в регуляторах достигает 0,1—0,2 МПа. Происходит бесполезная потеря энергии и порой даже возникают из-за больших скоростей в регуляторе вредные шумы. Кроме того, транспорт газа низкого давления требует увеличения диаметров газопроводов, т. е. дополнительных капитальных вложений в систему.

Горелки с принудительной подачей воздуха после незначительной реконструкции могут также успешно работать на среднем давлении газа. Более того, среднее давление газа перед горелками позволяет полезно использовать эту энергию на лучшее смесеприготовление газа с воздухом и, если это необходимо, изменять характеристики пламени (длина, светимость, температура и др.).

Предлагаемые технические решения смогут обеспечить:

1) унификацию систем газоснабжения предприятий — все системы среднего давления;

2) увеличение пропускной способности системы, что особенно эффективно при реконструкции предприятий, и повышение их производительности на тех же производственных площадях;

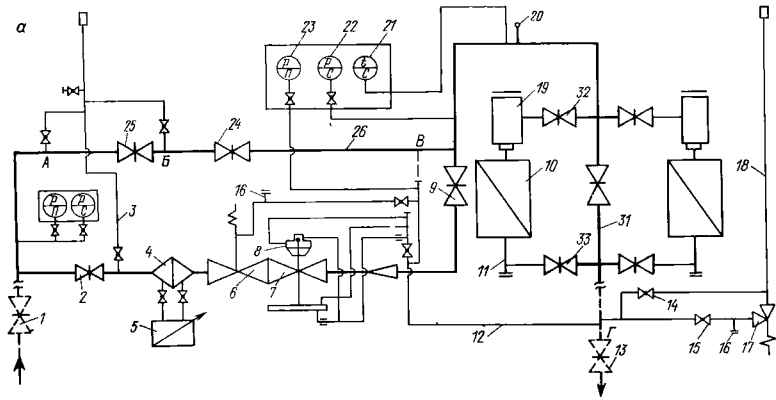
3) снижение капитальных вложений для вновь проектируемых систем на 10—15% без ухудшения безопасности использования газа;

4) применение при строительстве блочного метода (блоки-модули ГРП, ГРУ, коммуникации тепловых агрегатов с автоматикой и горелками, узлы систем и др.);

5) упрощение и ускорение проектирования систем газоснабжения предприятий за счет использования набора типоразмеров блоков-модулей и широкого применения САПР.

13.2. ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫЕ ПУНКТЫ И УСТАНОВКИ ПРЕДПРИЯТИЙ

Газорегуляторные пункты (ГРП) промышленных и коммунально-бытовых предприятий сооружаются в отдельно-стоящем здании и предназначены для питания газом нескольких потребителей (цехов, котельных). Допускается ГРП с входным давлением не более 0,6 МПа размещать в пристройках к промышленным зданиям не ниже I и II степени огнестойкости с производствами, отнесенными по пожарной опасности к категориям Г и Д. Газорегуляторные установки (ГРУ) монтируют непосредственно в помещениях цехов и котельных, где находится агрегаты, использующие газ.



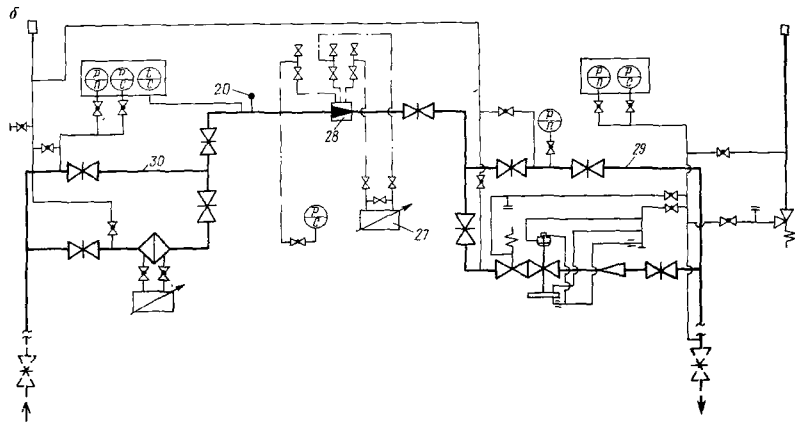


Рис. 13.3. Принципиальная схема ГРП (ГРУ).

1, 13 — запорные устройства на входе и выходе; 2, 9 — то же, перед и за ГРП; 3 — продувочный трубопровод; 4 — фильтр; 5 — дифманометр; 6 — ПЗК; 7 — регулятор давления; 8 — пилот; 10 — счетчик; 11 — поворотное колесо; 12 — импульсная трубка; 14 — кран продувочного трубопровода; 15 — кран перед ПСУ; 16 — штуцер для настройки ПСУ; 17 — ПСУ; 18 — сбросной трубопровод; 19 — фильтр-резица; 20 — технический термометр; 21, 22 — самопишущие термометр и манометр; 23 — показывающий манометр; 24, 25 — запорные устройства на байпасе; 26 — общий байпас; 27 — дифманометр-расходомер; 28 — сужающее устройство; 29, 31 — байпасы; 32, 33 — запорные устройства перед счетчиком и за ним.

В состав ГРП (ГРУ) входят фильтр, регулятор давления, предохранительные запорные (ПЗУ) и сбросные устройства (ПСУ), запорная арматура, КИП и при необходимости узел измерения расхода газа (счетчик или измерительная диафрагма). Газ начального давления (рис. 13.3) через задвижку поступает в фильтр, где очищается от механических примесей. На фильтре установлен дифференциальный манометр (дифманометр), при помощи которого по перепаду давлений определяют засоренность фильтра. При потерях давления на фильтре, достигающих максимально допустимого значения, фильтрующая кассета заменяется или очищается от загрязнений промывкой.

Очищенный газ проходит через ПЗУ типа ПЗК, который предназначен для отключения подачи газа потребителям при аварийном отклонении (по максимуму и минимуму) выходного давления, откуда поступает в регулятор давления. Это — главный прибор ГРП (ГРУ). Он снижает давление газа до заданного и автоматически поддерживает его независимо от изменения расхода газа. Регулятор давления и ПЗК через импульсную систему трубопроводов соединены с газопроводом выходного давления, и в точке отбора регулятор поддерживает, а ПЗК контролирует заданное давление газа.

Регулирующая линия ГРП (ГРУ) имеет обводной газопровод (байпас). При выходе из строя какого-либо прибора регулирующей линии или при их замене, чистке фильтра для обеспечения непрерывной подачи газа потребителям закрывают задвижки до фильтра и после регулятора и работу ГРП (ГРУ) переводят на байпас с ручным управлением. Для этого на обводном газопроводе последовательно установлены два запорных устройства: одно работающее как дроссель, воспринимающий на себя основной перепад давления, и задвижка или вентиль, с помощью которых обслуживающий персонал вручную поддерживает постоянное заданное выходное давление по манометру. Предохранительное сбросное устройство типа ПСК предназначено для снижения выходного давления газа после регулятора путем стравливания части газа в атмосферу. Он должен быть настроен на давление, меньшее максимального давления отсечки ПЗК.

При резком уменьшении расхода газа потребителями, обусловленного отключением части агрегатов, регулятор в силу своей инерционности не сразу восстанавливает заданное давление. Происходит кратковременное и быстрое повышение давления газа в системе газоснабжения после регулятора. Этот кратковременный неаварийный подъем выходного давления снимают ПСК при безостановочной работе ГРП (ГРУ).

В аварийном режиме (например, вышел из строя регулятор и газ входного давления поступает в систему пониженного давления) ПСК не обеспечит нужного снижения выходного давления из-за малой пропускной способности. Давление газа после регулятора будет продолжать повышаться, и когда оно достигнет

значения, равного максимальной настройке ПЗК, последний отключит подачу газа в ГРП (ГРУ). ПСК подсоединяют к газопроводам после узла измерения расхода газа, чтобы по счетчику мог быть учтен и газ, сбрасываемый в атмосферу.

ГРП работает без постоянного обслуживающего персонала. Для периодического контроля работы приборов и оборудования ГРП на газопроводах входного и выходного давления газа устанавливают регистрирующие и показывающие манометры. ГРП и ГРУ промышленных и коммунально-бытовых предприятий, как правило, имеют узел учета расхода газа. В качестве расходомерных приборов применяются газовые ротационные счетчики (рис. 13.3, а) или стандартные сужающие устройства (рис. 13.3, б) (камерные измерительные диафрагмы) с дифманометрами и вторичными измерительными приборами. В одном узле измерения расхода газа может быть установлено не более двух параллельно работающих счетчиков. Таким образом, максимальная пропускная способность такого узла измерения 2000 м³/ч. При большем расходе газа для его измерения устанавливают камерные диафрагмы с регистрирующими дифманометрами — расходомерами (рис. 13.3, б). Расходомер фиксирует мгновенный расход. Для определения суммарного расхода диаграммы дифманометра, на которых в виде кривой записываются мгновенные расходы, обрабатывают планиметром. Диафрагму расходомера заказывают заводу-изготовителю совместно с регистрирующим дифманометром по специальным заказным листам, в которых должны быть отражены все основные параметры измеряемого газа. Диафрагму устанавливают на прямолинейном участке газопровода в соответствии с правилами РД 50—213—80. Установка диафрагмы в колодцах и прямках не допускается.

Как уже отмечалось в гл. 7, ГРП могут быть одно- и двухступенчатые (последовательно установлены два регулятора), а также одинарные, двоянные и строенные (параллельно установлены три регулирующие линии). Двухступенчатое снижение давления газа применяют в целях безопасности и снижения уровня шума. При последовательной установке двух регуляторов в процессе эксплуатации иногда возникают трудности в связи с возникающей «качкой», т. е. пульсацией, выходного давления. В этом случае между регуляторами надо устанавливать дополнительную демпфирующую емкость, которая сглаживает влияние работы регулятора I ступени на работу регулятора II ступени. В результате такая емкость обеспечивает стабильное поддержание заданного выходного давления.

Параллельную установку регулирующих линий применяют, когда пропускная способность регулятора давления не обеспечивает требуемого расхода газа или когда расход газа на предприятии резко меняется в пределах больших, чем допустимые изменения пропускной способности регулятора. При параллельной работе двух и более регулирующих линий ГРП каждая настраивает-

тся на выходное давление, немного отличное от давления на соседней линии. В этом случае линии включаются в работу и выключаются автоматически в зависимости от нагрузки.

Для расчета и подбора регулятора давления, а также для определения параметров настройки регулятора, ПЗК и ПСК необходимо произвести гидравлический расчет газопроводов до и после ГРП и найти потери давления. Исходными данными для гидравлического расчета газопроводов и ГРП являются начальное давление газа (как в городском распределительном газопроводе в месте ответвления, ввода на предприятии, так и перед газогорелочными устройствами теплоагрегатов), а также расход газа. Для выбора регулятора и определения его пропускной способности необходимо знать давление газа перед регулятором p_1 и требуемое давление газа после регулятора p_2 , максимальный и минимальный расходы газа. Регулятор подбирают по перепаду давления:

$$\Delta p = p_1 - p_2; \quad p_1 = p_n - \Delta p_{Г1}; \quad p_2 = p_v + \Delta p_{Г2}, \quad (13.1)$$

где p_n — начальное давление газа на вводе газопровода на предприятие (принимается из схемы газоснабжения города или по данным Горгаза); p_v — давление газа перед газогорелочными устройствами (принимается по техническому паспорту горелок и теплоагрегата); $\Delta p_{Г1}$ — потери давления от ввода газопровода на предприятие до регулятора давления ГРП (определяется по гидравлическому расчету газопроводов); $\Delta p_{Г2}$ — потери давления в газопроводах от регулятора давления до газогорелочного устройства (определяется по гидравлическому расчету газопроводов).

Настройка работы оборудования ГРП (ГРУ) предприятий производится по расчетным параметрам и уточняется в процессе эксплуатации системы газоснабжения. При настройке оборудования ГРП могут приниматься во внимание следующие параметры.

Регулятор давления	Конечное давление газа после регулятора $p_2 = p_1 + \Delta p_{Г2}$
Предохранительное сбросное устройство (гидравлический или пружинный клапан)	Давление открытия клапана и начала сброса газа $p_{ПСК} = 1,15 p_2$
Предохранительное запорное устройство	Максимальное давление отсечки газа $p_{ПЗК} = 1,25 p_1$

Минимальное давление отсечки газа принимают по минимальному давлению газа перед горелками с учетом потерь давления в газопроводах при соответствующих минимальных расходах газа. Предлагаемые режимы настройки газового оборудования ГРП могут быть скорректированы в зависимости от давления газа и типа газовых горелок.

При течении газового потока через регулирующие устройства ГРП при больших расходах и перепадах давления на регуляторе могут возникать шумы и вибрация, интенсивность которых определяется технологическим режимом работы оборудования, конструкцией регулирующих устройств, акустическими свойствами

здания ГРП. Высокие уровни аэродинамического шума в помещении ГРП высокого давления определяют шумовую обстановку на территориях предприятий и жилых микрорайонов, прилегающих к ним.

Основными источниками шума в ГРП являются клапанное устройство регулятора давления и элементы линии, расположенные после регулятора: линзовые компенсаторы, крутые отводы, врезки, прикрытые задвижки и др. Источником шума вне здания ГРП служат выходящие наружные газопроводы. Шум из здания ГРП распространяется в основном через двери, окна, вентиляционную систему (дефлекторы, жалюзийные решетки) и другие проемы.

Для снижения шума в ГРП можно применить следующие:

- а) уменьшить шум в самом источнике за счет снижения частоты и зон пульсации;

- б) локализовать шум за счет звукоизоляции источника шума;

- в) повысить акустическую плотность здания ГРП.

Наиболее эффективный путь подавления шума — снижение его в самом источнике. Это может быть достигнуто созданием наиболее целесообразной (с точки зрения условий шумообразования при течении газового потока) конструкции регулятора давления, изменением схемы линии регулирования и включением в нее активных шумоподавляющих устройств (разделителей потока газа, дроссельных камер, глушителей и т. п.). Такой путь приемлем на стадии разработки усовершенствованных конструкций регуляторов и проектирования новых ГРП.

Для действующих ГРП целесообразно применять пассивную защиту (см. пункты «б» и «в»), основанную на применении звукопоглощающих материалов и конструкций с целью звукоизоляции наиболее «шумных» узлов линии регулирования, снижения акустического эффекта здания ГРП и повышения его акустической плотности. К этому виду защиты относятся следующие методы:

— нанесение звукопоглощающих покрытий на наружную поверхность газопроводов и арматуры;

— установка звукоизолирующих кожухов на оборудование линии регулирования;

— облицовка звукопоглощающим материалом внутренних поверхностей диффузора, зонта вытяжных дефлекторов и проемов жалюзийных решеток (при этом необходимо сохранить нормативный воздухообмен вентиляции);

— повышение акустической плотности окон и дверей (двойные двери с покрытием их звукопоглощающим материалом, двойные или тройные окна со звукопоглощающим материалом по периферии проемов).

В качестве звукопоглощающих материалов в конструкциях можно применять поролон (поропласт полиуретановый марки Аδ = 50 мм), минераловатные плиты, имеющие высокие реверберационные коэффициенты звукопоглощения в высокочастотной

полосе шумового спектра (0,75÷0,98). В качестве звукопоглощающих покрытий для газопроводов применяют специальные битумно-резиниовые мастики.

13.3. ГАЗОСНАБЖЕНИЕ ЦЕХОВ

Цеха предприятий могут снабжаться газом низкого или среднего давления. Выбор давления газа зависит от вида и числа теплоагрегатов, оборудования этих агрегатов, требований «Правил безопасности в газовом хозяйстве» и СНиП 2.04.08—87. Правильный выбор схемы газоснабжения цеха во многом определяет экономичность и надежность системы газоснабжения, а также безопасность эксплуатации. Общими элементами любой схемы цеховых газопроводов являются следующие:

— общее отключающее устройство на вводе газопровода в цех независимо от наличия отключающего устройства на межцеховом газопроводе перед цехом;

— показывающий манометр на вводе газопровода в цех после общего отключающего устройства;

— узел измерений расхода газа;

— отключающие устройства на ответвлениях газопроводов к агрегатам;

— продувочные газопроводы, обеспечивающие удаление воздуха и газозадушной смеси при пуске из всех внутрицеховых газопроводов.

Схема газоснабжения цеха (котельной), приведенная на рис. 13.4, может применяться для систем газоснабжения как низкого, так и среднего давления газа, но после ГРП. Если же системой газоснабжения предприятия предусматривается установка в цехе ГРУ, то она монтируется в схему газоснабжения цеха (рис. 13.4) между общим отключающим устройством 2 и пунктом измерения расхода газа 7. Схема ГРУ и пункта измерения расхода газа приведены в разделе 13.2.

Ввод газопровода в цех, как правило, осуществляется через стену здания в футляре, представляющем собой отрезок трубы большего диаметра, чем газопровод, установленный в кладку на цементном растворе. Пространство между футляром и газопроводом заделывается просмоленной льняной пряжей, а с торцов заливается битумом. Футляр предназначен для защиты газопровода от повреждений при незначительных сезонных или других деформациях стены. Непосредственно на вводе газопровода в цех устанавливают общее отключающее устройство (задвижку, кран) в доступном для обслуживания и освещенном месте. Оно предназначено для отключения цеха в случае ремонта или аварии, а также при остановке его на длительное время. При ремонтных работах, а также при любых длительных остановках цеха на вводе газопровода в цех за общим отключающим устройством устанавли-

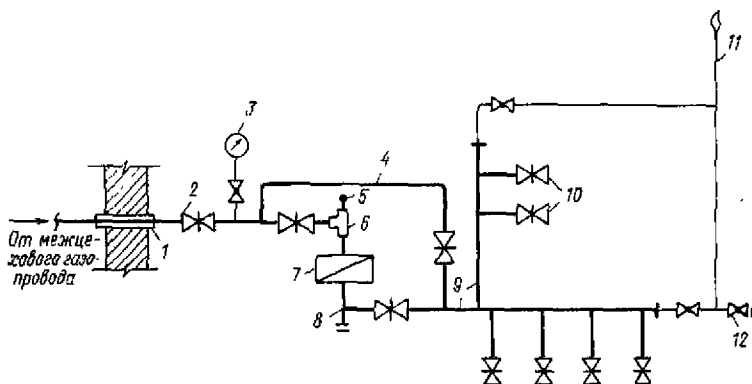


Рис. 13.4. Схема газопроводов цеха.

1 — футляр; 2 — общая отключающая задвижка (кран); 3 — показывающий манометр; 4 — байпас счетчика; 5 — термометр; 6 — фильтр-ревизия; 7 — газовый ротационный счетчик; 8 — угольник; 9 — газовый коллектор цеха; 10 — отключающее устройство на ответвлении газопровода к теплоагрегату; 11 — продувочный газопровод; 12 — штуцер в краном и пробкой для взятия пробы среды при продувке.

вают заглушку. Кран перед манометром на вводе газопровода при работе цеха должен быть открыт постоянно.

Газопроводы в цехах прокладывают открыто по стенам, колоннам и другим сооружениям в местах, удобных для обслуживания и исключающих возможность их повреждения цеховым транспортом. Не разрешается прокладывать газопроводы через подвальные помещения, помещения взрывоопасных производств, склады взрывоопасных и горючих материалов, помещения электрораспределительных устройств и подстанций, вентиляционные камеры, а также через помещения, в которых газопровод будет подвержен коррозии (помещения заливки, шлака, подготовки и др.). Газопроводы также не следует прокладывать в зоне непосредственного воздействия теплового излучения топков, в местах возможного омыwania их горячими продуктами сгорания или контакта с раскаленным или расплавленным металлом.

Газопроводы крепят с помощью специальных металлических кронштейнов (опор) или подвесок с хомутами. При расположении арматуры на высоте более 2 м следует устраивать смотровые площадки с лестницами или делать дистанционный привод. Если же арматурой пользуются изредка, обслуживающий персонал может пользоваться стремянками.

Расстояния между газопроводами и стенами цеха выбирают из расчета обеспечения легкого осмотра и ремонта газопроводов, фланцевых соединений, арматуры и аппаратуры. В местах прохода людей газопроводы должны прокладываться на высоте не менее 2,2 м, считая от пола до низа трубы.

В цехах и котельных, как правило, газопроводы прокладывают надземно. При расположении теплоагрегатов в таких местах, куда невозможно подвести надземные газопроводы, разрешается, как

исключение, прокладывать их подземно. В этом случае газопровод укладывают в бетонный канал с верхними съемными плитами. Размеры канала выбирают из расчета возможности монтажа и удобства эксплуатации (осмотра, ремонта и т. д.). Свободное пространство между каналом и газопроводом для устранения возможности скопления газа засыпают песком. При обеспечении постояннодействующей вентиляции канал с газопроводом можно песком не засыпать. Газопроводы в каналах должны иметь минимальное число сварных соединений. Резьбовые, фланцевые соединения, а также установка запорной арматуры в каналах запрещены.

Газопроводы цеха на конечных наиболее удаленных участках имеют продувочные газопроводы, предназначенные для освобождения газопроводов от воздуха перед пуском теплоагрегатов и для вытеснения газа воздухом при ремонте, консервации или длительной остановке системы газоснабжения. К цеховым продувочным газопроводам могут присоединяться и продувочные газопроводы агрегатов (печей, котлов, сушилок и т. д.). Продувочные газопроводы выводят из зданий и по наружной поверхности стен прокладывают на высоту не менее чем на 1 м выше карниза крыши, в месте, где обеспечиваются безопасные условия для рассеивания газа. Необходимо исключить возможность попадания в продувочный газопровод атмосферных осадков, для чего конец его либо загибают, либо монтируют на нем защитный зонт. Окончание продувки определяют отбором пробы через специальный штуцер с краном на продувочном газопроводе. Продувка газопроводов считается законченной, если в отобранной пробе газа содержание кислорода не превышает 1 об. % (при сжигании пробы наблюдается спокойное горение).

Диаметры газопроводов определяют с помощью гидравлического расчета. На основании опыта проектирования можно рекомендовать при расчете газопроводов принимать потери давления газа от ГРУ (ГРП) до наиболее удаленных горелок $\Delta p_{ГТ} = p_2 - p_1$, % от номинального давления газа перед горелками, не более:

- а) 50 при низком давлении газа,
- б) 25 при среднем давлении газа.

Трубы (газопроводы) соединяются сваркой. Резьбовые и фланцевые соединения допускаются в местах установки арматуры, оборудования ГРУ, контрольно-измерительных приборов, газовых горелок.

13.4. ТРЕБОВАНИЯ К АГРЕГАТАМ, ИСПОЛЬЗУЮЩИМ ГАЗОВОЕ ТОПЛИВО

Горючий газ, по сравнению с твердым и жидким топливом, имеет следующие преимущества:

— обладает высокой экономичностью использования [его можно полностью сжечь с минимальным избытком воздуха: $\alpha = 1,05 \div 1,10$, при отсутствии химической неполноты сгорания (химического недожога)];

— является наиболее экологически чистым (в продуктах сгорания его образуется минимальное количество вредных веществ);

— обладает высокой мобильностью (позволяет быстро изменять тепловую мощность установки);

— обеспечивает повышение культуры производства.

Наряду с указанными преимуществами газовое топливо имеет существенный недостаток — способность образовывать взрывоопасные газоздушные смеси, которые в замкнутом объеме (топка, дымоходы) при зажигании (внесение пламени, искра, раскаленные поверхности) приводят к взрыву. С учетом особенностей горючего газа как топлива можно сформулировать следующие общие требования и рекомендации к тепловым установкам (котлам, печам, сушилам и др.), работающим на газе:

— хорошее техническое состояние и соответствие действующим нормам и правилам;

— оснащенность надежной и безопасной системой обвязочных газопроводов;

— полное и экономичное сжигание газового и резервного топлива с минимальным количеством вредных веществ в продуктах сгорания;

— конструкции топков и газогорелочных устройств должны иметь возможность перехода на резервный (аварийный) вид топлива и обратно;

— учет возможностей повышения производительности тепловых установок, использование резервов сжигания газа с большой тепловой мощностью топочного объема;

— оснащенность автоматикой безопасности и регулирования, а также необходимыми КИП;

— топки и газоходы должны иметь предохранительные взрывные клапаны;

— наличие необходимой технической документации (исполнительные схемы газопроводов, инструкции по пуску, работе и остановке, режимные карты, журналы работ и по технике безопасности и др.).

Проектирование, пусконаладочные работы и эксплуатацию установок на газовом топливе могут осуществлять только специально обученные работники, имеющие соответствующие удостоверения.

13.5. СХЕМЫ ОБВЯЗОЧНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Выбор схемы обвязочных газопроводов тепловых агрегатов (котлов, промышленных печей, сушил) зависит от тепловой мощности агрегата, устанавливаемых на нем газовых горелок и их

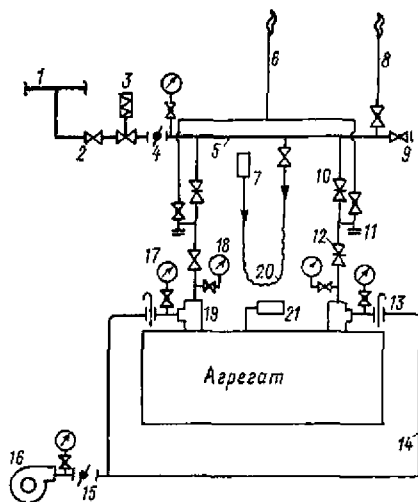


Рис. 13.5. Схема обвязочных газопроводов агрегата, оборудованного горелками с принудительной подачей воздуха и отключающими устройствами — задвижками.

1 — цеховой газопровод; 2 — общая задвижка; 3 — клапан-отсекатель; 4, 15 — поворотные заслонки; 5 — газовый коллектор; 6 — трубопровод безопасности; 7 — переносной запальник; 8 — продувочный газопровод; 9 — край с пробкой для взятия пробы на качество продувки; 10 — контрольная задвижка; 11 — штуцер с пробкой для проверки плотности задвижек; 12 — рабочая задвижка; 13 — шибер; 14 — воздуховод; 16 — дутьевой вентилятор; 17—18 — манометры; 17 — на воздуховоде, 18 — на газопроводе; 19 — горелка с принудительной подачей воздуха; 20 — резиноктаневый шланг; 21 — тягонапормер.

числа, давления газа в системе, вида отключающих устройств (краны или задвижки), а также от типа применяемой системы автоматики регулирования и безопасности. Практика подтверждает, что по надежности отключения (герметичности) краны эффективнее задвижек. Даже небольшая утечка газа сразу же обнаруживается по запаху, так как газ, протекая через сальник или пробку, как правило, попадает в помещение, а не в топку. Неплотность же задвижки приводит к значительным утечкам газа в топку, причем обнаружить эти утечки без специальных приборов практически невозможно. С учетом указанного выше при проектировании и эксплуатации тепловых установок, можно рекомендовать несколько вариантов схем обвязочных газопроводов.

На рис. 13.5 приведена широко применяемая в Ленинграде схема газопроводов для агрегатов, оборудованных горелками с принудительной подачей воздуха и отключающими устройствами — задвижками. Это, пожалуй, наиболее сложная схема. На ответвлении от цехового газопровода к тепловому агрегату установлена общая задвижка, которая служит для отключения подачи газа при остановке агрегата и аварийном положении. Она может быть полностью или закрыта, или открыта. Далее смонтирован клапан-отсекатель, который является исполнительным органом автоматики безопасности. На него от всех датчиков, контролирующих заданные параметры тепловой установки, поступают сигналы. При аварийном отклонении любого из них клапан перекрывает подачу к агрегату. В качестве клапана-отсекателя применяют электромагнитные и пневматические клапаны, задвижки с электроприводом и другие двухпозиционные отключающие устройства, обеспечивающие плотное и быстрое отключение газа.

После клапана-отсекателя на газовом коллекторе агрегата установлена поворотная заслонка, служащая исполнительным

органом автоматики регулирования и изменяющая подачу газа к горелкам в зависимости от потребности в теплоте.

К газовому коллектору установки через штуцер с наконечником при помощи резиноканевого шланга подключен переносной (ручной) запальник для розжига горелок агрегата. На конце коллектора находятся продувочный газопровод и штуцер с краном для проверки качества продувки. Продувочный газопровод, как правило, подключают к общему продувочному газопроводу цеха (котельной). Через эти газопроводы при пуске удаляют из системы газоснабжения воздух, газоздушную смесь и заполняют газопровод газом. Происходит это путем вытеснения их газом. Время окончания продувки определяется по пробе, которую отбирают через штуцер с краном и по которой на газоанализаторе контролируют качество продувки. Если в пробе присутствует не более 1% кислорода, то продувку можно закончить, так как эта смесь не взрывоопасна.

Диаметр продувочного газопровода можно рассчитать по допустимой действительной скорости (20—30 м/с) и расходу газа, который может быть определен по задаваемому времени продувки системы газоснабжения и объему продуваемой системы. Этот объем должен быть увеличен в 10 раз, так как считается, что одна газовая среда полностью заменяется другой при 10-кратном изменении объема.

Схема приведена для варианта с двумя горелками. К каждой горелке подходит ответвление газопровода, на котором установлены две задвижки: первая по ходу газа — контрольная, вторая — рабочая. Контрольная работает в режиме «Открыто» или «Закрыто». Рабочая обеспечивает ручной розжиг, вывод горелки на рабочий режим и регулирование расхода газа при неработающей автоматике или при ее отсутствии.

Газопровод между контрольной и рабочей задвижками соединен с трубопроводом безопасности, который, как и продувочный газопровод, выведен наружу выше карниза крыши на 1 м, и конец его загнут для предохранения от попадания атмосферных осадков. Трубопровод безопасности предназначен для предотвращения попадания горючего газа в топку при неработающем агрегате, при пуске и розжиге горелок. Кран на трубопроводе безопасности при неработающей горелке всегда открыт. Если имеют место небольшие утечки газа через арматуру, эти утечки отводятся в атмосферу и не попадают через горелку в топку. На трубопроводе безопасности имеется штуцер, к которому может подключаться переносной манометр, с помощью последнего можно проконтролировать, плотно ли закрыты контрольная и рабочая задвижки, а также определить время их ремонта или замены.

Воздух в горелки подается центробежным дутьевым вентилятором по воздуховодам. На общем воздуховоде устанавливают поворотную заслонку, являющуюся исполнительным органом автоматики горения.

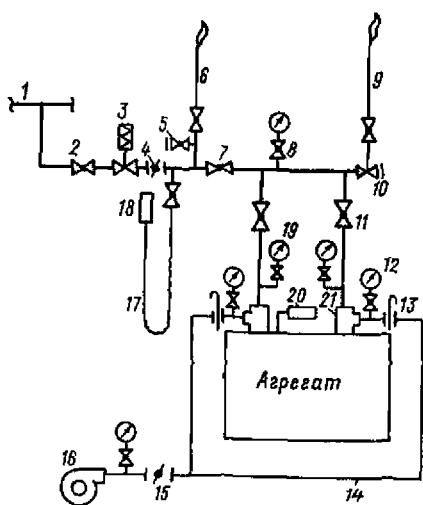


Рис. 13.6. Схема обвязочных газопроводов среднего давления агрегата, оборудованного горелками с принудительной подачей воздуха и отключающими устройствами — кранами.

1 — цеховой газопровод; 2 — общий кран; 3 — клапан-отсекатель; 4, 15 — поворотные заслонки; 5 — кран с пробкой для взятия пробы на качество продувки; 6 — продувочный газопровод; 7 — контрольный кран; 8 — газовый коллектор; 9 — трубопровод безопасности; 10 — штуцер с пробкой для проверки плотности кранов; 11 — рабочий кран; 12, 19 — манометры на газопроводе; 13 — шибер; 14 — воздуховод; 16 — дутьевой вентилятор; 17 — резиноктаневый шланг; 18 — переносной запальник; 20 — тягонапормер; 21 — газовая горелка с принудительной подачей воздуха.

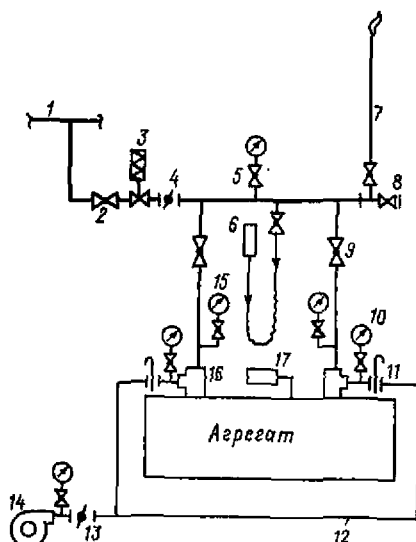


Рис. 13.7. Схема обвязочных газопроводов низкого давления агрегата, оборудованного горелками с принудительной подачей воздуха и отключающими устройствами — кранами.

1 — цеховой газопровод; 2 — общий кран; 3 — клапан-отсекатель; 4, 13 — поворотная заслонка; 5 — газовый коллектор; 6 — переносной запальник; 7 — продувочный газопровод; 8 — кран с пробкой для взятия пробы на качество продувки; 9 — рабочий кран; 10 — манометр на воздуховоде; 11 — шибер; 12 — воздуховод; 14 — дутьевой вентилятор; 15 — манометр на газопроводе; 16 — горелка с принудительной подачей воздуха; 17 — тягонапормер.

Непосредственно перед горелкой имеется шибер (заслонка), который предназначен для регулирования подачи воздуха при розжиге горелки и отключения неработающей горелки. Перед каждой горелкой для оперативного контроля давления газа и воздуха установлены манометры. Давление (разрежение) в топке измеряют тягонапормером.

При пуске газифицированного теплового агрегата после вентиляции топки и газоходов открывается общая задвижка, блокируется на время розжига и открывается вручную клапан-отсекатель, открывается кран на продувочном газопроводе и начинается продувка системы газопроводов. После окончания продувки зажигают переносной запальник и вводят его в топку (к месту выхода газа из горелки). Если пламя запальника устойчиво, кран на трубопроводе безопасности горелки закрывается, открывается контрольная задвижка и приоткрывается рабочая. После воспла-

менения вытекающего из горелки газа приоткрывают шибер и подают в горелку воздух.

Последовательность операций при розжиге, связанную с наличием индивидуальных или групповых вентиляторов, дымососов и особенностями газогорелочных устройств, определяет эксплуатационная инструкция.

На основании опыта проектирования и эксплуатации для газопроводов среднего давления диаметром до 50 мм, имеющих в качестве отключающих устройств краны, можно рекомендовать упрощенную схему обвязочных газопроводов (рис. 13.6). В этой схеме перед каждой горелкой установлено по одному крану (рабочему), а контрольный кран и трубопровод безопасности предназначены для аппарата в целом.

Для обвязочных газопроводов агрегата, работающего на низком давлении газа и использующего в качестве отключающих устройств краны, можно рекомендовать схему, показанную на рис. 13.7. По сравнению с рассмотренными выше, эта схема значительно упрощена: контрольный кран и трубопровод безопасности отсутствуют. Для таких агрегатов, как ресторанные плиты, пищеварочные котлы и т. п., схема упрощается еще и за счет изъятия продувочных газопроводов.

При применении инжекционных или диффузионных горелок, т. е. однопроводных, схема обвязочных коммуникаций агрегата значительно упрощается: отпадает необходимость в воздуховодах, шиберах, манометрах на воздуховодах и других устройствах и приборах.

Рассмотренные варианты схем обвязочных газопроводов тепловых агрегатов дают общие принципы построения надежных и безопасных систем газоснабжения тепловых установок. Они не могут охватить все возможные варианты, которые многочисленны и различны ввиду многообразия типов агрегатов. Для каждого агрегата в зависимости от типа газогорелочных устройств, вида применяемой автоматики и количества зон регулирования, типа отключающих устройств и давления газа должны разрабатываться свои схемы.

13.6. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ ВЗРЫВНЫЕ КЛАПАНЫ

Максимальное давление, развивающееся при взрыве газоздушной смеси в замкнутых объемах, достигает в зависимости от вида газа (табл. 13.1) 0,7—1,0 МПа, а большинство конструктивных элементов ограждающих конструкций разрушается при давлении до 0,05 МПа. Так, кирпичные стены толщиной 51 см разрушаются при давлении 0,05, толщиной 38 см — 0,02—0,015 МПа, а остекленные оконные проемы — при 0,002—0,02 МПа. Максимальное давление при взрыве $p_{\text{взр}}$, МПа,

$$p_{\text{взр}} = p_0 (1 + \beta t_{\text{к}}) n/m, \quad (13.2)$$

Основные характеристики стехиометрических уравнений горения, пределов

воспламеняемости горючих газов и максимальных давлений взрыва

Газ	Расход на 1 м ³ газа, м ³		Объем продуктов сгорания на 1 м ³ сгоревшего газа, м ³			
	воздуха	кислорода	CO ₂	H ₂ O	N ₂	Всего
Водород	2,38	0,5	—	1,0	1,88	2,88
Оксид углерода	2,38	0,5	1,0	—	1,88	2,88
Метан	9,52	2,0	1,0	2,0	7,52	10,52
Этан	16,66	3,5	2,0	3,0	13,16	18,16
Пропан	23,80	5,0	3,0	4,0	18,80	25,80
Бутан	30,94	6,5	4,0	5,0	24,44	33,44
Ацетилен	11,90	2,5	2,0	1,0	9,40	12,40

Содержание газа в газовой смеси, об. %				Максимальное давление взрыва, МПа	Коэффициент избытка воздуха при пределах воспламеняемости	
при пределах воспламеняемости		при стехиометрическом составе смеси	при составе, дающем максимальное давление взрыва		нижнем	верхнем
нижнем	верхнем					
4,0	75,0	29,50	32,3	0,74	10,10	0,14
12,5	74,0	29,50	—	0,78	2,9	0,15
5,0	15,0	9,5	9,8	0,72	1,99	0,59
3,0	12,5	5,68	—	0,82	1,93	0,42
2,2	9,5	4,04	4,6	0,86	1,86	0,40
1,9	8,5	3,14	3,6	0,86	1,66	0,35
2,5	81,0	7,75	14,5	1,03	3,30	0,02

где p_0 — начальное абсолютное давление, МПа; β — коэффициент объемного расширения, равный $1/273$; t_n — температура продуктов сгорания, которую можно приравнять к калориметрической температуре горения, так как процесс горения при взрыве совершается мгновенно и в результате этого потерн теплоты практически отсутствуют; n — число молекул продуктов сгорания в стехиометрических уравнениях горения; m — число молекул исходных веществ (горючего и окислителя) в стехиометрических уравнениях горения.

Образование взрывоопасных газоздушных смесей в топках, газоходах и боровах установок может иметь место при утечках газа через арматуру, при погасании пламени горелок в процессе эксплуатации и т. п. Даже небольшие утечки газа могут образовывать взрывоопасные смеси, так как объемы топок и газоходов сравнительно невелики.

Взрыв газоздушной смеси в топках и газоходах приводит к мгновенному адиабатическому расширению продуктов горения и возрастанию давления, которое может разрушить ограждающие конструкции тепловой установки.

Для предотвращения разрушения ограждающих конструкций топок и газоходов тепловых установок, при возможных взрывах газоздушных смесей в них необходимо устанавливать предохранительные взрывные клапаны, которые должны срабатывать при давлениях, меньших чем разрушающие конструкции установок давления. Эти клапаны обеспечивают своевременный сброс давления продуктов сгорания из камеры, где происходит взрыв.

Применяют различные конструкции предохранительных взрывных клапанов. Наибольшее распространение получили клапаны разрывного, откидного и сбросного типов (рис. 13.8). Их устанавливают на перекрытиях и стенках топки, газоходов и боронов. Место установки клапанов целесообразно увязывать с зонами на-

и более вероятного скопления утечек газа, зонами образования газовых мешков, а также располагать их так, чтобы при срабатывании взрывной волной не поражаемый обслуживающий персонал. Если же последнее условие выполнить не удастся, необходимо после клапана иметь защитный короб или козырек, прочно прикрепленный к агрегату и отводящий взрывной выхлоп в сторону. Форма взрывных клапанов должна быть квадратной или круглой, так как в этом случае для разрыва мембраны требуется меньшее давление.

Взрывной клапан (рис. 13.8, а) имеет мембрану из листового асбеста толщиной 2—3 мм, которая при взрыве в топке разрушается. Через образовавшее отверстие продукты сгорания сбрасываются в окружающую среду и давление в топке и газоходах быстро падает. Асбестовый лист такой толщины непрочен и не выдерживает динамической нагрузки, связанной с изменением разрежения и пульсации в камере. Для повышения долговечности перед мембраной со стороны топки монтируют металлическую сетку с ячейками 40×40 или 50×50 мм. Асбестовый лист и сетку зажимают фланцами, которые крепят к металлическому коробу, прочно смонтированному в обмуровку теплового агрегата. Необходимо также учитывать, что асбестовый лист обладает определенной термостойкостью: он может длительно работать при температуре до 500, а кратковременно 700 °С. Поэтому предохранительные взрывные клапаны должны устанавливаться так, чтобы асбестовая мембрана не подвергалась интенсивному нагреву от факела и раскаленной кладки. Клапаны взрывного типа просты и дешевы. Однако в процессе эксплуатации асбестовый лист часто разрушается от воздействия тепловых потоков топки. Правда, замена асбестовой мембраны не представляет затруднений, так как в самой конструкции предохранительного клапана это предусмотрено.

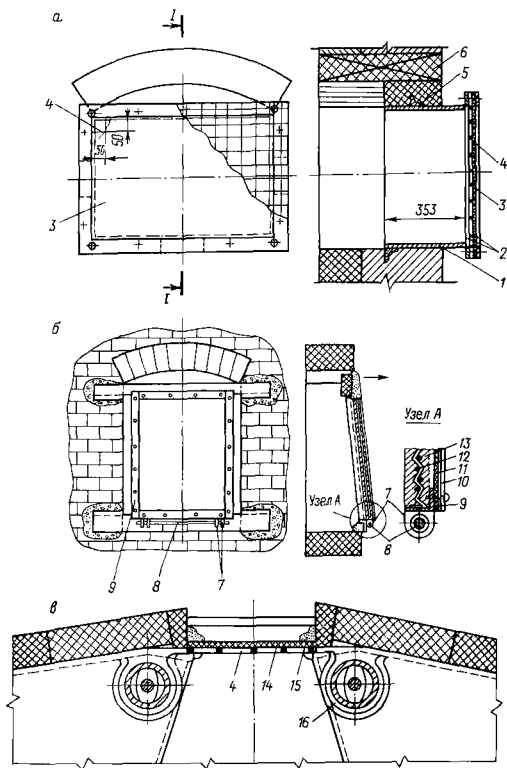


Рис. 13.8. Предохранительные взрывные клапаны.

a — разрывной; *б* — откидной; *в* — сбросной; 1 — коров; 2 — фланцы; 3 — асбестовая разрушающая мембрана ($\delta = 2+3$ мм); 4 — металлическая сетка из проволоки $d = 1$ мм с ячейками 50×50 мм; 5 — уголок; 6 — свод; 7 — ушко шарнира; 8 — ось; 9 — рамка; 10 — стальной лист; 11 — асбестовый картон; 12 — армирующая стальная сетка; 13 — теплоизоляция из огнеупорной глины; 14 — асбестовая мембрана сбросная ($\delta = 8+10$ мм); 15 — обмазка из огнеупорного состава по периметру мембраны; 16 — секция котла.

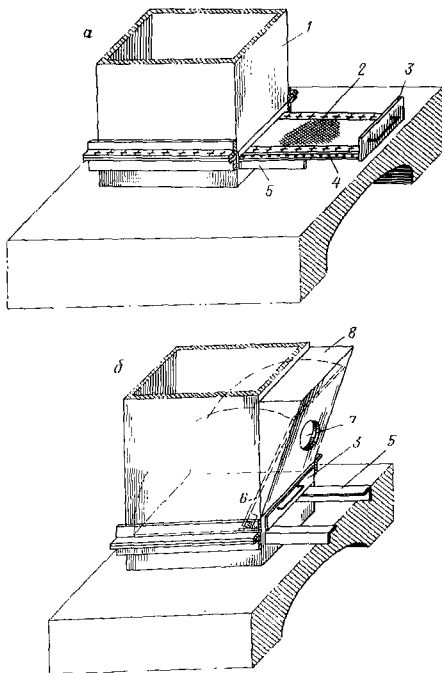


Рис. 13.9. Предохранительные взрывные кассетные клапаны.

a — сбросной; *б* — откидной; 1 — защитный кожух; 2 — свободно лежащая плита; 3 — выдвигная рама; 4 — опорная металлическая сетка под плитой; 5 — направляющие уголки; 6 — откидная плита на петлях; 7 — отверстие для наблюдения за клапаном и возвращения его в рабочее положение; 8 — специальный карман.

Откидные клапаны (рис. 13.8, б) могут устанавливаться на вертикальных и горизонтальных стенках топок, газопроводов и боровов. При взрыве в топке клапан открывается и освобождает проем для выброса продуктов сгорания. Со стороны топки для предохранения от перегрева клапан футеруют раствором из огнеупорной глины с асбестом по армирующей металлической сетке. В закрытом состоянии откидной клапан герметизируется по периметру огнеупорной замазкой.

Сбросные клапаны (рис. 13.8, в) представляют собой панель, укладываемую горизонтально и отбрасываемую при взрыве. В зависимости от места установки и температурных условий сбросная панель может быть изготовлена либо из асбестового листа толщиной 8—10 мм, укладываемого на металлическую сетку и уплотненного по периметру огнеупорной глиной, либо из смеси огнеупорной глины с асбестовой крошкой. Эта панель армирована металлической сеткой, применяется при температуре 500 °С, устанавливается в газоходах, боровых и топке.

На рис. 13.9 показан предохранительный взрывной клапан, который монтируют на горизонтальных участках ограждающих конструкций. Даны два варианта клапана: а) сбросной с асбестовым листом ($\delta = 10$ мм) или с асбестоглиняной плитой, свободно лежащими на металлической решетке в выдвигаемой cassette; б) откидной в защитном кожухе и со специальным карманом для отбрасывания клапана при взрыве.

Расчет и подбор предохранительных взрывных клапанов должен выполняться в соответствии с действующим СНиП 2.04.08—87 (п. 6.57), «Правила безопасности в газовом хозяйстве» и «Правилами устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов». Ниже приведены некоторые рекомендации по определению площади поверхности рабочей мембраны клапанов:

— котлы тепло (паро) производительностью до 10 т/ч. На 1 м³ внутреннего объема топки, газоходов и боровов не менее 0,025 м² клапана. Минимальная площадь поверхности клапана 0,15 м²;

— котлы тепло (паро) производительностью от 10 до 60 т/ч. Над топкой должны быть установлены взрывные клапаны общей площадью поверхности не менее 0,2 м², на газоходах — не менее двух клапанов с минимальной суммарной площадью поверхности 0,4 м².

Необходимость установки взрывных клапанов на промышленных печах и дымоходах от них, а также места установки взрывных клапанов и их число следует определять нормами технологического проектирования.

Взрывные предохранительные клапаны допускается не устанавливать в обмуровке одноходовых по дымовым газам котлов, для вертикальных цилиндрических котлов, котлов типа локомотивных, а также на дымоходах перед дымососами.

13.7. ОСОБЕННОСТИ СЖИГАНИЯ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА В КОТЛАХ

Производство пара и горячей воды осуществляется в котлах, номенклатура которых многообразна и зависит от тепловой мощности, параметров теплоносителя, вида используемого топлива. Котлы различают по следующим признакам:

1) назначение — энергетические, отопительные, производственно-отопительные;

- 2) материал — чугуны и стальные;
- 3) характер теплоносителя — водогрейные и паровые;
- 4) устройство топок — слоевые (для твердого топлива) и камерные (для жидкого и газового топлива);
- 5) аэродинамический режим топки — с разрежением, с наддувом;
- 6) перемещение газов и воды — газотрубные (жаротрубные и с дымогарными трубами), комбинированные и водотрубные;
- 7) конструктивные особенности — секционные, цилиндрические, вертикально-цилиндрические, горизонтально- и вертикально-водотрубные; вертикально-прямоугольные;
- 8) движение водяного или пароводяного потока внутри котла — с естественной, принудительной и комбинированной циркуляцией и прямоточные;
- 9) транспортабельность — стационарные (на неподвижном фундаменте) и передвижные (с ходовой частью).

Для котлов всех типов наиболее эффективным видом топлива является природный газ, применение которого уменьшает загрязнение воздушного бассейна и, как правило, повышает КПД и культуру производства. Замена твердого и жидкого топлива газовым — одна из наиболее эффективных мер, обеспечивающих резкое сокращение вредных выбросов в атмосферу, таких как сажа, сернистые соединения, оксиды углерода и азота, канцерогенные углеводы и другие вещества.

Правильно рассчитанная топка котла должна обеспечивать максимальную теплоотдачу тепловоспринимающим поверхностям (экранам, секциям, пучкам труб), а также такие уровень и распределение температуры в топке и газоходах, которые способствовали бы полному сгоранию газового топлива и равномерному (или заданному) распределению тепловых потоков.

Выбор схемы газоснабжения котла во многом зависит от того, необходимо ли предусматривать быстрый перевод котла на сжигание резервного вида топлива или же его работу только на основном — газовом. Как свидетельствует опыт, отопительные котлы малой мощности (чугунные секционные, вертикальные, жаротрубные и др.), потребляющие относительно небольшое количество газа, могут переоборудоваться для сжигания газа без учета быстрого перевода котла на резервное топливо. Котлы же средней и большой мощности должны быть оборудованы такими системами газового оборудования, которые обеспечивают в случае необходимости перевод их на резервный вид топлива (твердое или жидкое).

Правильный выбор типа и конструкции газогорелочных устройств, их число и место установки в топке определяют экономичность, безопасность и долговечность работы котлоагрегата, а также количество выбросов в атмосферу с продуктами сгорания вредных веществ.

При сжигании газового топлива в топке котла должно быть исключено ударное воздействие факелов горелок на поверхности нагрева, а размер факела при любых режимах работы котла должен быть меньше размеров топки. Соприкосновение газового факела с поверхностями нагрева (экранами, секциями) приводит к его охлаждению, обрыву реакции горения, химической неполноте сгорания, вплоть до выделения сажистых частиц. В то же время перегрев поверхностей нагрева в месте соприкосновения их с факелом может привести к образованию в них трещин и разрывов. Кирпичная кладка обмуровки также не выдерживает длительного воздействия пламени, она оплавляется и разрушается. При переводе котла на газовое топливо следует обеспечивать уплотнение обмуровки топки и газоходов, чистоту внутренних и наружных поверхностей нагрева, качество питательной и котловой воды. Необходимо также учитывать, что при работе на газовом топливе, в отличие от работы на твердом или жидком топливе, теплопроводимость некоторых котлов может повыситься на 20—30, а иногда даже и на 50%. При работе на газовом топливе имеется возможность устанавливать контактные экономайзеры, которые могут дать до 12% экономии природного газа за счет разницы между высшей и низшей теплотой сгорания топлива.

Газовые горелки при работе не должны создавать сильного шума, постоянное наличие которого вредно отражается на здоровье обслуживающего персонала, а также не должны вызывать вибрацию котла. Горелки должны работать устойчиво во всем диапазоне изменения нагрузки котла без отрыва и проскока пламени и должны иметь устройство для надежного их розжига.

Для предохранения котлов от разрушения при возможном взрыве газозооудной смеси топки и газоходы их должны быть оборудованы предохранительными взрывными клапанами, а также автоматикой регулирования и безопасности. Автоматика регулирования в паровых котлах должна обеспечивать поддержание заданного давления пара в барабане, уровень воды в котле, разрежение в топке и постоянство соотношения газ—воздух, а в водогрейных котлах — поддержание необходимой температуры горячей воды на выходе из котла по температурному отопительному графику (в зависимости от температуры наружного воздуха). Автоматика безопасности должна контролировать параметры работы котла и при аварийном отклонении их от допустимых значений быстро отключать подачу газа, что необходимо выполнять в следующих случаях: при понижении или повышении сверх допустимых значений давления газа; при погасании пламени; при повышении температуры воды или давления пара в барабане котла или в сборном распределительном коллекторе выше допустимых; при прекращении подачи электроэнергии; при понижении давления воздуха перед горелками ниже допустимого уровня; при недостаточном разрежении в топке котла; при неисправности самой автоматики безопасности.

13.8. ГАЗОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СЕКЦИОННЫХ КОТЛОВ

Чугунные и стальные секционные котлы применяют для теплоснабжения (водяного отопления) и горячего водоснабжения. Их устанавливают в домовых встроенных или отдельно стоящих котельных. В водогрейном исполнении котлы (КВ) позволяют получить горячую воду температурой до 95 °С при рабочем давлении в системе 0,6 МПа; допустим нагрев воды до 115 °С (при рабочем давлении в системе не ниже 0,35 МПа). В паровом исполнении котлы (КП) оборудованы дополнительно паросборниками (сухопарниками) и обеспечивают производство пара давлением до 0,07 МПа.

Секции котлов разных типов характеризуются различными конфигурацией, числом ребер, формой просветов. Одни котлы собирают из секций трех (средних, передних или лобовых и задних) или двух типов (средних и одинаковой передней и задней), другие — из одинаковых секций, а передняя и задняя секции могут быть заменены обмуровкой или перевернутыми средними секциями. Котлы бывают односторонние (если состоят из одного ряда секций) и двухсторонние или шатровые. Последние собирают из двух пакетов секций (левой и правой), которые устанавливают в виде шатра на кирпичной кладке. Секции котлов соединяют в единую систему при помощи конических нишпелей и стяжных горизонтальных болтов.

Большинство секционных котлов предназначено для сжигания сортированных (грохоченых) и рядовых антрацитов и каменных углей. Поскольку котельные часто не получают твердого топлива необходимой кондиции и обслуживает котлы недостаточно квалифицированный персонал, реальный КПД таких котлов порой не достигает и 70%. Перевод на газовое топливо, как правило, позволяет повысить КПД до 80% и более (табл. 13.2). Следует учитывать, что для паровых котлов номинальная тепловая мощность по сравнению с водогрейными должна быть снижена на 15%.

Малые секционные котлы (Стреля, Стрелеца, КЧМ, КЧММ) с площадью поверхности нагрева до 20 м² переоборудуют для перевода на газовое топливо (рис. 13.10) путем установки в топке многофакельных инжекционных горелок низкого давления ($\alpha_1 = 0,4 \div 0,6$) непосредственно на колосниковой решетке на всю длину топки. Между горелками оставляют зазоры, через которые за счет разрежения в топке к газовым факелам поступает вторичный воздух, обеспечивающий полное сгорание газа ($\alpha_1 + \alpha_2 = 1,10 \div 1,20$). Этот воздух одновременно охлаждает коллектор горелки. Число горелок и их тепловую мощность определяют по необходимому расходу газа на котел.

Для монтажа горелок с лобовой секции котла снимают существующую гарнитуру и устанавливают новый фронтальный лист с устройствами для наблюдения за процессом горения и для розжига горелок. Горелки крепят к этому фронтальному листу. Подачу

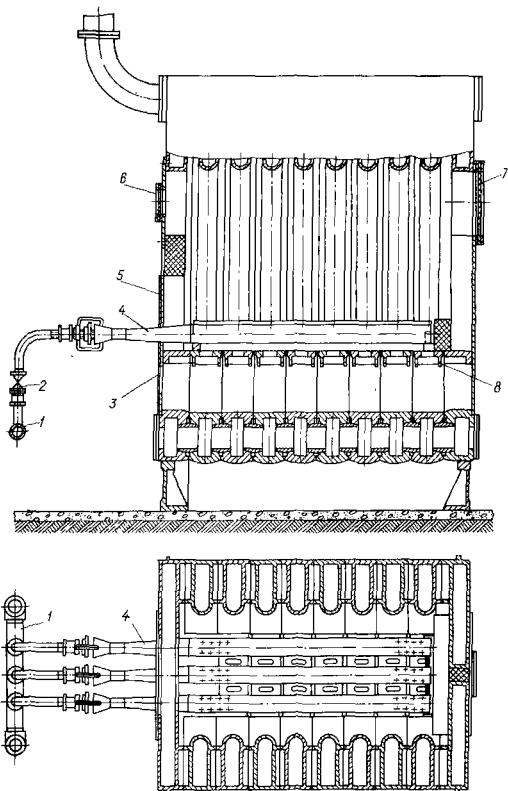


Рис. 13.10. Установка на котле Стреля многофакельных инжекционных горелок с $\alpha_1 < 1$.

1 — газовый коллектор; 2 — кран; 3 — отверстие для подачи вторичного воздуха с подвижными шторками; 4 — многофакельная инжекционная горелка; 5 — фронтное устройство; 6 — смотровое окно; 7 — предохранительный взрывной клапан; 8 — колосниковая решетка.

Основные технические характеристики секционных отопительных котлов

Котел	Число секций	Площадь поверхности нагрева, м ²			Габаритные размеры, м			Удельный теплосъем, кВт/м ²	Расход газа, м ³ /ч
		котла	средней секции	передней (задней) секции	Длина	Ширина	Высота		
Стрелеца (большая модель)	8	11	1,5	1,0	1,08	0,90	1,62	8	12
	10	14			1,33				15
	12	17			1,59				18
Стреля (большая модель)	8	15,5	2,2	1,15	0,97	0,90	1,70	8	17
	10	19,9			1,22				22
	12	24,3			1,47				27
НРч	22	25	1,13	1,21	1,85	2,38	2,63	10,0	38
	30	34			2,41				50
	38	43			2,94				66
«Универсал»	12	12,4	1,1	0,9	1,22	1,49	1,81	9	16
	20	21,2			1,72				28
	28	30,0			2,22				38
«Универсал-3»	14	18,2	1,4	1,0	0,85	1,50	1,86	9	24
	22	29,4		(1,1)	1,35				39
	30	40,6			1,85				54
«Универсал-4»	34	46,2			2,10				61
	14	21,4	1,7	1,0	0,85	1,55	1,88	9	28
	22	35,0		(1,2)	1,35				46
«Универсал-5»	30	48,6			1,85				64
	34	55,4			2,10				73
	14	15,2	1,12	0,9	0,98	2,06	1,91	14	25
«Универсал-6»	22	24,2		(1,1)	1,24				41
	30	33,1			1,74				55
	18	19,8	1,1	1,1	1,12	1,97	2,03	12	33
«Энергия-3»	26	28,6			1,62				50
	34	37,4			2,12				62
	18	36,8	2,3	1,15	1,82	2,95	2,63	10	52
«Энергия-6»	26	55,2			2,34				78
	34	73,6			2,88				104
	20	27,9	1,55	0,77	1,69	2,46	2,39	12	46
МГ-2 (Старый Оскол)	28	40,3			2,22				68
	36	52,7			2,75				87
	18	34,2	1,9	—	1,97	2,06	2,00	10	48
МГ-2 (Киев)	26	49,4			2,53				70
	34	64,6			3,09				90
	18	35,2	1,96	—	1,76	2,13	2,24	11,5	52
МГ-2Т	26	51,0			2,38				75
	34	66,6			2,88				98
	16	38,4	2,4	—	1,87	2,63	2,48	11,5	55
«Искитим-1»	22	52,8			2,40				77
	30	72,0			2,94				102
	22	35,0	1,73	0,9	1,88	2,66	2,63	11,5	51
«Отопитель-1»	30	48,5			2,41				70
	38	62,5			2,94				91
	20	32,0	1,78	0,89	1,78	2,71	2,61	12	54
	28	46,0			2,35				79
	36	60,2			2,91				103

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАВЛ. 13.2

Котел	Число секций	Площадь поверхности нагрева, м ²			Габаритные размеры, м			Удельный теплосъем, кВт/м ²	Расход газа, м ³ /ч
		котла	средней секции	передней (задней) секции	Длина	Ширина	Высота		
«Огонь»	8	11,2	1,4	—	1,25	1,82	1,97	10	16
	16	22,4			1,75				31
	24	33,6			2,25				47
«Пламя»	24	37	1,5	1,75	1,81	2,06	2,60	10	52
	32	49			2,34				70
	40	61			2,87				87
Ча-1	20	46,8	2,6	1,3	1,65	3,09	2,56	12	80
	28	67,6			2,21				112
	36	88,4			2,77				150
АВ-2	20	27,0	1,44	0,94	1,59	2,04	2,13	12	45
	28	38,5		(1,02)	2,13				65
	36	50,0			2,68				84
«Нерис-С»	14	9,0	0,75	0,375	0,92	0,90	1,33	9	12
	22	15,0			1,44				20
	30	21,0			1,96				27
«Нерис-Д»	20	28,0	1,5	1,0	1,47	1,49	1,68	10	40
	28	40,0			2,04				58
	36	52,0			2,60				74
Э5-Д1	22	34,1	1,56	1,5	1,76	2,47	2,30	12	57
	30	46,6			2,32				79
	38	59,1			2,50				98
Э5-Д2	22	34,1	1,56	1,5	1,80	2,48	2,30	12	57
	30	46,6			2,35				79
	38	59,1			2,85				98
«Тула-1»	16	43,2	2,7	—	1,69	2,85	2,28	10	59
	22	59,4			2,21				82
	30	81,0			2,74				111
«Тула-3»	18	28,1	1,56	—	1,71	2,31	2,36	12	49
	26	40,6			2,25				70
	34	55,0			2,8				92
КЧ-2	22	24,2	1,1	1,1	1,52	2,07	2,10	12	40
	32	35,2			2,06				58
	40	44,0			2,60				72
КЧ-3	20	29,6	1,55	1,3	1,52	2,46	2,39	12	48
	28	42,0			2,06				68
	36	54,4			2,60				88
«Минск-1»	18	20,0	1,25	0,625	1,82	2,32	2,76	16	44
	26	30,0			2,36				64
	34	40,0			2,89				94
«Факел»	20	36	1,8	—	2,30	0,91	2,00	22	108

Примечания. 1. Теплота сгорания природного газа 35,6 МДж/м³. 2. КПД котлов Стреля и Стреляля 75, «Минск-1» 85, «Факел» 87, остальных котлов 83%. 3. Котлы «Универсал-5М», «Универсал-6М», «Энергия-3М», не включенные в таблицу, имеют такие же площади поверхности нагрева, как и аналогичные котлы без индекса М.

вторичного воздуха регулируют с помощью заслонки на поддувальном отверстии шибера (в газоходе) или в результате разрежения в топке. Такое переоборудование котлов обеспечивает равномерный обогрев секций котла, исключает соприкосновение пламени с холодными поверхностями нагрева, имеет достаточный диапазон изменения нагрузки, способствует полному сжиганию газа с минимальной концентрацией вредных веществ в продуктах сгорания и работает практически бесшумно.

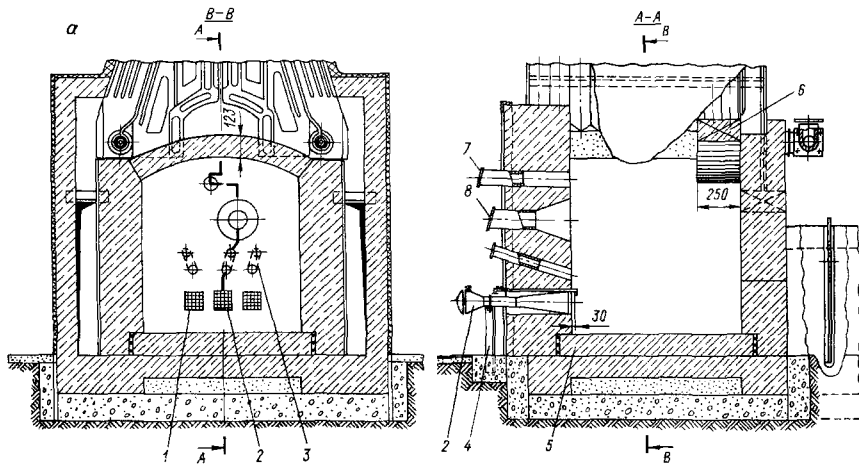
Варианты применяемого газового оборудования чугунных секционных котлов с площадью поверхности нагрева от 20 до 90 м² приведены на рис. 13.11. Для сжигания газа среднего давления на котлы устанавливают горелки с $\alpha_1 > 1$ типа ИГК (рис. 13.11, а). Мосгазниипроект рекомендует горелки двух модификаций: ИГК-1-15 (старое обозначение ИГК-25М) и ИГК-1-35 (ИГК-60М), которые устанавливают в поддувальной части топки котла с фронта. Колосниковую решетку демонтируют. Сжигание газа осуществляют в керамической топке, обеспечивающей хорошее равномерное распределение тепловых потоков на секционные поверхности нагрева котла.

При необходимости иметь резервное твердое топливо колосниковая решетка котла сохраняется. Для предохранения от пережога при работе на газовом топливе и недопущения неорганизованной подачи воздуха колосниковую решетку покрывают двумя слоями листового асбеста толщиной 6—8 мм и поверх их кладкой из ряда огнеупорного кирпича. Инжекционные горелки среднего давления с $\alpha_1 > 1$ также устанавливают с фронта котла, но над защищенной колосниковой решеткой. Однако при таком переоборудовании, когда факел развивается около поверхностей секций, имеет место неравномерное распределение тепловых потоков на поверхности нагрева, что приводит к перегреву отдельных секций котла, особенно при отсутствии предварительной химической водоочистки (химводоочистки) питательной воды.

Переоборудование секционных котлов на применение инжекционных горелок с $\alpha_1 > 1$ имеет ряд преимуществ: отпадает необходимость в установке дутьевого вентилятора и воздухопроводов, проще автоматика, используют газопроводы меньших диаметров.

Опытно-промышленная эксплуатация секционных котлов с установкой с фронта блочных инжекционных горелок типа БИГ обеспечивает дополнительные преимущества: малогабаритность, простоту розжига и наблюдения за процессом горения, простоту обвязки газопроводов.

При подаче в котельную газа низкого давления по рекомендации Мосгазниипроект прибегают к переоборудованию на газовое топливо котлов, устанавливая с фронта горелки типа ГГВ с принудительной подачей воздуха (рис. 13.11, б). Колосниковую решетку демонтируют, горелки устанавливают на уровне поддувального отверстия. Такая компоновка горелки в топке обеспе-



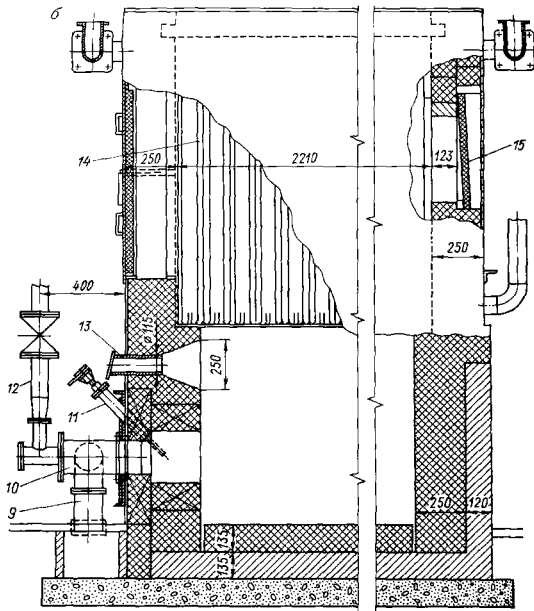


Рис. 13.11. Газовое оборудование чугунных секционных котлов.

а — установка горелок типа ИГК в топке котла «Универсал-6»; б — установка горелки типа ГГВ на котле «Тула-3»; 1 — горелка ИГК-1-25 (ИГК-25М); 2 — горелка ИГК-1-35 (ИГК-60М); 3 — запальное отверстие; 4 — подставка под горелки; 5 — под из огнеупорного кирпича; 6 — выравнивающий свод из огнеупорного кирпича; 7 — камера контроля разрежения; 8 — смотровое окно; 9 — воздуховод; 10 — горелка типа ГГВ; 11 — контрольный электрод; 12 — газопровод; 13 — предохранительный паровой клапан. При установке только ИГК-25М $H = 320$ и $l = 275$ мм; при установке ИГК-60М или совместной ИГК-25М и ИГК-60М $H = 335$ и $l = 625$ мм.

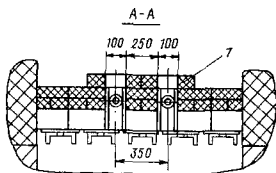
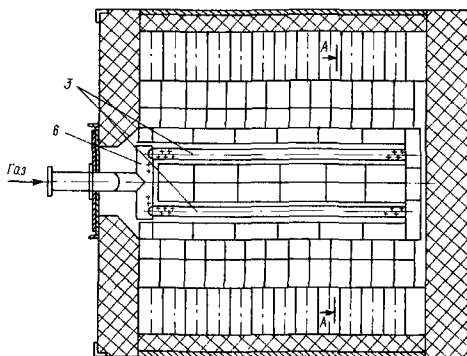
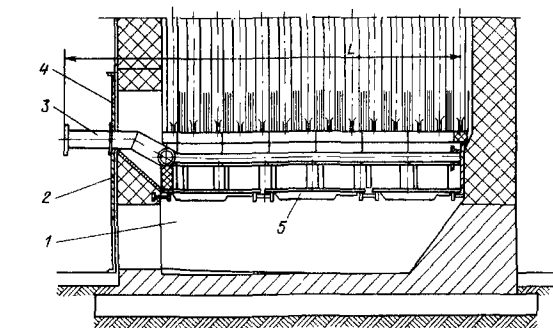


Рис. 13.12. Установка двухтрубной горизонтальной щелевой диффузионной (подовой) горелки в топке секционного чугунного котла.

1 — поддувальное пространство; 2 — фронтальный лист; 3 — горелка; 4 — смотровое окно; 5 — колосниковая решетка; 6 — поперечный патрубок; 7 — кладка из огнеупорного кирпича.

чивает равномерное распределение тепловых потоков и длительную безаварийную работу котла.

Для быстрого приема в короткие сроки больших количеств газа рядом проектных организаций [Укркипринжпроект (ныне Украининжпроект), Ленгипроинжпроект и др.] были разработаны простые и безопасные решения по переоборудованию секционных котлов. Так появились горизонтально-щелевые диффузионные (подовые без дутья) и форкамерные горелки (рис. 13.12). Эти горелки могут быть изготовлены даже в небольшой механической мастерской. Подробное описание этих горелок и их технические характеристики приведены в гл. 12. Следует отметить, что по технико-экономическим показателям (повышенный коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,2 \div 1,4$; длинный факел) эти горелки не рекомендуются к широкому использованию. Однако, учитывая, что большое число секционных котлов переоборудовано на сжигание газа, и на них установлены не прошедшие государственных испытаний подовые и форкамерные горелки, в соответствии с разъяснениями ВНПО Союзпромгаз их эксплуатация на действующих котлах допускается, поэтому авторы сочли целесообразным привести в книге особенности этих горелок и требования к ним.

Подача воздуха в огневую щель подовой горелки осуществляется за счет разрежения в топке, которое должно быть не ниже 20 Па при ручном управлении и 30 Па при автоматическом регулировании с установкой пропорционирующих клапанов. Коллектор газовой горелки должен быть установлен строго по оси огневой щели. Даже небольшая деформация (искривление) перфорированного коллектора, перемещение его к одной из сторон щели или же засорение отверстий колосниковой решетки приводят к неравномерной подаче воздуха, увеличению длины факела и образованию коптящих языков пламени, приводящих к неполноте сгорания и образованию сажи.

При снижении давления газа перед горелкой (ниже 500 Па) ухудшается смесеобразование и появляются продукты неполного сгорания. Для устранения неполноты сгорания необходимо значительно увеличивать подачу воздуха. Поэтому для повышения диапазона изменения тепловой мощности горелки целесообразно принимать номинальное давление газа перед ней не менее 2000 Па.

Форкамерные горелки обеспечивают частичную подачу необходимого для горения воздуха за счет инжекционной способности газовых струй, вытекающих в каналы (смесители) специальной кладки из огнеупорного кирпича (см. рис. 12.62). При строгом совмещении осей сопел горелки с осями каналов высота пламени над кладкой 0,8—1,2 м. Остальной воздух в зону горения через эти же каналы поступает за счет разрежения в топке (аналогично проходит подача газа подовым горелкам без дутья). Смещение сопел приводит к уменьшению инжекционной способности горелки и к увеличению длины факела.

ТАБЛИЦА

**Основные технические характеристики котлов ДКВР
при работе на газовом топливе**

Котел	Паропроизводительность, т/ч	Расход природного газа, м ³ /ч	КПД	Площадь поверхности нагрева, м ²		
				общая	радиационная	конвективная
ДКВР-2,5-13	3,75	280	90,1	74,7	16,7	58,0
ДКВР-4-13	6,00	446	90,6	120,0	21,0	99,0
ДКВР-6,5-13	9,75	721	91,8	198,0	27,0	171,0
ДКВР-10-13	15,00	1105	91,3	251,6	9,6	202,0
ДКВР-20-13	28,00	2060	92,1	360,7	59,7	301,0

13.9. ГАЗОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНО-ВОДОТРУБНЫХ И ДРУГИХ ТИПОВ КОТЛОВ

Одними из наиболее распространенных в промышленности, городском и сельском хозяйстве являются котлы ДКВР с естественной циркуляцией (двухбарабанные вертикально-водотрубные реконструированные) (табл. 13.3). Максимальное рабочее давление пара 1,3 МПа. Котлы допускают компоновку с различными топочными устройствами для сжигания бурых и каменных углей, фрезерного торфа, древесных отходов, мазута и газа.

Выбор варианта переоборудования котлов ДКВР на газовое топливо во многом зависит от того, какое топливо остается резерв-

ТАБЛИЦА

**Установочные размеры газовых горелок на котлах ДКВР
(при резервном твердом топливе)**

Котел	Горелка		Размеры, мм					
	тип	число	H	A	Б	Б	Ж	К

Вертикальные щелевые горелки

ДКВР-2,5-13	2	2	600	780	—	—	350	420
ДКВР-4-13	1	4	600	440	800	—	350	520
ДКВР-6,5-13	3	4	700	360	800	—	350	520
ДКВР-10-13	4	4	1000	595	650	—	350	570
ДКВР-20-13	5	6	1000	1120	1040	1055	600	670

Горелки типа БИГ

ДКВР-2,5-13	БИГ-1-18	2	1236	780	—	—	—	—
ДКВР-4-13	БИГ-1-14	4	964	440	800	—	—	—
ДКВР-6,5-13	БИГ-1-16	6	1100	360	800	570	—	—
ДКВР-10-13	БИГ-1-23	6	1576	595	650	570	—	—

ным: твердое или жидкое. При резервном твердом топливе должна быть сохранена слоевая топка с колосниковой решеткой. Фронт котла занят пневмомеханическими забрасывателями (ПМЗ), бункерами и другими устройствами для подачи твердого топлива. Переход с основного газового топлива на резервное твердое может быть осуществлен при условии сохранения всех этих устройств.

Газовые горелки устанавливают на боковых стенках топки котла. Для этих целей Ленгипроинжпроект разработаны специальные малогабаритные газовые горелки с узким устьем, установка которых обеспечивает сохранение экранов или демонтаж минимального числа труб, а также не перекрывает проходы между котлами. Применяют газовые горелки двух типов:

— горизонтальные щелевые с *принудительной подачей* воздуха (см. рис. 12.47) для низкого давления газа;

— блочные инжекционные с $\alpha_1 > 1$ типа БИГ (см. рис. 12.8) для среднего давления газа.

На рис. 13.13 показаны варианты переоборудования на газовое топливо котлов ДКВР при резервном твердом топливе (табл. 13.4).

Для установки вертикальных щелевых горелок на котлах ДКВР-4-13 и ДКВР-6,5-13 (рис. 13.13, а) вырезают две экранные трубы: по одной с каждой стороны топки. На котлах ДКВР-2,5-13 и ДКВР-10-13 трубы не вырезают, а используют увеличенные разрывы между экранами. Для котлов ДКВР-20-13 приходится делать небольшую реконструкцию экранных труб: перевести на другие места четыре рециркуляционные трубы и развести восемь экранных труб.

Вертикальная щель (туннель) шириной 80, длиной 250 мм и высотой H (табл. 13.4), которая выкладывается в обмуровке котла, нагревается до 1200 °С и обеспечивает устойчивую стабилизацию пламени во всем диапазоне изменения рабочей нагрузки котла. Розжиг и наблюдение за горением осуществляется через специальные устройства (гляделки), смонтированные на передней стенке горелки. Для удобства профилактического осмотра и ремонта горелки, для закладки щели кирпичом при переходе на резервное твердое топливо передняя стенка горелки крепится на болтах и может быть легко снята. Горелки работают практически бесшумно, легко разжигаются, регулируются и обеспечивают сжигание газа в топке котла без химического недожога при малых коэффициентах избытка воздуха.

При работе на газовом топливе необходимо сохранить все оборудование и все устройства для подачи и сжигания резервного твердого топлива, обеспечить по возможности быстрый переход с одного вида топлива на другой. Колосниковую решетку для предотвращения пережога (перегрева) засыпают слоем битого шамотного кирпича толщиной 200—300 мм, а каналы пневмомеханического забрасывателя (ПМЗ) со стороны топки и шуровочных лючков закрывают огнеупорной кладкой без перевязки. При

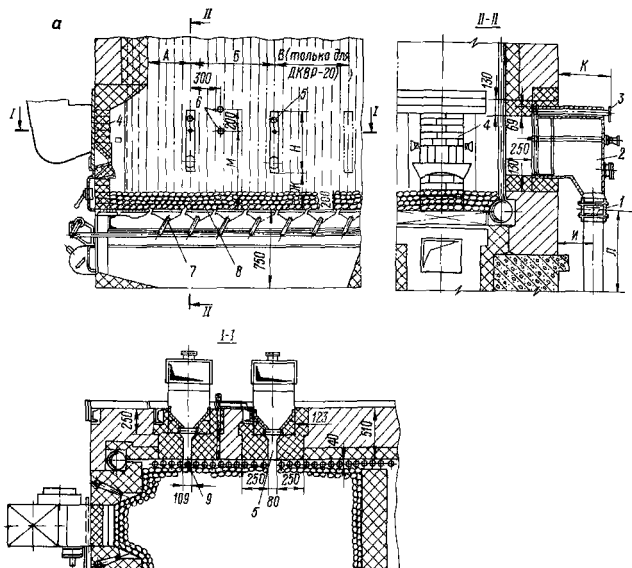
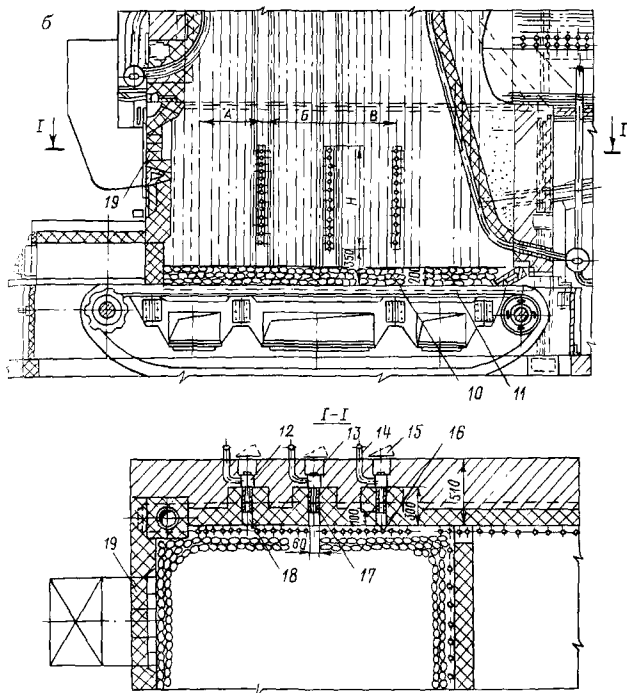


Рис. 13.13. Газовое оборудование котлов ДКВР

a — установка вертикальных щелевых горелок; *б* — установка блочных инжекционных *з* — газопровод; *4* — защитная стенка из огнеупорного кирпича; *5* — вертикальная битый шамотный кирпич; *9* — демонтируемые экранные трубки; *10* — засыпка из огне ниша в обмуровке топки; *14* — газопровод к горелке; *15* — открывающиеся прозрачные зирующий туннель; *19* — стенка из огнеупорного

переходе на резервное топливо эту защиту убирают, а вертикальные щели горелок закрывают огнеупорным кирпичом, предохраняя неработающие горелки от перегрева и уменьшения неорганизованного подсоса воздуха.

При работе на среднем давлении газа, когда в газопроводе перед котлами может постоянно поддерживаться давление не менее



при работе на резервном твердом топливе.

горелок с $\alpha_1 > 1$ типа БИГ; 1 — воздушный шпайер; 2 — вертикальная щелевая горелка; щель; 6 — трубка для измерения разрежения в топке; 7 — колосниковая решетка; 8 — упорного кирпича; 11 — колосниковая решетка; 12 — горелка БИГ; 13 — вертикальная шторка; 16 — вырезаемые экранные трубки; 17 — огнеупорная набивка; 18 — стабилизирующая кирпичная, защищающая ПМЗ от перегрева.

90 кПа, целесообразно применять для котлов ДКВР (при резервном твердом топливе) инжекционные горелки с $\alpha_1 > 1$ типа БИГ, установка которых аналогична установке вертикальных щелевых горелок (рис. 13.13, б). Такое переоборудование значительно проще рассмотренного ранее: отсутствуют воздухопроводы и дутьевой вентилятор, горелки БИГ целиком монтируют в стенке котла,

Основные установочные размеры горелок ГМГм на котлах ДКВР

Котел	Горелка		Размеры, мм						
	Тип	Число	Ж	Б	В	Г	Д	Е	а
ДКВР-2,5-13	ГМГ-1,5м	2	325	280	550	50	250	125	244
ДКВР-4-13	ГМГ-2м	2	325	280	550	60	250	150	267
ДКВР-6,5-13	ГМГ-4м	2	445	390	800	80	320	200	365
ДКВР-10-13	ГМГ-5м	2	445	390	800	80	320	250	369

керосина. При отсутствии такой возможности вначале растапливают дровами, а когда горение станет устойчивым и топка разогреется, можно переходить на мазут.

На смену котлам ДКВР разработаны и выпускаются промышленностью котлы серии Е при рабочем давлении в барабане до 1,4 МПа (асб.): для работы на газе и мазуте котлы типа ДЕ паропроизводительностью 4,0; 6,5; 10; 16; 25 т/ч; для работы на твердом топливе типа КЕ паропроизводительностью 2,5; 4; 6,5; 10; 25 т/ч. Топочная камера котлов ДЕ целиком экранирована и размещена сбоку от конвективного пучка. Ширина топочной камеры одинакова для всех котлов (1790 мм), длина же изменяется в зависимости от номинальной паропроизводительности котла.

Вертикально-водотрубный котел Е-1/9-1г состоит из двух барабанов (верхнего и нижнего), топочных экранов и кипящего пучка. В комплект заводской поставки входят котел в облегченной обмуровке и стальной обшивке, топочное и газогорелочное устройства, система автоматики, дымосос и дутьевый вентилятор, питательный насос, трубопроводы и арматура площадки для обслуживания и обдувочное устройство.

Техническая характеристика котла Е-1/9-1г

Паропроизводительность, т/ч	1
Давление пара, МПа	0,9
Площадь поверхности нагрева, м ²	30
Расход газа, м ³ /ч, при номинальной тепловой мощности	100
КПД, %	80
Габаритные размеры, мм:	
длина	3585
ширина	2470
высота	2874
Масса котлоагрегата, кг	5500

Котел Е-1/9-1г (рис. 13.15) оборудован топочной камерой и предназначен для работы на газовом топливе. Горелка типа Г-1,0 устанавливается с фронта котла в конической амбразуре из жаростойкого бетона. Котел имеет блочную компоновку и оснащен дутьевым вентилятором типа Ц-13-50-2 и дымососом типа Д-3,5. Топка котла должна работать под разрежением. При необходимости перевода котла на жидкое топливо (ТГБ — печное быто-

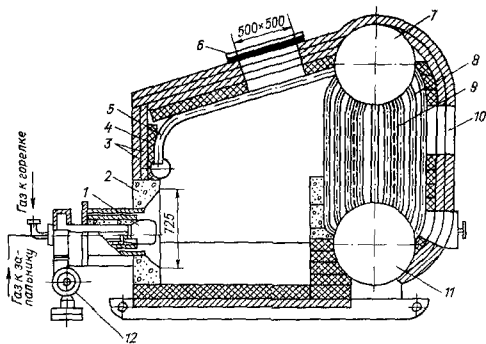


Рис. 13.15. Вертикально-водотрубный двухбарабанный котел Е-1/9-1Г.

1 — газовая горелка Г-1,0; 2 — коническая амбраура; 3 — вулканит или соевит; 4 — огнеупорный кирпич; 5 — потолочный экран; 6 — предохранительный сварной шов; 7 — верхний барабан; 8 — конвективный пучок труб; 9 — перегородки из жаростойкой стали; 10 — канал для отвода продуктов сгорания; 11 — нижний барабан; 12 — душевой вентильятор.

вое, дивельное, соляровое масло) газовая горелка демонтируется, а на ее место устанавливается форсунка типа Ф-1,0, работающая при давлении жидкого топлива 1,0—1,2 МПа и воздуха 900—1100 Па.

Горелка с принудительной подачей воздуха типа Г-1,0 (рис. 13.16) имеет две трубы для подвода газа: основную (76 × 3,5 мм) для обеспечения паропроизводительности котла и запальную (10 × 2) для розжига и стабилизации горения. Запальная трубка смонтирована по оси внутри основной, имеет открытый торец, через который в горелку поступает газ. Подача газа к запальной трубке осуществляется от отдельного газопровода с блоком соленоидов автоматики. Конец основной трубы заварен заглушкой, а для выхода газа по периферии трубы имеются три ряда отверстий.

Смешение газа с воздухом осуществляется предварительно внутри горелки и заканчивается в расширяющемся конусе. Горелка имеет два электрода: один для зажигания газа, вытекающего из запальной трубки, второй для контроля наличия пламени. При подаче высокого напряжения на первый электрод между электродом и корпусом горелки возникает искра, которая и поджигает газ. Устойчивость запального пламени обеспечивает стабилизирующий диск. Если контрольный электрод омывается пламенем, то подается сигнал на подачу газа к основной горелке. Горение газа начинается в расширяющемся конусе, а стабилиза-

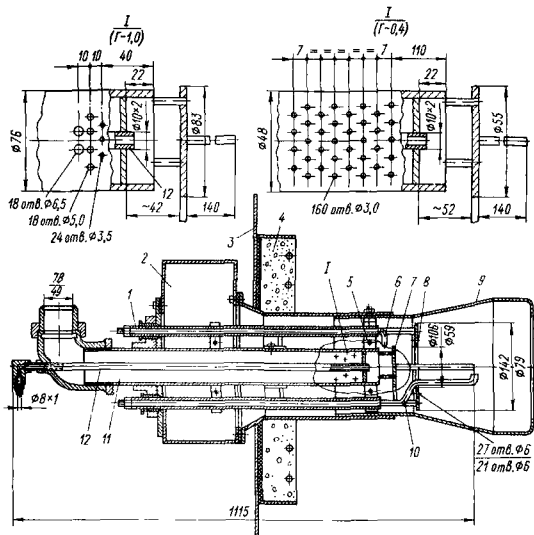


Рис. 13.16. Горелки Г-1,0 и Г-0,4.

1 — фарфоровые трубки; 2 — воздушный короб; 3 — фронтный лист; 4 — теплоизоляция; 5 — хомуты для крепления электродов; 6 — электрод для розжига запальной горелки; 7 — стабилизирующий диск запальной горелки; 8 — шайба для стабилизации факела горелки; 9 — конический смеситель; 10 — контрольный электрод; 11 — основная труба для подачи газа; 12 — запальная труба.

ция факела обеспечивается за счет постоянного пламени запальной горелки и специальной шайбы.

Горелка Г-1,0 в соответствии с применяемой системой автоматики работает в двухпозиционном режиме с изменением тепловой мощности на 100 и 40% от номинального расхода газа.

Техническая характеристика горелки Г-1,0

Номинальная тепловая мощность, кВт	980
Номинальный расход природного газа, м ³ /ч	100
Номинальное давление, Па:	
газа	1500—1800
воздуха	1400—1500

Вертикально-цилиндрические малометражные котлы Е-1-9Г и Е-0,4-9Г (рис. 13.17) паропроизводительностью соответственно 1 (площадь поверхности нагрева 17,1 м²) и

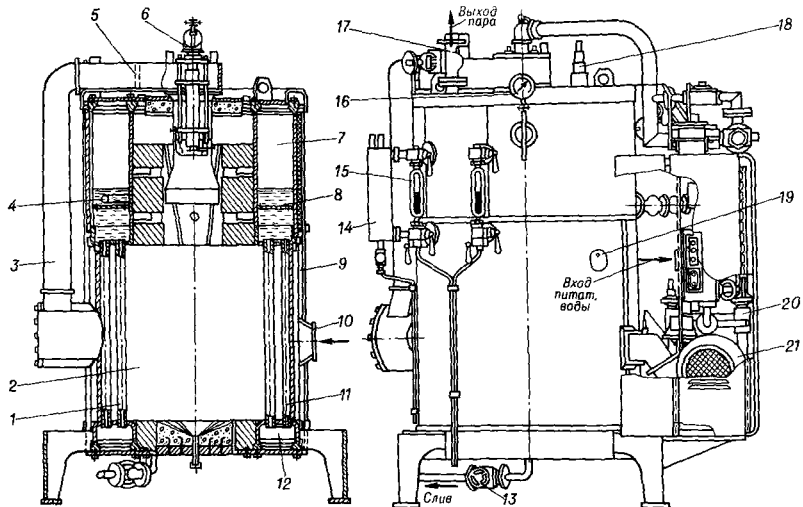


Рис. 13.17. Автоматизированный котлоагрегат Е-1-9Г.

1 — экранные трубы; 2 — топочная камера; 3 — воздуховод горячего воздуха; 4 — питательная труба; 5 — воздушный регистр; 6 — газовая горелка Г-1,0 или Г-0,4; 7 — верхний кольцеобразный коллектор; 8 — парораспределительная решетка; 9 — наружная обшивка; 10 — подвод воздуха от вентилятора; 11 — труба поверхности нагрева; 12 — нижний кольцеобразный коллектор; 13 — спусковой вентиль; 14 — выравнивающая колодка; 15 — водоуказательные приборы; 16 — манометр; 17 — главный паровой вентиль; 18 — предохранительный клапан; 19 — гляделка; 20 — питательный насос; 21 — дутьевой вентилятор.

Основные технические характеристики котлов ПТВМ

Показатель	ПТВМ-30М	ПТВМ-50	ПТВМ-100
Компоновка котла	П-образная	Башенная	
Теплопроизводительность, МВт	40—46,5	58	116
Топливо		Мазут—газ	
Расход воды, т/ч:			
пиковый режим	500	1200	2140
основной режим	440	625	1250
Площадь поверхности нагрева, м ² :			
радиационная	129	138	224
конвективная	693	1110	2960
Число горелок	6	12	16
Номинальный расход газа через горелку, м ³ /ч	660	660	900
Номинальное давление:			
газа, кПа		25	
мазута, МПа		1,6—1,8	
Габаритные размеры, м	4,73×5,03	5,16×5,18	6,9×6,9
КПД, %	93,8	92,3	93,4
Температура уходящих газов, °С	120	150	100
Масса металлической части, т	54,3	109,0	189,5

0,4 т/ч (7,4 м³) с рабочим давлением пара 0,9 МПа состоят из верхнего и нижнего кольцеобразных коллекторов, в которые ввальцованы вертикальные трубки.

Горелки типа Г-1,0 (котел Е-1-9Г) или Г-0,4 (котел Е-0,4-9Г) устанавливаются в верхней части котла. Воздух, необходимый для горения, подают вентилятором Д-2,7 через кольцевой канал, расположенный между внутренней жаростойкой стенкой топки и наружной обшивкой, и далее по воздуховоду в горелку. В канале воздух за счет теплоты продуктов сгорания нагревается и, кроме того, обеспечивает тепловую изоляцию котла. Топка котла работает с наддувом. В рабочем режиме в ней поддерживается давление 200—500 Па. Дымовые газы из топочной камеры отводят по кольцевому газоходу двумя потоками в противоположные стороны и удаляют по общему дымоходу котла в дымовую трубу.

Техническая характеристика вертикально-цилиндрических малометражных котлов

	Котел Е-1-9Г	Котел Е-0,4-9Г
Расход природного газа, м ³ /ч	90	36
Температура уходящих газов, °С		250—270
Коэффициент избытка воздуха		1,15—1,20
Давление газа перед клапанами автоматики, Па		1300—1800
Расчетный КПД, %		86
Масса, кг	2700	1650

Котел поставляется комплектно с системой автоматнки, питаельным насосом, вентилятором, газовой горелкой и арматурой.

Котлы пиковые теплофикационные водогрейные газомазутные ПТВМ предназначены для покрытия пиковых тепловых нагрузок, а также могут быть использованы в качестве основного источника теплоснабжения в отопительных котельных. Котлы ПТВМ работают и на мазуте, и природном газе (табл. 13.6).

Котлы башенного типа (ПТВМ-50 и ПТВМ-100) обычно имеют полусткрытую установку. До отметки 6—7 м их размещают в помещении котельной, верхнюю часть котла — вне помещения. В помещении же размещают горелочные устройства, арматуру, автоматнку и дутьевые вентиляторы. Это снижает затраты на строительство здания котельной и создает удобство для ремонта в летнее время.

Топочная камера котла ПТВМ-50 (рис. 13.18) размером в плане 4160 × 4180 мм полностью экранирована стальными трубами (60 × 3 мм с шагом 64 мм). Над ней расположены конвективные поверхности нагрева, которые выполнены из труб (28 × 3 мм) в виде U-образных ширм, установленных таким образом, что трубы образуют пучок с шагом 64 и 33 мм. После топки дымовые газы омывают трубы конвективных ширм в поперечном направлении снизу вверх. Котел работает по прямоточной схеме.

Плотное экранирование позволило иметь легкую надтрубную обмуровку толщиной 112 мм, состоящую из нескольких слоев: плетеной металлической сетки со слоем шамотобетона (20 мм), матраца из минеральной ваты (80 мм), магнезальной штукатурки (10 мм), крафт-бумаги и тонкого слоя газонепроницаемой обмазки.

Котел работает на естественной тяге, для чего над ним устанавливают металлическую трубу, непосредственно опирающуюся на каркас котла, или котел подключают к отдельно стоящей железобетонной или кирпичной дымовой трубе.

Котел ПТВМ-50 оборудован 12 газомазутными горелками (по 6 горелок на каждой стороне) с индивидуальными дутьевыми вентиляторами типа Ц-13-50 № 4. Горелки расположены в два яруса, причем одна или две горелки нижнего яруса с каждой стороны котла являются растопочными и имеют зажигающее устройство, которое установлено непосредственно над горелкой. Другие горелки этого яруса разжигаются от факела работающих растопочных горелок. Конструкция горелок обеспечивает периферийный подвод газа и механическое распыливание мазута (рис. 13.19). Газ поступает из кольцеобразной камеры через два ряда отверстий под углом 90° к потоку воздуха. Воздух к горелке подается от индивидуального вентилятора и закручивается в ней лопаточным регистром предварительно, до встречи с газовыми струями. Равномерное распределение газа в воздушном потоке и тангенциальное движение воздуха обеспечивают хорошую подготовку газозадушной смеси. Цилиндрический туннель-стабилизатор длиной около 390 мм вы-

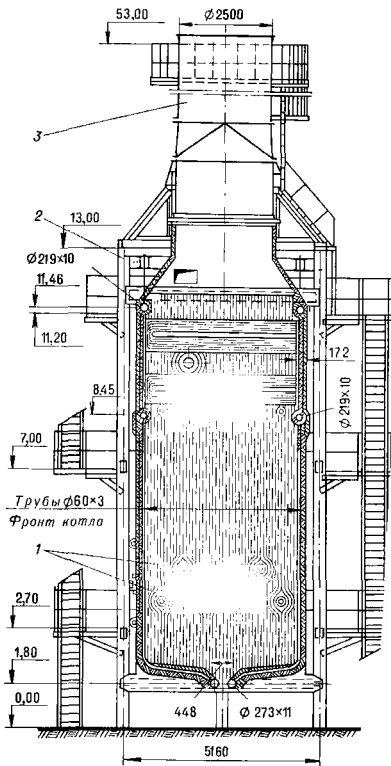
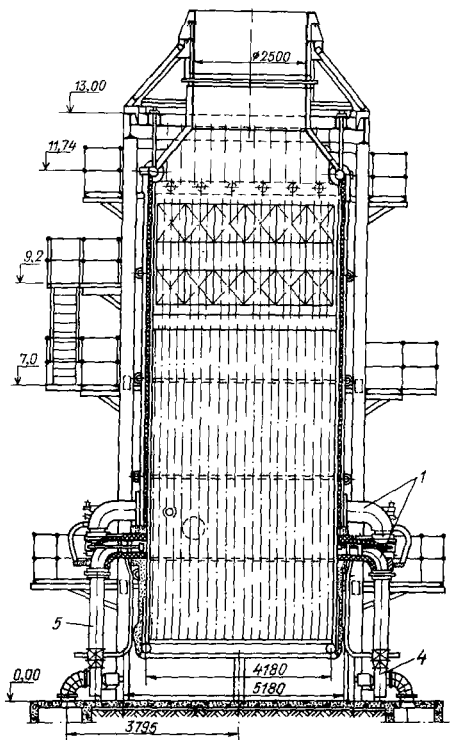


Рис. 13.18. Котел

1 — газомавутные горелки; 2 — карниз котла; 3 — дымовая

ступает в толку за пределы экранных труб и предохраняет их от перегрева от факела горелки.

При работе на газовом топливе во избежание перегрева мавутную форсунку целесообразно демонтировать. Размеры, приведенные на рис. 13.19, принимают следующими, мм:



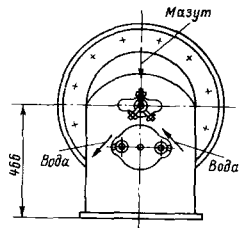
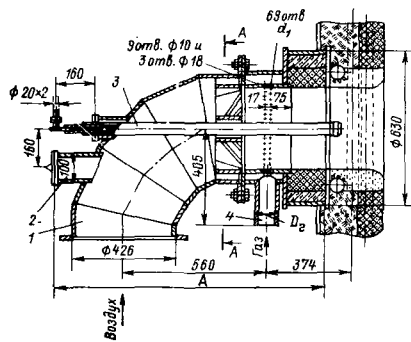
ПТВМ-50.

труба; 4 — дутьевой вентилятор; 5 — воздуховод.

ПТВМ-30М- и -50
ПТВМ-100

D_T	d_1	A
76×3,5	3	1081
89×3,5	4	1221

Давление газа перед горелками поддерживается равным 15—17 кПа.



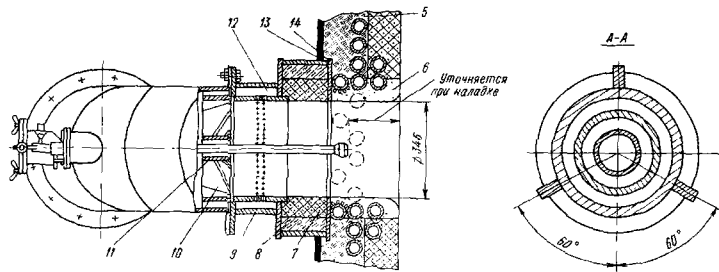


Рис. 13.19. Газомасляная горелка для котлов ПТВМ.

1 — корпус; 2 — смотровое окно; 3 — масляная форсунка; 4 — газовый патрубок; 5 — минераловатные матрасы; 6 — хромитовая масса; 7 — шамотобетон; 8 — асбодиазотомый бетон; 9 — рама; 10 — воздушный регистр; 11 — ребро; 12 — газовая камера; 13 — магнезитовая обмазка; 14 — концевой упор горелки в экраны.

Котлы ПТВМ автоматизированы. Теплопроизводительность котла регулируется путем включения или выключения горелок.

13.10. НАЗНАЧЕНИЕ ПЕЧЕЙ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПЕРЕБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ГАЗА

Наиболее широко распространенными газопотребляющими агрегатами являются промышленные печи. Применение газа (взамен других видов топлива) в промышленных печах при рациональной организации его сжигания дает значительный экономический эффект, определяющийся как более низкими затратами на топливную составляющую в себестоимости продукции, так и улучшением технико-экономических показателей самих агрегатов. Широкое использование газа открывает возможности для создания высокоэффективных автоматизированных печей новых типов: безокислительного и скоростного нагрева, с кипящим слоем, рециркуляционных и др. В связи с дефицитом топлива и необходимостью более эффективного его использования проблема экономичного сжигания газа является основой при разработке новых и реконструкции существующих агрегатов и при их эксплуатации.

Промышленные печи можно классифицировать по следующим основным признакам:

1) по технологическому назначению — плавильные, нагревательные, термические, обжиговые, сушильные и т. д.;

2) по источнику тепловой энергии — пламенные, электрические;

3) по режиму работы — периодического и непрерывного действия;

4) по конструкции рабочей камеры — камерные, проходные с выдвижным и с вращающимся подами, методические, шахтные туннельные, муфельные и др.;

5) по способу использования теплоты уходящих продуктов сгорания — рекуперативные, регенеративные.

При организации сжигания газового топлива в печах особое внимание необходимо уделять правильному теплообмену в рабочей камере печи. По условиям теплообмена промышленные печи можно разделить на три группы.

1. Высокотемпературные печи, в которых температура в рабочей камере выше 1000°C . Теплопередача осуществляется в основном излучением; газовое топливо сжигается в рабочем пространстве печи, т. е. топочное пространство совмещено с рабочим.

2. Среднетемпературные печи, в которых температура в рабочей камере $650\text{—}1000^{\circ}\text{C}$. В этих печах теплопередача осуществляется как излучением, так и конвекцией; газовое топливо сжигается в отдельных камерах, как правило, отделенных от рабочего пространства печи.

3. Низкотемпературные печи, в которых температура в рабочей камере до 650°C . Теплопередача осуществляется в основном кон-

**Удельный расход газа (теплоты)
для нагрева металла в некоторых печах**

Печь	Температура в печах, °С	Расход теплоты, кДж/кг	КПД печей, %
Кузнечные	1200	3780—6300	20—14
Закалочные	800	2100—2940	27—23
Отпускные	550	1260—1680	31—23
Цементационные	930	2940—3360	23—20

векцией; газовое топливо сжигается в отдельной топочной камере, а теплоноситель, образуемый смешением высокотемпературных продуктов сгорания с воздухом или рециркулятом необходимой температуры, подается в рабочее пространство печи.

В высоко- и среднетемпературных печах теплообмен совершается главным образом за счет излучения пламен и раскаленных трехатомных газов (CO_2 и H_2O) к нагреваемым изделиям и к кладке, которая после разогрева становится также источником излучения на изделие. Роль кладки как вторичного излучателя особенно ощутима при теплопрозрачных продуктах сгорания, образующихся при кинетическом сжигании газа (например, при применении инжекционных горелок среднего давления, работающих с коэффициентом избытка первичного воздуха $\alpha_1 > 1,0$).

Опыт эксплуатации показывает, что для печей суммарная передача теплоты излучением при светящихся и несветящихся пламенах в большинстве случаев примерно одинакова. Разница только в том, что в первом случае изделие нагревается главным образом за счет излучения сажистых пламен, а во втором — раскаленной кладки и прозрачных трехатомных газов.

Увеличение светимости (степени черноты) факелов пламен имеет большое значение в печах с очень высокой температурой и большой тепловой нагрузкой на под (например, в мартеновских и стекловаренных). В нагревательных и термических печах повышение светимости, как правило, не дает ощутимого эффекта по количеству теплоты, передающейся изделиям излучением, и не приводит к уменьшению расхода газа. Однако увеличение светимости за счет замедления смешения газа с воздухом применяется часто, особенно в тех случаях, когда требуется обеспечить равномерное распределение температуры в рабочем пространстве печи при ограниченном числе горелок. В некоторых печах равномерное распределение температуры может быть достигнуто и при несветящихся пламенах за счет увеличения числа горелок и рационального их размещения по длине печи.

Интенсивность теплообмена в низкотемпературных печах, где основное значение имеет передача теплоты конвекцией, достигается путем циркуляции газов, которая одновременно приводит к вырав-

Количество теплоты газа, %, при его полном сгорании
в зависимости от температуры уходящих газов
и коэффициента избытка воздуха

Температура уходящих газов, °С	Коэффициент избытка воздуха						
	1,0	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30
200	91,8	91,4	91,1	90,7	90,4	90,0	89,7
300	87,6	87,0	86,5	86,0	85,4	84,0	83,4
400	83,2	82,5	81,8	81,1	80,4	79,7	78,9
500	78,7	77,7	76,9	76,0	75,2	74,3	73,3
600	74,2	73,1	72,0	70,9	69,8	68,8	67,6
700	69,4	68,1	66,9	65,7	64,3	63,0	61,8
800	64,7	63,2	61,7	60,2	58,7	57,3	55,8
900	59,8	58,1	56,4	54,7	53,1	51,4	49,7
1000	54,8	52,9	51,0	49,1	47,3	45,4	43,5
1100	49,8	47,7	45,5	43,4	41,3	39,3	37,2
1200	44,6	42,3	39,9	37,8	35,5	33,2	30,9
1300	39,5	37,0	34,3	32,1	29,5	27,0	24,5
1400	34,2	31,4	28,8	24,0	23,3	20,6	17,9

ниванию температуры в печах и равномерному прогреву находящихся в них изделий.

Все изложенные соображения свидетельствуют о том, что при переводе существующих печей на газовое топливо интенсификация теплообмена может достигаться правильным выбором типа и тепловых нагрузок горелок, их рациональным размещением, а также правильным расположением газоходов и изделий, подвергающихся тепловой обработке. Расход газа в печах зависит от их конструкции, эксплуатационного состояния, режима работы, производительности и температуры уходящих газов. Расход газа (теплоты) на 1 кг металла, нагреваемого в печах без рекуператоров, приведен в табл. 13.7.

В печах, использующих теплоту уходящих газов для нагрева воздуха, расход газа уменьшается на 20—30%. Количество используемой в печах химической теплоты газа зависит от температуры уходящих газов и коэффициента избытка воздуха (табл. 13.8). Приведенные в таблице данные указывают на необходимость работы с минимальным коэффициентом избытка воздуха и использования теплоты уходящих газов, в особенности для высокотемпературных печей.

13.11. ГАЗОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ И ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

Нагревательные печи предназначены для нагрева металла перед ковкой, штамповкой или прокаткой. При нагреве черных металлов температура в печах в зависимости от марки стали достигает

1250—1400, в отдельных случаях 1500 °С, при нагреве цветных металлов 500—950 °С. Рабочее пространство нагревательных печей выложено шамотным или высокоглиноземистым кирпичом. В печах с температурой выше 1400 °С свод выполнен из динасового кирпича.

Термические печи предназначены для нагрева металла с целью придания ему физико-механических свойств, удовлетворяющих определенным технологическим требованиям. В силу разнообразия видов и режимов термической обработки, марок сталей, массы и размеров изделий, характера производства и других причин велико разнообразие конструкций термических печей. Термическая обработка металлов направлена на улучшение их структуры и придания свойств, необходимых для определенных конкретных условий: прочности, твердости, износостойчивости, вязкости и т. п. Термическая обработка включает в себя ряд операций: нагрев до определенной температуры, выдержку при ней в течение заданного времени и охлаждение с заданной скоростью. Наиболее распространенные операции термической обработки — отжиг, нормализация, закалка, отпуск и цементация.

Для термической обработки наиболее применимы камерные, проходные, вертикальные, муфельные и ванные печи. Выбор типа горелок и их числа определяются типом и размером печи, технологией нагрева и т. п.

На рис. 13.20, I приведен вариант оборудования простейшей камерной нагревательной печи. Для нагрева камеры и заготовок горелка с принудительной подачей воздуха установлена на одной стороне. Стабилизация пламени достигается устройством в кладке печи огнеупорного туннеля. Для экономии газа и повышения температуры пламени печь оборудована рекуператором для нагрева воздуха уходящими продуктами сгорания.

Другой тип нагревательных камерных печей, оборудованных рекуператорами с отводом продуктов сгорания вверх, с одним и двумя рабочими окнами показан на рис. 13.20, II.

Для нагрева концов длинных и коротких (мелких) заготовок перед ковкой и штамповкой применяют щелевые и очковые печи. В очковых печах (рис. 13.20, III) нагреваются концы коротких заготовок малого диаметра (например, для штамповки болтов). В щелевых печах загрузку и выгрузку заготовок производят постепенно, по мере их нагрева. Благодаря этому в них удобнее, чем в камерных, нагревать мелкие заготовки. Кроме того, из-за малой высоты окна (щели) и не требуется часто закрывания и открывания заслонок. При нагреве концов длинных заготовок для перемещения их вдоль щели используют внешнюю механизацию, выполняемую в виде различных транспортеров (горизонтальных и вертикальных). Щелевые и очковые печи работают непрерывно или циклично. Производительность и напряжение пода в щелевых печах такие же, как в камерных, а удельный расход теплоты несколько выше.

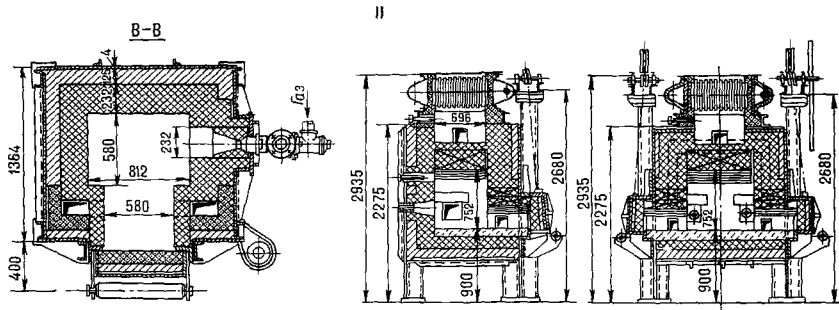


Рис. 13.20. Камерные нагревательные печи, работающие на газовом топливе.
 I — печь с площадью пода $0,4 \text{ м}^2$ и пропускной способностью 120 кг/ч ; II — печь с одним и двумя рабочими окнами и площадью пода $0,74-1,49 \text{ м}^2$; III — очаговая.

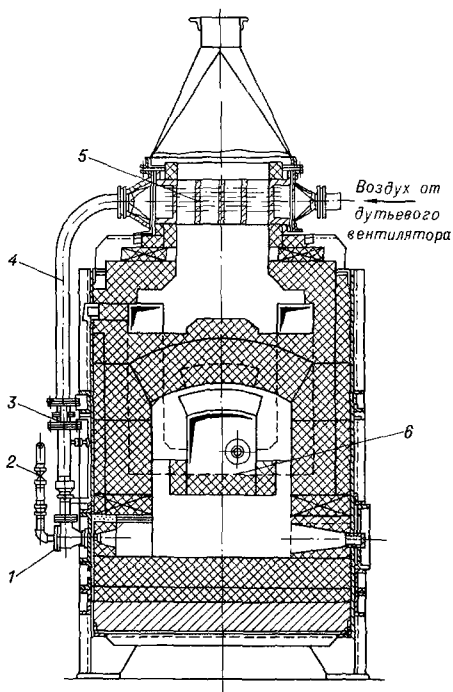


Рис. 13.21. Камерная термическая печь.

1 — горелка с принудительной подачей воздуха типа ГНП; 2 — кран на газопроводе; 3 — заслонка; 4 — воздуховод с теплоизоляцией; 5 — рекуператор; 6 — под.

В щелевых печах наиболее выгодна установка нескольких горелок малой мощности с хорошим перемешиванием газа и воздуха. Горелки лучше разместить ближе к поду или (при расположении щели несколько выше пода) необходимо наклонить их вниз, чтобы направить горячие газы под изделия. При установке горелок большой мощности наблюдается неравномерное распределение температуры в рабочем пространстве печи.

В очковых печах горелки должны быть размещены ниже очков и направлены вверх или тангенциально с целью обеспечить равномерное омывание нагреваемых концов продуктами сгорания. Часть продуктов сгорания выходит из печи через очки и далее попадает под вент. Основное количество продуктов сгорания отводится по дымоотводящему каналу через рекулятор под колпак. В очковой печи (рис. 13.20, III), оборудованной двухпроводной горелкой с коротким факелом, концы коротких заготовок малого диаметра нагреваются до 1250 °С. Воздух, подаваемый для горения, подогревается в рекуператоре «термоблок» до 250 °С. Очковый экран сделан с водяным охлаждением, что придает ему большую термостойкость и улучшает условия труда нагревальщика. Производительность печи 90 кг/ч при напряжении пода (условном) 200 кг/(м². ч).

Камерная термическая печь, показанная на рис. 13.21, оборудована рекуператорами и горелками с принудительной подачей воздуха.

В последнее время значительное распространение начали получать различные способы местного нагрева. Отличительной чертой местного нагрева является интенсивный подвод теплоты только к части изделия, подлежащей обработке. Основная же масса изделия остается при этом холодной. Местный нагрев применяют при вакалке рабочей части инструмента или другого изделия, гибке, оттяжке, высадке и во многих других случаях. При таком нагреве предварительно подготовленную газоздушную смесь сжигают либо непосредственно у поверхности изделия, либо (что чаще) в специальной камере. В первом случае нагрев изделия происходит острым жестким факелом, а во втором — раскаленными продуктами сгорания. Для местного нагрева могут быть использованы высокотемпературные горелки с излучающей чашей или горелки скоростного нагрева.

Применение газа в печах позволяет широко внедрять прогрессивные методы ускоренного и скоростного нагрева металла. Сталь по своим теплофизическим свойствам обладает достаточно большими возможностями для проведения скоростного нагрева, которые до настоящего времени не находят широкого распространения. При скоростном нагреве значительно уменьшаются окисление и обезуглероживание стали, а структура и механические свойства ее улучшаются. В основу этого метода положен принцип транспортирования изделий через печь в течение строго заданного времени, так как температура в печи значительно превышает температуру нагрева металла и достигает 1500—1600 °С.

Важнейшим требованием, предъявляемым к скоростным печам, является обеспечение равномерного и всестороннего нагрева изделий. Последнее достигается интенсивным подводом теплоты не только за счет излучения газов и кладки, но и за счет больших скоростей продуктов сгорания, приводящих к увеличению конвективного теплообмена. Тепловые напряжения в печах скоростного

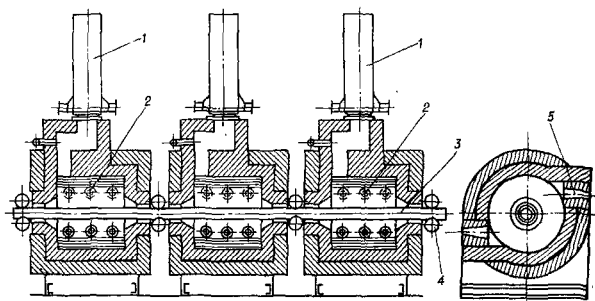


Рис. 13.22. Трехсекционная печь быстрого нагрева.

1 — радиационный рекуператор; 2 — горелки с принудительной подачей воздуха; 3 — нагреваемое изделие; 4 — рольганг; 5 — стабилизатор пламени.

нагрева достигают нескольких десятков и даже сотен тысяч киловатт на 1 м^3 , продолжительность нагрева сокращается в 3—5 раз, а угар металла снижается на 0,3—0,5%. На рис. 13.22 показана трехсекционная печь быстрого нагрева, предназначенная для нагрева прутков, штанг, труб и т. п. Движение изделий через секции печи происходит при помощи рольганга, расположенного между секциями печи. Для всестороннего и быстрого нагрева изделий применены тангенциально расположенные горелки с принудительной подачей воздуха, предварительно нагретого в рекуператорах.

В печах возможны два различных режима сжигания топлива: объемный и поверхностный. В этих печах горелки устанавливают тангенциально по отношению к заготовкам, а рабочему пространству (сечению печи) придают овальную форму. При работе печи в режиме объемного сжигания используют горелки с принудительной подачей воздуха типа «труба в трубе», устанавливаемые над металлом и под ним (4—6 горелок на секцию). При работе печи в режиме поверхностного сжигания топлива (газа) горелки размещают тангенциально, близко к внутренней поверхности кладки. Вытекающая из горелок газозвоздушная смесь сгорает на кладке, температура которой достигает 1500°C . Иногда для отопления используют радиационные горелки с излучающей чашей. Удельный расход теплоты в этих печах 2500—4200 кДж/кг, удельная продолжительность нагрева 1—2 мин/см.

13.12. ПЕЧИ БЕЗОКСИЛИТЕЛЬНОГО (МАЛООКСИЛИТЕЛЬНОГО) НАГРЕВА

Для получения после нагрева или термообработки изделий с чистой неокисленной поверхностью применяют печи безокисли-

тельного нагрева, что позволяет резко сократить окисление и, как следствие, потерю металла, переходящего в окалину (последняя составляет в обычных печах от 2 до 5% нагреваемого металла). Кроме того, отсутствие окалины исключает брак от вдавливания ее в поверхность металла при ковке, штамповке или прокате; повышает стойкость штампов и валков. Нагрев заготовок без образования окалины позволяет применять точную штамповку с минимальными допусками, что дает значительную экономию металла и уменьшает затраты на механическую обработку деталей. Для нагрева изделий до 900—1000 °С, главным образом для термообработки, а также для газовой цементации, применяют муфельные печи или печи с радиационными трубами.

Для нагрева металла под ковку и штамповку до температуры выше 1000 °С муфельные печи и печи с радиационными трубами не подходят, так как достижение такой температуры лимитирует стойкость муфелей и радиационных труб. Для указанных целей одним из рациональных способов предотвращения угара металла является безокислительный нагрев заготовок и изделий, осуществляемый в специальных газовых печах. Газ в нагревательных камерах сжигают с большим недостатком воздуха, в результате чего в продуктах неполного сгорания появляется значительное количество оксида углерода и водород, которые не окисляют, а при определенных условиях даже восстанавливают окисленный нагретый металл.

Взаимодействие углекислоты и водяных паров с металлом происходит по следующим реакциям: $\text{Fe} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{FeO} + \text{CO}$, $\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{FeO} + \text{H}_2$. Эти реакции обратимы и равновесие их зависит от соотношения в печной атмосфере CO_2/CO и $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$.

Предотвращение окисления достигается при отношениях $\text{CO}_2/\text{CO} = 0,3 \div 0,5$ и $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2 = 0,5 \div 0,8$. Для получения этих соотношений газ сжигают в нагревательной камере с $\alpha \approx 0,5$. Для обеспечения устойчивого горения такой смеси в нагревательной камере и поддержания в ней необходимых температуры и соотношения CO_2/CO и $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$ газ сжигают с нагретым в рекуператорах до 500—700 °С воздухом.

Печь безокислительного нагрева (рис. 13.23) состоит из двух камер и рекуператора для нагрева воздуха. Предварительный разогрев печи осуществляется при сжигании газа с $\alpha = 1,05 \div 1,1$. После разогрева печи нижняя рабочая камера переводится на горячий воздух с $\alpha = 0,5$, а в верхнюю камеру подается холодный воздух для дожигания продуктов неполного сгорания из нижней камеры. Образовавшиеся в верхней камере продукты завершеного сгорания поступают в рекуператор, где отдают теплоту проходящему через него воздуху, и отводятся в атмосферу. Передача теплоты заготовкам или изделиям в рабочей камере происходит от факела, продуктов неполного сгорания газа и излучения свода, отделяющего нижнюю камеру от верхней.

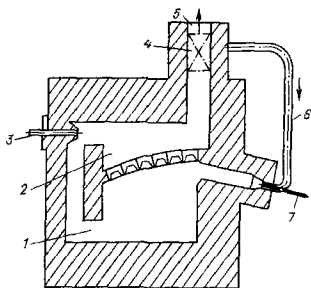


Рис. 13.23. Нагревательная печь безокислительного нагрева.

1 — рабочая камера; 2 — камера дожигания газа; 3 — патрубок для подачи вторичного воздуха; 4 — рекуператор; 5 — канал для отвода обработанных продуктов сгорания; 6 — воздуховод; 7 — горелка с принудительной подачей воздуха.

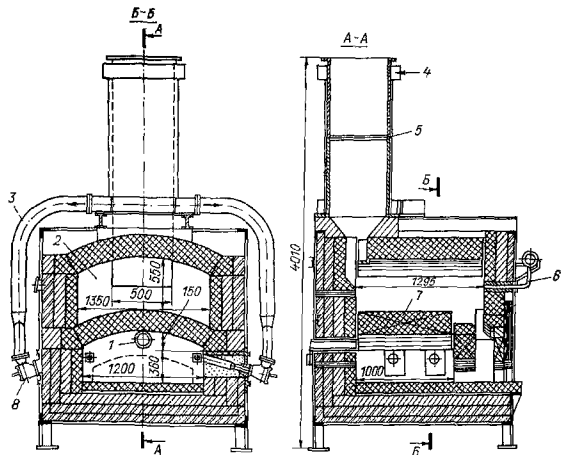


Рис. 13.24. Рекуперативная камерная печь безокислительного нагрева конструкции ИГ АН УССР.

1 — рабочая камера; 2 — камера дожигания газа; 3 — воздуховоды горячего воздуха; 4 — патрубок для подачи холодного воздуха от дутьевого вентилятора; 5 — радиационный рекуператор; 6 — патрубок для подачи вторичного воздуха; 7 — разделительный свод из карборунда; 8 — газовая горелка с принудительной подачей воздуха.

На рис. 13.24 показана рекуперативная камерная печь без-окислительного нагрева конструкции ИГ АН УССР. Печь имеет рабочую камеру и камеру для дожигания продуктов неполного сгорания газа. Камеры разделены промежуточным сводом, выполненным из карборундовых плит. Для нагрева воздуха печь оборудована радиационным цилиндрическим рекуператором, изготовленным из жаропрочной стали. Нагрев рабочей камеры осуществляется четырьмя горелками, которые установлены на боковых стенках печи (по две с каждой стороны). Горячий воздух к горелкам подводится по наружным воздухопроводам, изолированным трепеловым кирпичом и асбестовой обмазкой.

Продукты неполного сгорания, полученные при $\alpha = 0,5$, отводятся в камеру дожигания за счет тяги и эжектирующего действия струй вторичного холодного воздуха. Полностью сгоревшие газы проходят рекуператор и далее отводятся в атмосферу. Дымовые каналы для отвода продуктов неполного сгорания из рабочей камеры в камеру дожигания и в сопла для подачи вторичного воздуха размещены в передней стенке печи. На этой же стенке вместо дверцы установлен водоохлаждаемый кессон со щелью размером 800×250 мм. Воздух, поступающий в рекуператоры и для дожигания, подается от одного вентилятора среднего давления.

Техническая характеристика печи конструкции ИГ АН УССР

Площадь пода, м ²	1,2
Производительность, кг/ч	450
Температура, °С:	
в рабочей камере	1250—1300
в камере дожигания	1500
Температура воздуха в рекуператоре, °С	600

Основными недостатками рассмотренных печей являются тяжелые условия работы промежуточного свода, малая производительность и невысокий КПД. Эти недостатки могут быть частично устранены при организации неполного сгорания газа и дожигания образовавшихся продуктов незавершенного сгорания в одной камере. Поверхность нагреваемых изделий при этом должна омываться продуктами незавершенного сгорания, особенно в области температур, при которых происходит интенсивное окисление металла.

Указанных недостатков лишена печь с двухступенчатым сжиганием газа в рабочей камере, разработанная в лаборатории газовой теплотехники Куйбышевского политехнического института (рис. 13.25). Печь оборудована газовыми горелками, выдающими в туннели гомогенную газозоудшную смесь с $\alpha = 0,5 \div 0,55$, и сопловым плоским эжектором, работающим на вторичном воздухе. Продукты неполного сгорания вылетают из туннелей горелок со скоростью около 30 м/с в рабочую камеру, омывают расположенные на поду заготовки или изделия и уходят в эжектор, где происходит их дожигание. Образовавшиеся продукты завершенного

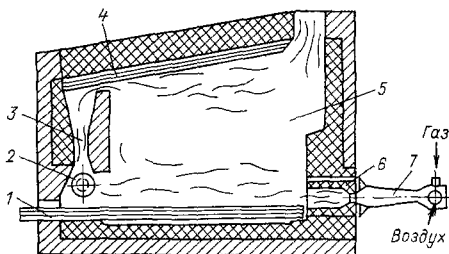


Рис. 13.25. Нагревательная печь безокислительного нагрева конструкции Куй бишевского политехнического института.

1 — нагреваемая заготовка; 2 — трубопровод для подачи вторичного воздуха, 3 — пневматический инжектор; 4 — наклонный свод; 5 — рабочая камера; 6 — стабилизатор пламени; 7 — газовая горелка.

Сгорания проходят под наклонным сводом, раскаляют его и отводятся в дымовой канал. Нагрев заготовок происходит за счет омывания их продуктами незавершенного сгорания и излучения раскаленного свода. В этой печи достаточно хорошо обеспечен безокислительный нагрев заготовок до температур металла 1100—1200 °С, т. е. дляковки и штамповки. Потери металла на угар уменьшаются в 4—5 раз по сравнению с обычными пламенными камерными нагревательными печами. Температура пода печи достигает 1300 °С.

В тех случаях, когда требуется полностью устранить окисление или обезуглероживание поверхности металла или необходима ее цементация, изделия нагревают в пламенных муфельных или радиационных печах. Рабочее пространство таких печей полностью изолируется от продуктов сгорания газа и заполняется специальными газами необходимого химического состава, полученными на отдельных установках. Изделия помещают в муфели, заполняемые нужной газовой средой. Нагрев муфелей снаружи осуществляется пламенем горелок и продуктами сгорания газа. В радиационных печах изделия, находящиеся в камерах, заполненных нужной газовой средой, нагревают за счет излучения труб, в которых сжигают газ. Радиационные трубы применяют в безмуфельных печах при термической или химико-термической обработке металла в специальной атмосфере. Наиболее часто с помощью радиационных труб обогревают протяжные и проходные печи для светлой термической обработки полосовой стали, прутков, труб и пр. По мере создания сталей с высокой жаростойкостью (до 1300 °С) можно ожидать значительного расширения области применения радиационных труб для безокислительного нагрева металла подковку и штамповку, для высокотемпературного подогрева воздуха и пр.

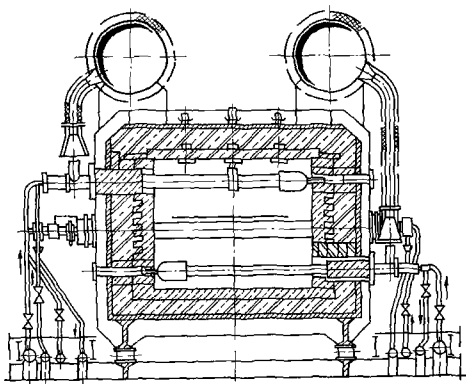


Рис. 13.26. Горизонтальная протяжная печь с радиационными трубами.

В рассматриваемых печах газ сжигают в трубах, герметично смонтированных в рабочем пространстве (пламя горелки муфелируется). Передача теплоты от труб к изделиям осуществляется в основном излучением, поэтому они получили название радиационных или излучающих. Для установки в радиационных печах могут быть рекомендованы тупиковые радиационные трубы (типа РРТ) или рециркуляционные радиационные (типа РРР). На рис. 13.26 в качестве примера показан поперечный разрез горизонтальной протяжной печи, отапливаемой газообразным топливом, которое сжигается в радиационных трубах. С целью более равномерного нагрева трубы располагают сверху и снизу по отношению к материалу (ленте).

В качестве защитной среды, которой заполняют муфели, камеры или туннели с нагреваемыми в них изделиями, широко используют продукты неполного сгорания углеводородных газов, очищенные частично или полностью от водяных паров и углекислого газа. В зависимости от необходимого состава защитной среды процесс неполного сгорания газа проводится при $\alpha = 0,6 \pm 0,9$ или $\alpha = 0,25 \pm 0,4$. В первом случае реакция является экзотермической, идущей с выделением теплоты, и полученный газ называется *экзогазом*; во втором случае эндотермической, требующей подвода теплоты извне. Полученный при этом газ носит название *эндогаза*.

Схема получения экзогаза приведена на рис. 13.27, а. Установка работает следующим образом. Газ низкого давления проходит через расходомер *З*, регулятор давления *Г* и поступает в смеситель *И*; воздух из цеха засасывается через

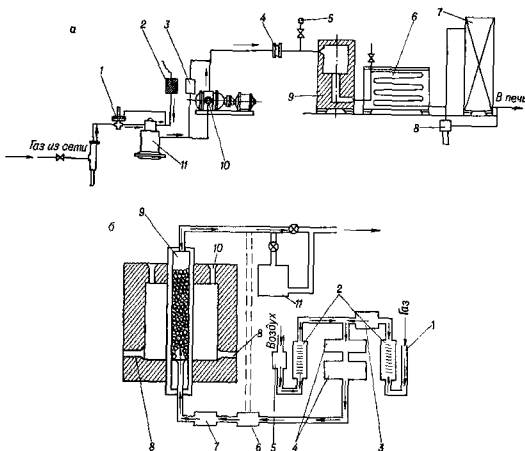


Рис. 13.27. Установки для получения экзогаза (а) и эндогаза (б).

1 — газопровод; 2 — ротаметр; 3, 6 — регуляторы; 4 — центробежная смешивательная машина; 5 — фильтр; 7 — пламегаситель; 8 — газовые горелки; 9 — реторта с катализатором; 10 — канал для отвода дымовых газов; 11 — холодильник.

фильтр 2 и также поступает в смеситель 11, который автоматически поддерживает заданное соотношение воздух—газ; из смесителя газозвушная смесь поступает в газодувку 10, проходит через пламегаситель 4 и направляется в камеру сжигания 9, где и происходит неполное сгорание газа. Горячие продукты поступают в водяной теплообменник 6, где охлаждаются до 20–30° С. Так как в продуктах неполного сгорания содержится влага, они поступают во фреоновый холодильник 7, где их температура снижается до 0–5° С. Избыточная влага, сконденсировавшаяся в теплообменнике 6 и холодильнике 7, стекает в гидравлический затвор 8, а осушенный и охлажденный газ по трубопроводу подается к печам. При сжигании технического пропана с $\alpha = 0,55$ полученный экзогаз имеет следующий приближенный объемный состав, %: $\text{CO}_2 \approx 5$; $\text{CO} \approx 12$; $\text{H}_2 \approx 17$; $\text{N}_2 \approx 65$; CH_4 — следы; точка росы $\sim 4^\circ \text{C}$. Этот газ применяется в качестве защитной среды при отпуске всех видов сталей, светлом отжиге малоуглеродистых и для других процессов. При сжигании газа с $\alpha = 0,9$, глубокой очистке продуктов сгорания от углекислого газа (например, с помощью водного раствора этаноламина) и осушке от водяных паров (например, в силикагелевых адсорберах) получается защитный экзогаз с очень высоким содержанием азота. Приближенный объемный состав такого газа следующей, %: $\text{CO}_2 \approx 0,1$; $\text{CO} \approx 4,5$; $\text{H}_2 \approx 4,5$; $\text{N}_2 \approx 91$. Этот газ применяют в качестве защитной среды при светлом обжиге средне- и высокоуглеродистых, легированных, быстрорежущих и других сталей.

Схема получения эндогаза приведена на рис. 13.27, б. Газ, смешанный с воздухом в необходимых соотношениях ($\alpha = 0,25 \div 0,4$) с помощью центробежной смешивательной машины под давлением $\sim 15,0$ кПа, поступает в реторту, запол-

ненную катализатором (например, ГИАП-3), и далее через водяной и фреоновый холодильники направляется в печь в качестве защитной среды. Реторта нагревается до 1000—1100 °С с помощью газовых горелок или электричества. Полученный в такой установке эндогаз при $\alpha = 0,3$ имеет следующий объемный состав, %: $\text{CO}_2 \approx 2,0$; $\text{CO} \approx 18$; $\text{H}_2 \approx 34$; $\text{CH}_4 \approx 1$; $\text{N}_2 \approx 45$; точка росы от 4 до 5 °С. При необходимости более глубокой очистки эндогаз после холодильников проходит в дополнительную установку по очистке от углекислого газа и осушке от водяных паров. Эндогаз применяют для светлой закалки и отжига среднеуглеродистых, легированных, инструментальных и других сталей; с добавкой сжиженного газа — для цементации, а с добавкой аммиака — для нитроцементации сталей. Для облегчения расчетов на рис. 13.28 приведен график приближенного состава защитных газов (без водяных паров), которые можно получить при сжигании технического пропана в коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 0,25 \div 1,0$.

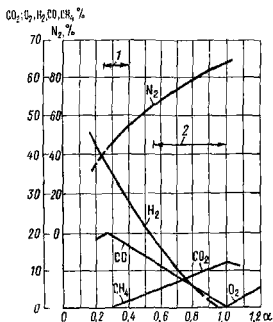


Рис. 13.28. Состав защитных сред, получаемых при сжигании технического пропана.

1 — зона эндогаза; 2 — зона экзогаза.
 α — коэффициент избытка воздуха.

13.13. ПЕЧИ С КИПАЩИМ СЛОЕМ

Одним из наиболее перспективных способов интенсификации теплообмена между греющими газами и поверхностью металла является кипящий слой. Он образуется при продувании засыпки зернистого материала (засыпки, опирающейся на газораспределительную решетку) восходящим потоком газа. При относительно низких скоростях газового потока слой материала неподвижен, сопротивление фильтрации возрастает пропорционально скорости газа. Когда гидравлическое сопротивление слоя становится равным его весу, приходится уменьшать на единицу площади решетки, наступает состояние псевдооживления. Высота слоя возрастает, частицы (зерна) материала под действием потока газа начинают перемешиваться.

В качестве зернистой засыпки в печах кипящего слоя применяют кварцевый песок, корунд, карборунд, шамот, магнезит и другие огнеупорные материалы с размером частиц (зерен) от 50 мкм до 2 мм и более. Для получения высоких значений коэффициента теплоотдачи α_k выгоднее использовать засыпку из мелкозернистого материала. Чаще всего используют материал с $d_{ср} = 0,3 \div 1,0$ мм.

Частицы (зерна) твердого материала, нагретые газовым потоком, соприкасаются с поверхностью нагреваемого металла и отдают теплоту. Постоянное обновление частиц у нагреваемой поверхности вследствие их интенсивного перемешивания, высокая объемная

теплоемкость и их большая поверхность в единице объема слоя обеспечивают высокие значения коэффициентов теплоотдачи от газов к частицам и наоборот. Таким образом, частицы служат эффективным промежуточным теплоносителем. По нагревающей способности кипящий слой превосходит все применяемые в промышленной практике способы нагрева, за исключением индукционного. Так, например, при температуре среды 900 °С средний коэффициент теплоотдачи α_k , кВт/(м²·°С), при нагреве металла от 20 до 900 °С достигает для кипящего слоя 1021, для расплава щелочи 696, для расплава соли 394, для обычной газовой печи 209. С увеличением плотности частиц и температуры слоя, с уменьшением размера частиц коэффициент теплоотдачи к поверхности возрастает. За счет подбора размеров и плотности инертного материала, а также скорости газов, проходящих через слой, можно в широких пределах регулировать коэффициент теплоотдачи. Имеется некоторая оптимальная скорость псевдоожижающего агента $w_{\text{опт}}$, при которой α_k становится максимальным, а при дальнейшем увеличении скорости α_k убывает. Однако значение $\alpha_{k \text{ раб}} \approx 0,8\alpha_{\text{макс}}$ достигается в широком диапазоне изменения рабочих скоростей. Поэтому не обязательно иметь $w_{\text{опт}}$ в кипящем слое.

Весьма ценным качеством кипящего слоя как промежуточного теплоносителя является постоянство температур по всему объему камеры, что объясняется интенсивным перемешиванием частиц. Высокая равномерность нагрева (± 5 °С), незначительная зависимость интенсивности теплообмена от температуры нагреваемых изделий, возможность регулирования скорости нагрева — все это позволяет быстро нагревать и охлаждать в кипящем слое детали переменного сечения и сложной формы без перегрева и коробления отдельных частей. К недостаткам кипящего слоя следует отнести значительные расходы газа на псевдоожижение, неодинаковую интенсивность теплообмена с вертикальными и горизонтальными плоскими поверхностями, унос и пр.

В настоящее время для нагрева кипящего слоя наиболее распространены два способа сжигания газа: в выносных топках под газораспределительным устройством (решеткой) и в самом слое. Способ сжигания газового топлива под решеткой и подвод теплоты в слой с горячим дутьем широко применяются в процессах сушки и дегидратации различных материалов, при сушке литейных песков и пр. Он весьма прост, надежен и безопасен. Выносные топки указанных установок работают под давлением. Однако подвод теплоты под решетку при $t_{\text{п}} > 850$ °С нецелесообразен, так как распределительные устройства в этом случае работают в очень тяжелых условиях.

При втором способе предварительно подготовленная смесь газа с воздухом проходит через решетку, раздробляясь при этом на мелкие струйки, и попадает в разогретый кипящий слой инертного материала. Процесс горения идет в присутствии частиц с раскален-

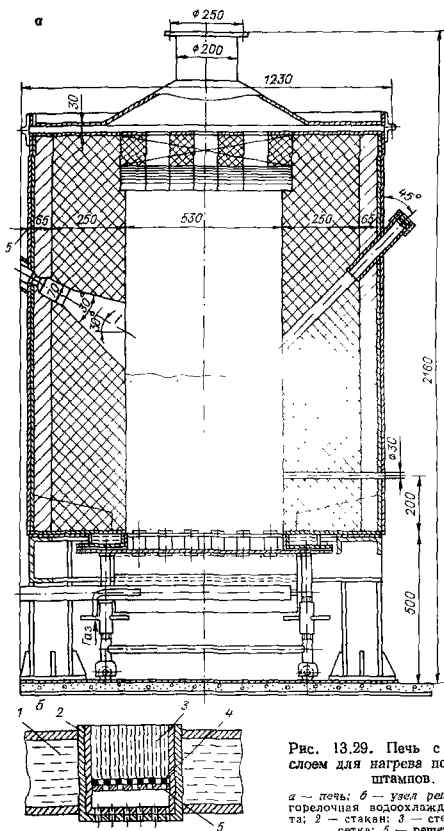


Рис. 13.29. Печь с кипящим слоем для нагрева поверхности штампов.

a — печь; *б* — узел решетки; 1 — горелочная водоохлаждаемая плита; 2 — стакан; 3 — стержни; 4 — сетка; 5 — решетка.

ной поверхностью. Для кипящего слоя характерно, как уже указывалось, использование мелких частиц (диаметром от 0,2 до 5 мм). Суммарная площадь поверхности таких частиц в единице объема велика и растет с уменьшением их размеров (например, для сферических частиц диаметром 1 мм она составляет 3600 м^2 на 1 м^3). Высокая объемная теплоемкость частиц, в сотни раз превышающая теплоемкость псевдоожижающей среды, способствует тому, что горячая смесь, попадая в слой, подогревается практически мгновенно и без снижения температуры частиц. Поскольку при высоких температурах скорость химической реакции чрезвычайно велика, сгорание подготовленной смеси в слое происходит в зоне высотой 30—100 мм (от газораспределительной решетки). Устойчивое горение гомогенной смеси в слое обеспечивается при температуре 800—850 °С и выше.

На рис. 13.29 показана печь для нагрева под поверхностную закалку рабочей части («фигуры») кузнечных штампов с размерами внутренней камеры $600 \times 500 \times 1500$ мм, рабочей температурой 900—1300 и температурой закалки 850—950 °С. Материал кипящего слоя — плавленный магнезит ($d_{\text{ср}} = 0,3 \div 0,5$ мм). Штамп нагреваемой поверхностью погружают в слой через специальное грузовое окно. Газовоздушную смесь готовят в смесителях и подают в распределительную камеру под водоохлаждаемой решеткой стержневого типа (диаметр стержней 2 мм). Для розжига печей выше уровня слоя устанавливают горелку с принудительной подачей воздуха. При нагреве коэффициент теплоотдачи α_n достигает 700—800 Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$).

13.14. ГАЗОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Сушк о й называется термический процесс удаления из материалов и изделий содержащихся в них влаги или растворителей путем их испарения. При сушке протекают три основных процесса: испарение влаги с поверхности материала, сопровождаемое поглощением тепла; перемещение образующегося на поверхности материала пара в окружающую среду; перемещение влаги внутри материала от центральных слоев к поверхности испарения. Благодаря испарению концентрация влаги на поверхности уменьшается. При этом создается разность влагосодержаний на поверхности и в центральных слоях материала, что обуславливает непрерывное движение влаги от центра к поверхности испарения.

Сушка в зависимости от вида преобладающего теплообмена подразделяется на конвективную, когда передача теплоты от сушильного агента к высушиваемому материалу (изделию) осуществляется конвекцией, и радиационную, когда теплота материалу передается в основном излучением.

Конвективная сушка — наиболее распространенная. Интенсивность ее зависит от разности парциальных давлений водяных паров на поверхности испарения и сушильного агента,

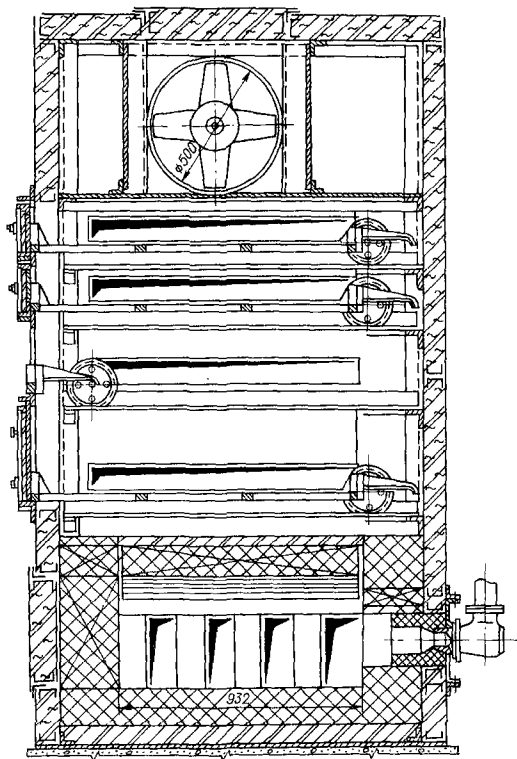


Рис. 13 30. Шкафная сушилка для стержней.

характера и скорости движения сушильного агента, влажности материала и температурного режима сушки. Поэтому сушка в вынужденном потоке идет быстрее, чем естественная в свободном потоке газовой среды.

Для разных материалов и изделий в зависимости от размеров и формы их устанавливают режим сушки, который определяется на

основании технологических требований путем соответствующих лабораторных исследований. На рис. 13.30 представлена шкафная конвективная сушилка для стержней. Газ сжигается горелками с приудительной подачей воздуха в выносной топочной камере, где обеспечиваются условия для его полного и безопасного сжигания. Продукты полного сгорания газа за топкой разбавляются холодным воздухом, и температура их снижается. Далее, благодаря наличию циркуляционного осевого вентилятора, эти же продукты сгорания разбавляются отработанными газами и подаются в сушилку, где организуется их интенсивная циркуляция. Часть отработанных продуктов сгорания выбрасывается в атмосферу через вытяжную трубу, установленную вверх. Производительность сушилки 300 кг/ч, расход теплоты 18 000 кДж/кг испаряемой влаги, расход природного газа 9—11 м³/ч.

Большинство сушильных установок, а также ряд других тепловых агрегатов (например, печи дожигаания) оборудуются выносными топками, необходимость применения которых обусловлена невозможностью выноса процесса горения в рабочий объем сушилки (из-за низкого температурного уровня сушильных процессов) и опасностью неблагоприятного воздействия высокотемпературного ядра факела на обрабатываемый материал (оплавление, обжиг, сгорание); возможностью обрыва реакций горения при соприкосновении с материалом и частями сушила и образования химического недожога; необходимостью получения сушильного агента с высокой равномерностью полей температуры; технической сложности совмещения газогорелочного и топочного оборудования с сушилкой (например, при вращении или вибрации последней).

Как показывают опыт эксплуатации сушильных установок и результаты специальных исследований, применение выносных топков связано с большими трудностями из-за громоздкости и сложности их конструкции, а также быстрого выхода из строя. Недолговечность топков объясняется особыми условиями их эксплуатации. Газ в топках сжигается с малыми коэффициентами избытка воздуха ($\alpha = 1,1 \div 1,3$), а продукты сгорания разбавляются затем до необходимой температуры в специальных смесительных камерах. Отсутствие полезного теплоотвода приводит к тому, что даже при сравнительно невысокой плотности теплового потока (0,2—0,5 МВт/м³) в объеме топки и на поверхности кладки развиваются высокие температуры (до 1550—1600 °С). Происходящее в результате стеклование поверхности кладки обуславливает ее быстрое разрушение вследствие температурных перепадов, вибрации, передаваемой от сушила, и т. д. Даже при кладке из шамотного кирпича марки ША период безопасной эксплуатации камерных топков барабанных сушил не превышает 6 мес.

Высокая температура ограждающих поверхностей топков приводит к значительным потерям теплоты в окружающую среду, достигающим 10—15% по тепловому балансу, что недопустимо с точки зрения эффективного использования газового топлива.

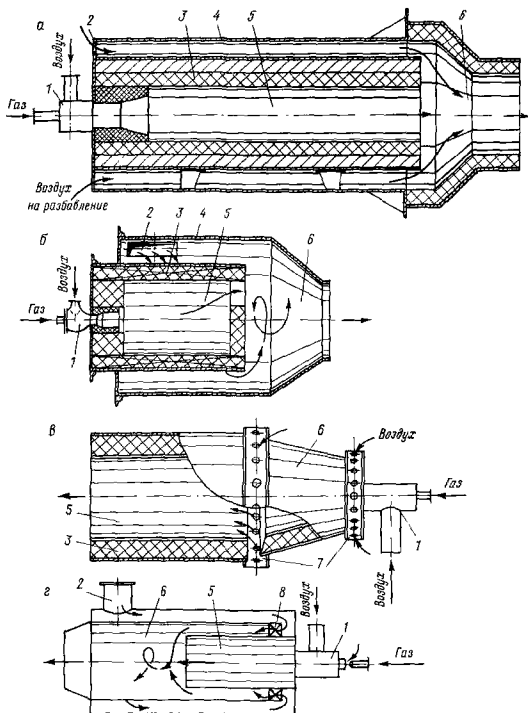


Рис. 13.31. Цилиндрические топки.

а — собственно цилиндрическая; *б* — с принудительной тангенциальной подачей воздуха; *в* — с естественной подачей вторичного воздуха; *г* — цельнометаллическая; 1 — газовая горелка; 2 — канал для подачи воздуха; 3 — огнеупорная футеровка; 4 — кожух; 5 — камера сгорания; 6 — камера смешения; 7 — регистры вторичного воздуха с регулируемыми диафрагмами; 8 — лопаточный захватитель.

Та же причина (высокая температура в топке) обуславливает повышенную интенсивность синтеза оксидов азота — основного вредного вещества при сжигании газа. В сочетании с достаточно большим временем пребывания газов в обычных топках это приводит к тому, что по удельному выбросу NO_x на единицу затраченной

теплоты сушильные установки часто превосходят крупные котлоагрегаты.

На рис. 13.31 показаны конструкции цилиндрических топок, которые имеют улучшенные по сравнению с камерными механически-прочностные качества. В результате заклинивания кирпичей, а также отсутствия угловых и пятовых элементов, характеризующихся наибольшей неравномерностью распределения температур и подвергающихся максимальным механическим нагрузкам, кирпичное кольцо меньше страдает от тепловых и вибрационных нагрузок, чем система «стена—свод», более равномерно изнашивается. Такие топки более герметичны и компактны.

Топка (рис. 13.31, а) имеет кольцевой канал между поверхностью кладки и наружным металлическим кожухом. Воздух в камеру смешения протекает по этому каналу за счет разрежения, охлаждая футеровку камеры сгорания. Несмотря на малую интенсивность такого охлаждения (из-за невысокой скорости потока воздуха), достигается определенный эффект снижения температуры кладки, что делает возможным доводить теплонапряжение камеры сгорания до $1,2 \cdot 10^3$ кВт/м³. Кроме того, имеет место утилизация значительной части теплоты, теряемой через кладку.

К более совершенным по конструкции относятся цилиндрические топки с принудительной подачей воздуха в кольцевой зазор. Применение дутья позволяет интенсифицировать теплоотдачу от камер сгорания и, следовательно, повысить их долговечность и компактность, а также обеспечить удобство регулирования и возможность работы с противодавлением (пневмосушила, сушилка с кипящим слоем).

Топка конструкции ВНИПИтеплопроекта (рис. 13.31, б) оборудована высокоскоростной тангенциальной подачей воздуха, что позволяет значительно улучшить охлаждение камеры сгорания и интенсифицировать смесеобразование, а наружный корпус сделать металлическим. Объемная плотность теплового потока в камере сгорания такой топки достигает $1,75$ МВт/м³. Общим недостатком рассмотренных конструкций цилиндрических топок с принудительной подачей воздуха в кольцевые каналы является необходимость применения высокоскоростных дутьевых устройств, позволяющих высокую скорость охлаждающего потока воздуха. В этой связи необходимо отметить определенные преимущества цилиндрической топки барабанного сушильного агрегата Д-620, работающей под разрежением (рис. 13.31, в). Воздух в топку поступает через регулируемые регистры, создавая эффект омыwania кладки, что способствует ее охлаждению. Однако разрежение, необходимое для нормальной работы топки (150—200 Па), не всегда может быть обеспечено. Потери теплоты в такой топке выше, чем в топках с кольцевым зазором.

В отдельную конструктивную подгруппу можно выделить цельнометаллические цилиндрические топки. В этих конструкциях использование высокоскоростных потоков воздуха позволяет до

такой степени интенсифицировать охлаждение камер сгорания, что становится возможным вообще отказаться от традиционной футеровки. Выносная топка (рис. 13.31, *з*) оборудована горелкой с частичной предварительной инжекцией воздуха ($\alpha_1 < 1,0$). Воздух для разбавления продуктов сгорания протекает сначала по периферийному зазору, охлаждая камеру смешения, а затем по внутреннему, охватывающему камеру сгорания. Для увеличения теплоотдачи воздух в каналах закручивается лопаточными регистрами. Топка испытана при плотности теплового потока в камере до $2,0 \text{ МВт/м}^2$. Температура стенок камеры сгорания при суммарном $\alpha = 1,4$ не превышает 750°C , что делает возможным выполнять всю конструкцию из стали марки Х10Н18Т без футеровки.

Теплогенератор конструкции ВИЭСХ для получения низкотемпературного ($150\text{--}200^\circ\text{C}$) теплоносителя выполнен также цельнометаллическим. Максимальная температура сушильного агента, который может быть получен в такой топке, ограничивается наличием вентилятора, подающего теплоноситель в сушила и рециркулируют в топку непосредственно из выхлопного патрубка теплогенератора. Аналогичными характеристиками (максимальная температура теплоносителя до 300°C) обладают различного типа контактные воздухонагреватели, которые могут использоваться в низкотемпературных сушилках малой мощности.

Цилиндрические топки в целом более долговечны и прочны, чем камерные, обладают пониженной материалоемкостью. Топки с кольцевыми зазорами характеризуются высоким КПД (до 98%). Однако требования по уменьшению выброса оксидов азота при конструировании этих топок также не учитываются. Имеющиеся сведения о малой концентрации NO_x в продуктах сгорания низкотемпературных теплогенераторов объясняются не подавлением их образования, а значительным разбавлением продуктов сгорания избыточным воздухом.

В особую группу (рис. 13.32) выделены топочные устройства с нехарактерными для двух предыдущих групп конструктивными признаками. Это — установки, теплотехнические и аэродинамические характеристики которых позволяют сжигать газ в минимальном объеме с высокими значениями объемной плотности теплового потока (до 15 МВт/м^2).

Циклонная топка (рис. 13.32, *а*) имеет тангенциальный подвод газозвушной смеси и вторичного воздуха. Интенсивное разбавление продуктов сгорания и устойчивый поток воздуха, омывающий кладку, обеспечивают надежное ее охлаждение. Средняя температура стенок топки на 50°C ниже средней температуры топочной среды. Циклонные топки в свое время активно исследовались как сжигающие устройства для котлоагрегатов. В качестве одного из преимуществ циклонной камеры отмечалась пониженная температура периферийной части кольцевого потока газов. В описанной циклонной топке сушильного барабана, работающей при значительно больших суммарных избытках воздуха, этот эффект еще

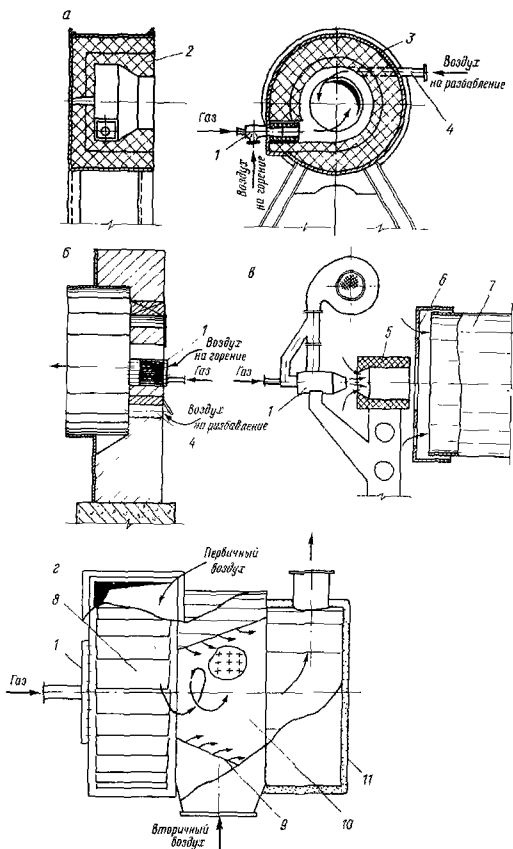


Рис. 13.32. Комбинированные топки.

a — циклонная; *б* — с блочными инжекционными горелками; *в* — топочное устройство АРА; *г* — цельнометаллическая; 1 — газовая горелка; 2 — огнеупорная футеровка; 3 — кожух; 4 — канал для подачи воздуха; 5 — огнеупорный туннель; 6 — регулируемые отверстия для подачи вторичного воздуха; 7 — сушильный барабан; 8 — улиточный завихритель камеры сгорания; 9 — перфорированный конус; 10 — камера смешения; 11 — теплоизоляция.

более заметен. Большая циклонная топка отличается от рассмотренной выше только размерами и трехточечным подводом воздуха на разбавление, что обеспечивает лучшее смесеобразование. Циклонные топки, несмотря на некоторую сложность, применяют все шире благодаря их долговечности, хорошим теплотехническим показателям и возможности регулировать параметры теплоносителя в широком диапазоне.

Одной из самых простых, надежных и удобных в эксплуатации выносных топок сушилок является конструкция, показанная на рис. 13.32, б. Здесь применены блочные инжекционные горелки с периферийной раздачей газа (БИГ), сжигающие газ в жестком компактном факеле. Малая протяженность зоны горения позволила максимально сократить длину топки, сделать ее, по существу, «плоской». Горение частично выносится в барабан сушилки, однако без нежелательного воздействия на обрабатываемый материал благодаря активному разбавлению продуктов сгорания воздухом, поступающим через отверстия на фронтальной поверхности топки. Некоторую ограниченность применения таких топок может вызвать необходимость наличия газа среднего давления (номинальное давление газа для горелок БИГ — 50 кПа), а также неоднородность теплоносителя, поступающего в рабочий объем сушилки.

В финской установке АРА (передвижной асфальтобетонный завод) применено топочное устройство высокой компактности (рис. 13.32, в), имеющее, впрочем, аналоги на отечественных агрегатах Д-597 и Д-508-2 по производству асфальтобетона. Благодаря применению газа среднего давления и вентилятора высокого давления генерируется высокоскоростной факел, активно инжектирующий воздух в небольшой футерованный туннель, где и происходит сгорание. Инжектируемый с периферии воздух создает определенный эффект охлаждения кладки. И хотя срок службы туннеля невелик из-за большой плотности теплового потока, затраты на его восстановление значительно меньше, чем для любой другой выносной топки. Дальнейшее разбавление продуктов сгорания осуществляется воздухом, поступающим через отверстия на фронтальной плите барабана за счет разрежения, что приводит к существенной неравномерности температурных полей потока теплоносителя.

Одной из самых компактных топок, позволяющих получить полностью гомогенизированный сушильный агент, является теплогенератор ТТГ-11 (рис. 13.32, г). В этом устройстве применен принцип так называемого «взвешенного» горения, когда объем, в котором происходит сгорание газа, полностью изолируется от стенок топочной камеры закрученным потоком воздуха. Этот принцип осуществлен достаточно давно в горелке Бедар—Салау, предназначенной для сжигания искусственного газа. Передняя часть теплогенератора ТТГ представляет собой многослойное горелочное устройство с раздачей газа в закрученный улиточным регистром поток воздуха. Несмотря на высокую температуру горения метал-

Сравнение эксплуатационных показателей конструктивных групп выносных топок сушильных установок

Топки	Допустимая плотность теплового потока топочного объема, МВт/м ³	Удельная материалоемкость (кирпич), т/МВт	Срок службы (долговечность кладки), ч	КПД, %
Камерные	0,5—0,7	5—6	Менее 2000	85—90
Цилиндрические	0,8—2,0	0*—5	3000—4000	До 98
Циклонные и прочие особых конструкций	1,5—15	0*—3	5000 и более	До 96

* Для металлических конструкций топок.

лические части устройства не подвергаются значительным температурным нагрузкам, так как они не контактируют с факелом и продуктами сгорания. В следующей по ходу движения газов секции теплогенератора происходит разбавление продуктов сгорания вторичным воздухом. При этом перфорированный конус разбавления надежно охлаждается множеством воздушных струй, настилающихся на его поверхность под действием сносящего потока газов. Недостаток такой конструкции — потребность в высоконапорных дутьевых устройствах ($\rho_{\text{перв}}^{\text{возд}} = 4 \div 5$ кПа, $\rho_{\text{втор}}^{\text{возд}} = 2 \div 3$ кПа). Кроме того, металлическое исполнение неохлаждаемой выхлопной части теплогенератора ограничивает максимальный уровень температуры получаемого теплоносителя (не более 500 °С).

Сравнение обобщенных эксплуатационных и теплотехнических показателей трех рассмотренных конструктивных групп топочных устройств сушильных установок представлено в табл. 13.9.

На рис. 13.33 показана выносная топка ВТ-2,8 для барабанных сушилок, разработанная на кафедре теплотехники и газоснабжения Ленинградского инженерно-строительного института (ЛИСИ).

Основные характеристики топки ВТ-2,8 с горелкой ГМГм

Тепловая мощность, МВт:	
номинальная	2,3
максимальная	3,3
Пределы рабочего регулирования, МВт	0,5—3,3
Диапазон регулирования по α	2,0—5,0
То же, температуры теплоносителя на выходе из топки, °С:	
при подаче всего воздуха через горелку	1100—500
с патрубком разбавления	500—150
Объемная плотность теплового потока, МВт/м ³	До 4,0
Удельный выброс оксидов азота, кг/МДж	Не более $7 \cdot 10^{-4}$
Потери теплоты топки, %	Не более 1
Масса с опорной конструкцией, т	4
Удельная материалоемкость, т/МВт тепловой мощности:	
кирпич	0,69
сталь	0,43
Габаритные размеры (без горелки), мм	1645×1524×1735

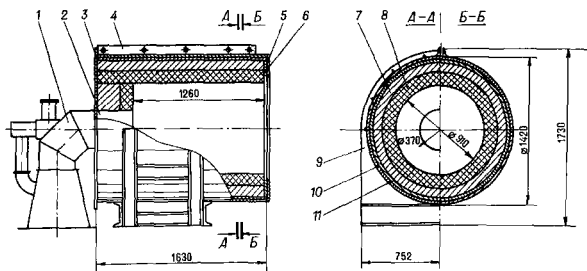


Рис. 13.33. Выносная топка ВТ-2,8 конструкции ЛИСИ для барабанных сушил. 1 — горелка; 2 — амбразура; 3 — фронтной лист; 4 — стягивающая планка компенсатора радиального расширения; 5 — упорное кольцо; 6 — температурный шов; 7 — кладка из теплоизоляционного (легковесного) кирпича; 8 — то же, из огнеупорного кирпича; 9 — опорная конструкция; 10 — корпус; 11 — листовая асбест.

Обращают на себя внимание простота конструкции топки и удобство ее изготовления (благодаря применению корпуса из готовой трубы), малые потери теплоты (не более 1% при полном сгорании), высокая компактность и малая материалоемкость, достигнутые благодаря сильному стеснению факела (отношение диаметров топочной камеры и амбразуры горелки составляет 2,5) и большой объемной плотности теплового потока. Это, однако, не оказывает неблагоприятного воздействия на кладку (температура кладки не более 1000 °С) благодаря пониженному уровню топочного процесса. Значительное снижение потерь теплоты в окружающую среду, а также благоприятное воздействие прямой лучистой передачи теплоты из открытого топочного объема на эффективность теплообмена в сушиле позволили снизить удельный расход газа на единицу продукции (сушка и нагрев песчано-гравийной смеси для асфальтобетона) в среднем на 15—20%.

Принцип радиационной сушки заключается в поглощении обрабатываемым телом инфракрасных лучей, которые, превращаясь в теплоту, нагревают его и обеспечивают за счет этого удаление влаги. Количество поглощаемой энергии зависит от длины волны падающего на тело инфракрасного излучения и поглощательной способности этого тела. Вещества, хорошо пропускающие излучение, мало нагреваются, так же как и вещества, хорошо отражающие инфракрасные лучи. Нагревание вызывается только поглощением лучей.

В общем виде схема процессов, происходящих при проникновении инфракрасных лучей внутрь облучаемых тел, представлена на рис. 13.34. Падающее на однослойный материал инфракрасное излучение (рис. 13.34, а) частично отражается от поверхности материала, а частично проникает в его слой. Часть проникшего

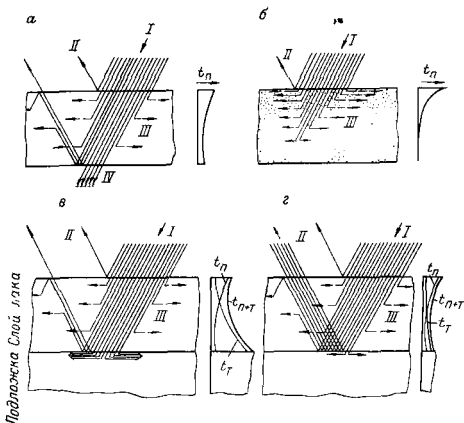


Рис. 13.34. Схема проникновения инфракрасных лучей в одно- и двухслойные материалы.

a—*б* — однослойный материал: *a* — слабое поглощение, *б* — сильное поглощение; *в*—*г* — двухслойный материал: *в* — сильное поглощение вторым слоем, *г* — слабое поглощение вторым слоем; *I*—*IV* — излучения: *I* — падающее, *II* — отраженное, *III* — поглощенное, *IV* — пропущенное; графики температуры: t_n — за счет поглощения излучения; t_T — за счет теплопроводности; $t_{\Sigma+T}$ — суммарной.

излучения поглощается (превращается в теплоту и нагревает материал), незначительная доля его отражается на нижней границе слоя и возвращается в слой материала, а остальная часть пропускается в окружающую среду. Эффективно только инфракрасное излучение, поглощенное нагреваемым материалом. Это излучение, превращающееся в теплоту, используют для сушки однослойного материала.

Справа на рисунке показано распределение температуры в слое материала. На облучаемой поверхности материала температура несколько выше, чем на противоположной. Следует отметить, что схема проникновения инфракрасных лучей и распределение температур по толщине материала в процессе сушки с удалением большого количества влаги несколько меняется. В этом случае одновременно происходят тепло- и массообмен.

На рис. 13.34, *б* показаны проникновение инфракрасного излучения и распределение температуры по толщине слоя для материала с высоким коэффициентом поглощения и достаточной толщиной слоя. Падающее излучение, кроме частично отраженного от

облучаемой поверхности, поглощается материалом и превращается в теплоту, которая приводит к повышению температуры тела и обеспечивает удаление влаги. Этот вариант наибольшего поглощения излучения дает наивысший КПД.

На рис. 13.34, в, г показано облучение двухслойного материала, когда основной материал (подложка) покрыт слоем лака. В первом случае (рис. 13.34, в) в качестве подложки применен материал, хорошо поглощающий лучи (черное листовое железо), во втором — хорошо отражающий их (листовой алюминий). Слой лака хорошо пропускает инфракрасное излучение. Температура на внутренней поверхности лакового слоя в первом случае выше, чем на наружной. В результате этого высыхание лака происходит от внутренней поверхности, которая, соприкасаясь с подложкой, получает от нее теплоту за счет теплопроводности. При такой сушке устраняются различные дефекты покрытия (пузыри, трещины и т. п.), которые характерны для конвективной сушки, когда под действием горячего теплоносителя на поверхности лака за счет более интенсивного испарения образуется тонкая пленка, препятствующая дальнейшему испарению растворителя. В ряде случаев парам растворителя из внутренних слоев приходится проходить через более или менее непроницаемую твердую пленку, которая образуется при конвективной сушке. В результате верхний засохший слой может быть разорван. Сушка инфракрасными лучами обеспечивает не только высокое качество лакокрасочного покрытия, но и возможность интенсифицировать сам процесс сушки.

Для второго случая (рис. 13.34, г), когда подложка обладает сильным отражением и слабым поглощением инфракрасного излучения, в теплоту превращается лишь малая часть излучения, падающего на материал подложки, и температура последней остается низкой. Это — один из неблагоприятных случаев использования инфракрасных лучей для сушки покрытий.

При сушке инфракрасными лучами особое внимание следует обращать на спектральные характеристики излучателя и облучаемого материала. В общем случае максимум энергии излучателя должен совпадать с максимумом поглощения ее материалом. Интенсивность удаления влаги по сравнению с конвективной сушкой увеличивается в несколько раз. Это объясняется тем, что количество теплоты, которое можно передать материалу при радиационной сушке, значительно выше, чем при конвективной. При небольшой разности температур нагревателя и обогреваемого тела теплоотдача излучением и конвекцией различается мало. При увеличении этой разности теплоотдача излучением быстро повышается, в то время как теплоотдача конвекцией растет медленно. Однако, как показывает практика, скорость сушки не всегда можно повысить пропорционально увеличению теплового потока, так как сушка определяется не только скоростью передачи теплоты, но и скоростью перемещения влаги внутри материала, а также требованиями к качеству готовой продукции.

При использовании инфракрасных лучей для сушки можно получить желаемое распределение теплоты в массе обрабатываемого материала, что приводит к ускорению процесса сушки. В этом случае энергия посылается в наиболее целесообразной форме и используется с высоким КПД. Поэтому для некоторых материалов обычную конвективную сушку — процесс привычный и весьма распространенный — можно считать, по существу, нерациональной.

Процессы инфракрасной сушки протекают значительно быстрее и обеспечивают технико-экономический эффект, однако они приемлемы далеко не везде и не во всех условиях. Конвективная сушка по-прежнему еще сохраняет свое значение и широко применяется. Поэтому в настоящей книге даны только те области применения инфракрасной сушки, где этот метод обеспечивает технико-экономический эффект. К ним можно отнести сушку лакокрасочных покрытий, эмалей, керамических изделий, текстиля, фарфоро-фаянсовых изделий, бумаги и картона, сыпучих материалов, некоторых сельскохозяйственных изделий (табак, зерно, и др.), тонких изделий из древесины, литейных форм и стержней и других материалов.

Агрегаты для сушки или сушилки с применением ГИИ (горелок инфракрасного излучения) бывают стационарными и передвижными, камерными и туннельными. Они могут также быть закрытыми и открытыми (без ограждений). Последние применяются для небольших количеств быстросохнущих материалов.

В большинстве случаев целесообразно применять стационарные туннельные сушилки закрытого типа с тепловой изоляцией, так как при открытой установке материал охлаждается потоками внешнего холодного воздуха и, как правило, в этом случае теплота продуктов сгорания газа не используется. При этом увеличивается расход теплоты и уменьшается скорость сушки.

Передвижные сушилки применяются для сушки материалов на месте, например штукатурки стен зданий, окрашенных после ремонта автомобилей, судов и т. д. Сушильные агрегаты обычно проектируют на основании данных о существующих установках, предварительных опытов и расчета.

На основании опыта эксплуатации, проектирования и исследования можно дать некоторые общие рекомендации, которые следует учитывать при разработке и применении сушилок с ГИИ.

1. По технологии сушки.

1. Подвод теплоты к высушиваемому материалу должен быть дифференцированным по времени сушки. В начале процесса к материалу подводится большое количество теплоты. В этот период интенсивное выделение влаги предохраняет высушиваемый материал от опасного повышения его температуры. Когда же материал отдал большую часть влаги, подвод теплоты должен быть уменьшен.

2. При инфракрасной сушке в закрытых сушилах необходимо использовать теплоту продуктов сгорания газа, что повышает КПД сушилки. Часто целесообразно применять рециркуляцию продуктов сгорания.

3. Сушило должно предназначаться для однотипных изделий и материалов, выпуск которых носит массовый характер. Создание конструкции универсальных сушил для различных изделий (тонких и толстых, тяжелых и легких) не оправдывает себя.

4. Инфракрасная сушка может с успехом применяться для изделий простой плоской формы или для тонкослойных материалов.

5. Целесообразно, чтобы у высушиваемых материалов максимум поглощения энергии по длине волны совпадал с максимумом инфракрасного излучения газовой горелки.

6. При сушке неподвижных материалов необходимо особое внимание обращать на равномерность облучения. Это особенно важно для материалов с низкой теплопроводностью, так как в этом случае температура их не выравнивается за счет теплопроводности.

7. При сушке пластин и других плоских материалов целесообразно подводить теплоту с двух сторон.

II. По конструкции сушила.

1. Сечение туннеля должно повторять (насколько возможно) форму высушиваемых изделий. Газовые горелки в камере туннеля устанавливаются из расчета равномерного облучения всех поверхностей изделия. Длина туннеля определяется исходя из необходимой производительности сушила и экспериментально полученного времени сушки.

2. Внутренние поверхности сушильной камеры следует выполнять из материалов с высоким коэффициентом отражения. Практически рекомендуется применять листовую алюминий.

3. Конструкция сушила должна обеспечивать подвод чистого воздуха к ГИИ и исключать попадание продуктов сгорания газа в смесители горелок. При наличии в камере сушила переменного разрежения, абсолютное значение которого может быть более 5 Па, ГИИ целесообразно устанавливать в уравнильных камерах.

4. Давление газа перед горелками должно поддерживаться на строго заданном уровне. Колебание его будет менять температуру излучающей насадки и, следовательно, интенсивность облучения высушиваемого материала, что может привести к некачественной сушке.

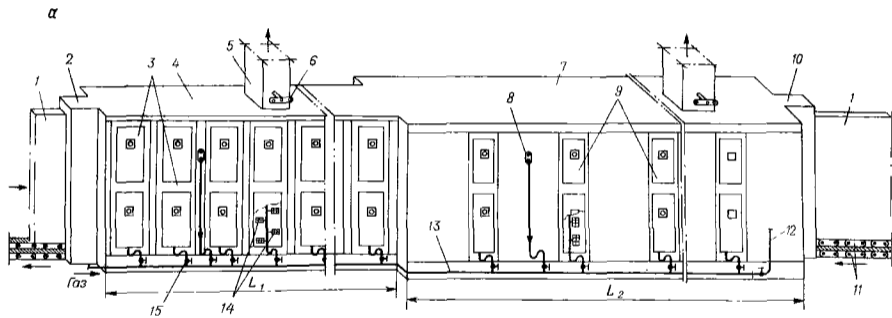
5. Конструкция транспортных устройств для перемещения материала во время сушки не должна мешать облучению изделий; потери теплоты на нагрев транспортных средств должны быть сведены к минимуму.

6. Горелки устанавливаются на сушиле с учетом удобства их эксплуатации и ремонта. В закрытых камерах сушила должны предусматриваться смотровые устройства, необходимые для наблюдения за работой горелок.

7. Промышленные сушила с ГИИ должны быть оборудованы контрольно-измерительными приборами и автоматикой безопасности.

Ниже приведены конструкции некоторых радиационных сушилок с ГИИ. Сушка в производстве строительной керамики является основной операцией технологического процесса. Она занимает значительную часть времени и оказывает основное влияние на прочность и качество изделий. Применение ГИИ интенсифицирует процесс сушки, резко сокращает его время и способствует организации поточного производства. Инфракрасные лучи проникают внутрь керамического материала лишь на несколько миллиметров. Однако теплопроводность влажной керамической массы, особенно если она мелкозернистая, велика и обеспечивает хороший подвод теплоты в глубь материала.

На рис. 13.35 приведена схема газового конвейерного терморрадиационного сушила для крупногабаритных гипсобетонных стеновых перегородок. Высушиваемые изделия представляют собой



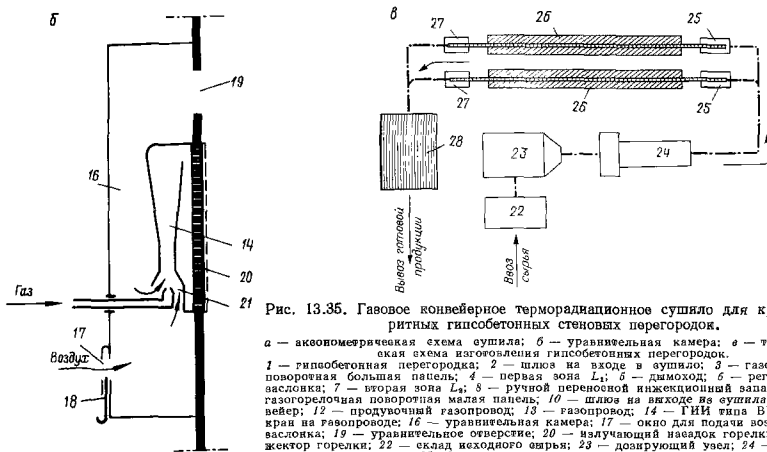


Рис. 13.35. Газовое конвейерное терморadiационное сушило для крупногабаритных гипсобетонных стеновых перегородок.

а — аксонометрическая схема сушила; *б* — уравнивательная камера; *в* — технологическая схема изготовления гипсобетонных перегородок.

1 — гипсобетонная перегородка; 2 — шлюз на входе в сушило; 3 — газогорелочная поворотная большая панель; 4 — первая зона L_1 ; 5 — дымоход; 6 — регулирующая заслонка; 7 — вторая зона L_2 ; 8 — ручной переносной инжекционный запальник; 9 — газогорелочная поворотная малая панель; 10 — шлюз на выходе из сушила; 11 — конвейер; 12 — продувочный газопровод; 13 — газопровод; 14 — ГИИ типа ВИГ-1; 15 — край на газопроводе; 16 — уравнивательная камера; 17 — окно для подачи воздуха; 18 — заслонка; 19 — уравнительное отверстие; 20 — излучающий насадок горелки; 21 — инжектор горелки; 22 — склад исходного сырья; 23 — дозирующий узел; 24 — вибропротактный стан Козлова; 25, 27 — вагрующая и разгружающие площадки сушила; 26 — газовое конвейерное терморadiационное сушило; 28 — склад готовой продукции.

Основные параметры процесса газовой терморadiационной сушки
гипсобетонных перегородок

Параметры сушки	Период сушки	
	1	II
Время сушки τ_0 , мин	50	80
Влажность образца, %:		
начальная	32	19
конечная	19	8
Температура образца, °С:		
начальная	20	90
максимальная	92	90
конечная	90	74
Расход теплоты на сушку 1 м ² образца, МДж	80	20
Коэффициент избытка воздуха в сушильной камере	5—8	10—15
Расстояние от излучающей насадки до перегородки, мм	300	500

стенные перегородки толщиной 70—80 мм, высотой 2,7—3,0 м и длиной 4,5—5,5 м. Начальная влажность перегородки 32, конечная 8—10%.

Сушило (рис. 13.35, а) представляет собой горизонтальную камеру, имеющую форму прямоугольного параллелепипеда, с вертикальными щелями на концах (для входа и выхода) гипсобетонных перегородок. Горелки инфракрасного излучения смонтированы на боковых стенках. В низу камеры сушила размещается роликово-пластинчатый конвейер, обеспечивающий равномерный поток через камеру. В соответствии с кинетикой исследуемого терморadiационного метода сушило (сушилка) разделено на две зоны: L_1 — зона интенсивного подвода теплоты ($Q_1 = 80$ МДж/м²); L_2 — зона «мягкого» подвода теплоты ($Q_2 = 20$ МДж/м²). Теплота к перегородкам подводится с двух сторон. На сушиле установлены горелки типа ВИГ-1.

Согласно экспериментальным исследованиям оптимальное решение обеспечивается равномерным размещением горелок (ГИИ) по всей площади боковых стен камеры сушила в соответствии с двумя режимами сушки. В этом случае в каждой зоне сушила тепловое радиационное облучение поверхности гипсобетонных перегородок было бы наиболее равномерным. Однако такое расщелочение газовых горелок чрезмерно усложняет конструкцию и монтаж сушила, а еще больше его эксплуатацию вследствие трудностей розжига индивидуальных горелок и наблюдения за их работой. Перегородки в камере сушила движутся вдоль установленных с боков горелок, поэтому последние сблокированы по горизонтали и смонтированы в виде отдельных панелей-дверей. Установка газовых горелок в камере сушила на специально сконструированных дверных открывающихся панелях дает возможность

быстрого розжига, визуального наблюдения и контроля за их работой, а также позволяет проводить профилактические осмотры и ремонт без остановки сушила.

Зажигание горелок каждой панели предусматривается с помощью ручной запальной горелки (ручного переносного запальника). Подача газа к горелкам осуществляется от газовых коллекторов, расположенных вдоль камеры сушила, через гибкие резино-тканевые рукава. Транспорт гипсобетонных перегородок по сушилу осуществляется по конвейеру. Входные и выходные отверстия сушильной камеры в целях уменьшения вредных присосов воздуха оборудуются шлюзовыми затворами. Перед входом и выходом камеры сушилки имеются кран-балки для установки на конвейер и снятия с него гипсобетонных перегородок.

Сушило оборудуется необходимыми контрольно-измерительными приборами (КИП). Для наблюдения за разрежением в камере сушила устанавливаются мембранные тягоизмерители. Температурный режим контролируется стационарно установленными термометрами и термопарами.

При высушивании гипсобетонных перегородок до необходимой влажности, равной 8 %, применим режим терморadiационной сушки, заключающийся в дифференцированном подводе теплоты: в начальный I период количество подводимой теплоты должно быть достаточным для поддержания постоянной скорости сушки, а в последующий II период падающей скорости сушки — уменьшено, чтобы не допустить опасного перегрева гипсобетона. Проведенными исследованиями определен режим терморadiационной сушки гипсобетонных перегородок с непрерывным дифференцированным подводом теплоты (табл. 13.10).

Воспользовавшись свойством высушиваемого материала и его высокой начальной влажностью, возможно на начальной стадии процесса в режиме прогрева и постоянной скорости сушки увеличить подводимый поток радиационной теплоты без опасного для перегородки повышения температуры. В период падающей скорости сушки, когда влажность поверхностных слоев перегородки невысокая, необходимо уменьшить поток подводимой теплоты до уровня поддержания безопасной температуры для гипсобетона. Теплота экзотермических реакций гидратации вяжущих способствует при терморadiационной сушке на некоторых стадиях процесса получению аномального распределения температур, по направлению совпадающих с градиентом влажности. Это обстоятельство приводит к дополнительному ускорению удаления влаги из перегородки.

Одним из недостатков конструкций существующих ГИИ является их большая чувствительность к переменному разрежению перед насадкой горелки. Этот недостаток, связанный с изменением коэффициента α_1 , не позволяет устанавливать такие горелки в сушильных камерах с переменным разрежением, которое имеется во всех конструкциях существующих сушилок.

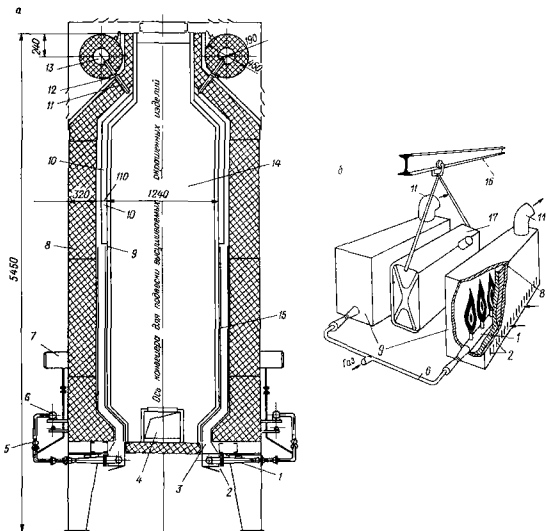
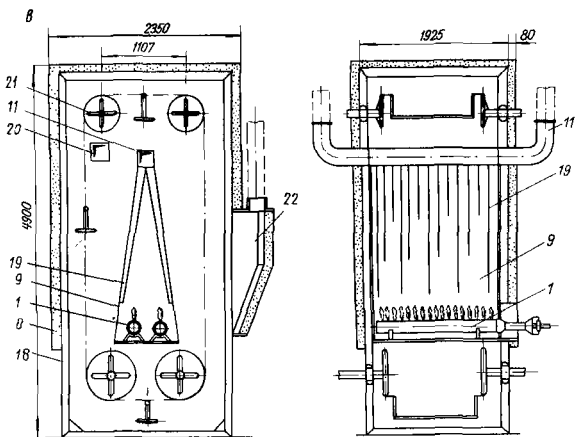


Рис. 13.36. Терморрадиационные сушила для ла

а — для окрашенных листов обшивки железнодорожных вагонов; *б* — для лакокрасочной инжекционной горелки; 2 — отверстие для подсоса вторичного воздуха; 3 — казывающий прибор для измерения давления газа перед горелкой; 8 — теплоизоляция; рания; 12 — регулирующий шибер; 13 — газоход; 14 — проходной туннель; 15 — экран; воздушный короб; 21 — конвейер; 22 —

Уравнительная камера обеспечивает надежную работу серийных ГИИ при переменных разрежениях в сушиле (рис. 13.35, б). Газовая горелка устанавливается в боковом ограждении так, чтобы насадка горелки была обращена к высушиваемому изделию и находилась в зоне разрежения, а инжектор горелки располагался в уравнительной камере, имеющей два отверстия: уравнительное и для подсоса воздуха, которое снабжено заслонкой. Размер уравнительного отверстия определяется из расчета поддержания в уравнительной камере практически такого же разрежения, как и в камере сушила. Разрежения перед насадкой (сушильная камера) и инжектором горелки остаются одинаковыми, а следовательно, не влияют на инжекционную способность горелки и обеспечивают надежную ее работу. Необходимый для горения газа воздух поступает в уравнительную камеру за счет разрежения. Количество его регулируется заслонкой при пусконаладочных работах. Урав-



кокрасочных покрытий с темными излучателями.

ных покрытий бензобак; *в* — для грунта и эмали на стальных изделиях; 1 — многокамера хранения; 4 — рециркуляционный короб; 5 — кран; 6 — газопроводы; 7 — по-9 — темная излучающая панель; 10 — ребра; 11 — патрубок для отвода продуктов сго-16 — монорельс конвейера; 17 — бензобак; 18 — каркас; 19 — ребра излучателя; 20 — зонт для отвода увлажненного воздуха.

нительные камеры позволяют использовать серийные ГИИ без изменений их конструкции в камерах сушил с перепадом разрежений от 1,0 до 100 Па.

Общая технология изготовления гипсобетонных перегородок может быть решена по схеме, показанной на рис. 13.35, в. Основными операциями при производстве гипсобетонных перегородок являются следующие:

1) дозирование компонентов формовочной массы (вяжущего, заполнителей и воды) и приготовление формовочных растворов в дозирующем узле и на стане;

2) формирование крупногабаритных перегородок на вибропркатном стане Козлова;

3) сушка перегородок на двух параллельно работающих газовых конвейерных термораднационных сушилах.

Результаты лабораторных испытаний сушки лакокрасочных покрытий на стальных подложках

Лакокрасочный материал	по вязкости ВЗ-4, Па·с	толщина пленки, мкм	Режим сушки			по твердости мятнику	Эластичность по шкале НИИЛК, мм	Прочность, МПа
			Расстояние от начальной до образования, мм	Температура образца, °С	Время высыхания, мин			
Грунт № 138	25	25	110	110	3	0,57	2	5
	25	25	200	70	6	0,6	1	5
Грунт У-223	28	35	150	85	3	0,44	3	5
	28	210	150	85	15	—	—	—
Лаковая шпательная ЛШ-1								
Эмали:								
ПФ-65	50	25	100	110	3	0,3	1	5
	50	25	200	70	6	0,36	1	5
ПФ-64	50	22	100	110	5	0,4	1	5
	50	22	200	70	10	0,27	1	5
ПФ-57	45	25	100	110	6	0,26	1	5
	45	25	200	70	12	0,3	1	5
Свинцово-сурьмовый грунт	40	30	150	85	20	—	—	—
Эмали:								
У-311	30	30	150	85	3	0,45	3	5
У-417	30	30	150	85	5	0,45	3	5

Применение конвейерных терморadiaционных сушил позволяет организовать непрерывный технологический поток и практически механизировать и автоматизировать производство гипсобетонных стеновых перегородок.

Значительное сокращение времени, повышение экономичности и производительности дает инфракрасная сушка лакокрасочных покрытий, которые служат наилучшим объектом для применения этого вида сушки. Процесс высушивания (запекания) лакокрасочных материалов протекает при одновременном воздействии температуры и кислорода воздуха. В результате сложных химических процессов получают твердую пленку. Длительность этих процессов зависит от метода сушки. При конвективной сушке процесс полимеризации начинается с поверхности покрытия. Образующаяся при этом поверхностная пленка затрудняет удаление растворителя и снижает скорость сушки. При инфракрасной (радиационной) сушке лучи, проникая через слой покрытия, нагревают поверхность подложки. Возникает перепад температур между внутренней поверхностью пленки, соприкасающейся с металлом (подложкой), и ее слоями, находящимися ближе к наружной поверхности покрытия. Наличие температурного градиента, направленного изнутри к поверхности, способствует интенсивному испарению растворителя. Таким образом, при радиационной сушке во внутренних слоях лакокрасочных покрытий градиенты температур и общего

давления паров растворителя совпадают по направлению (от подложки к поверхности покрытия), что способствует интенсификации процессов сушки и полимеризации.

Для сушки лакокрасочных покрытий нашли применение сушила с темным излучателем, варианты которых показаны на рис. 13.36. Темный излучатель сушила для покрытий бензобаков (рис. 13.36, б) представляет собой короб, внутри которого сгорает газ. В нижней части короба установлена многофакельная инжекционная горелка с $\alpha = 0,4 \div 0,6$. Для полного сжигания газа снизу через отверстия подается вторичный воздух. Поверхность излучателя, обращенная к высушиваемому изделию, обычно имеет температуру 350—500 °С, внешняя поверхность теплоизолирована. Продукты сгорания отводятся через специальные патрубки. Поперечное сечение камеры сгорания темного излучателя сверху уменьшается, за счет чего скорость движения продуктов сгорания и коэффициент теплопередачи увеличиваются, а температура по высоте излучающей поверхности остается практически одинаковой. Изделия, проходящие между излучателями, высыхают за счет интенсивного разогрева. В некоторых случаях целесообразно использовать теплоту продуктов сгорания, для чего их направляют в рабочую камеру.

Сушила с темными излучателями конструктивно достаточно просты, надежны в работе и не имеют факела в рабочей камере. Их с успехом применяют для сушки кузовов автомобилей, сельскохозяйственных комбайнов, швейных машин, велосипедов и т. д. В табл. 13.11 приведены некоторые показатели по сушке темными излучателями различных лакокрасочных покрытий.

Переход с конвективной сушки на инфракрасную не обязательно должен сопровождаться разрушением старого сушила и изготовлением нового. Иногда удается, сохранив в основном конвективное сушило, за счет некоторой реконструкции переделать его в инфракрасное.

На рис. 13.36, в показано конвективное конвейерное сушило грунта и эмали на стальных изделиях, переведенное с электрического обогрева на газовый радиационный. Сушило представляет собой металлическую изолированную камеру, внутри которой на месте электрического калорифера смонтирован темный излучатель. Поверхности излучателя нагреваются изнутри за счет сжигания газа. Излучатель выполнен в виде короба, разделенного на две секции, в каждой из которых установлено по одной инжекционной многофакельной горелке низкого давления с $\alpha_1 < 1$. Расход природного газа на горелку 7 м³/ч. Вторичный воздух, необходимый для полного сжигания газа, подается за счет разрежения в топке излучателя через щели в полу. Продукты сгорания отводятся через систему дымоходов и вытяжную трубу.

Внутри рабочей камеры сушила находится цепной непрерывный конвейер. Изделия, загруженные в один ряд на полки-этажерки конвейера, перемещаются вокруг излучателя. При этом вначале

облучается одна сторона изделия, а затем противоположная, благодаря чему достигается практически равномерная сушка. В сушилке предусмотрен обдув изделий. Воздух от вентилятора подается в верхнюю часть сушила и через нагнетательный короб направляется на изделие. Увлажненный воздух поступает под зонт, установленный над загрузочным окном, и выбрасывается наружу.

При серийном производстве в вагоностроительном, автомобильном, тракторном и других производствах требуется сушка окрашенных односторонних металлических конструкций обшивки, плашек, проката, стоек и т. п. Для таких изделий простой геометрической формы целесообразно применять проходные конвейерные газовые терморрадиационные сушильные установки непрерывного действия.

На рис. 13.36, а показан поперечный разрез сушила для окрашенных листов обшивки железнодорожных вагонов. В сушильной камере применены темные излучающие панели, сваренные из стали. Нагрев излучающей поверхности до 350—400 °С осуществляется продуктами сгорания природного газа. В нижней части панели расположены камера сгорания и отверстие для подсоса воздуха, необходимого для поддержания полного сгорания газа и обеспечения соответствующего температурного режима в излучающей панели. В камере сгорания установлены многофакельные Т-образные инжекционные горелки с $\alpha_1 = 0,3 \div 0,6$ и устройства для автоматического зажигания и контроля пламени.

В сечении излучающие панели представляют собой прямоугольник с расстояниями между стенками 100 мм. Снаружи панели теплоизолированы перлитовыми плитами и обшиты тонколистовой сталью. Верхняя и нижняя части панели имеют изгибы, что дает возможность приблизить поверхность излучения и улучшить сушку краев изделий. К внутренней стороне верхней части излучающей панели приварены ребра, а в нижней установлен экран. Это способствует выравниванию температур по высоте излучающей панели. Сушило представляет собой проходной туннель, состоящий из входного и выходного тамбуров с установленными в них воздушными завесами, излучающих и вентиляционных секций. Секции между собой герметизируются асбестовым шнуром и мастикой.

Отвод продуктов сгорания из панели осуществляется через патрубки с шиберами и газоходы. Продукты сгорания, отсасываемые через патрубки излучающих секций, подаются вентилятором на рециркуляцию в рабочую камеру сушила, осуществляя дополнительную конвективную сушку лакокрасочных покрытий изделий. Отработанная смесь продуктов сгорания с воздухом, загрязненная парами растворителя, отсасывается из камеры сушила вытяжным вентилятором и выбрасывается в атмосферу.

Система подачи и сжигания газа состоит из горелок, газопроводов с запорной арматурой, регулирующих и ответных устройств,

продувочного газопровода и трубопровода безопасности, узлов автоматического зажигания и контроля пламени.

Сушило оборудовано КИП и автоматикой регулирования и безопасности. Система КИП и автоматического управления работой сушила состоит из следующих узлов:

- 1) приборов контроля давления газа на подводящем газопроводе и перед каждой горелкой;
- 2) дистанционного розжига газовых горелок;
- 3) контроля пламени горелок;
- 4) приборов контроля и регулирования температур в камере сушилки;
- 5) системы автоматических блокировок и безопасности работы камеры (блокировка с пожаротушением, контроль и отключение подачи газа при образовании взрывоопасных концентраций в рабочей камере сушилки).

Автоматика регулирования обеспечивает поддержание заданной температуры излучающей поверхности панелей. Для этого на панелях установлены поверхностные терморезисторы, связанные с вторичным многооточечным показывающим, записывающим и регулирующим электронным потенциометром, который через ступенчатый импульсный прерыватель дает команду на исполнительный механизм заслонки, находящийся на общем газопроводе перед сушилкой. Исполнительный механизм, управляя заслонкой, уменьшает или увеличивает подачу газа на горелки и тем самым регулирует температуру поверхности темных излучающих панелей.

Розжиг основных горелок осуществляется от специальных запальных горелок, в которых газ поджигается от искры автомобильной свечи, питаемой газосветным трансформатором. Наличие пламени у каждой горелки контролируется автоматом контроля пламени АКП-II. При погасании пламени хотя бы у одной горелки АКП-II дает команду на отсечной электромагнитный вентиль СВМГ, который отсекает подачу газа на сушило.

В рабочем пространстве камеры сушила устанавливается сигнализатор взрывоопасных концентраций, который в случае превышения предельных концентраций растворителя в газовой среде камеры дает команду СВМГ на отсечку подачи газа. Одновременно со срабатыванием электромагнитного вентиля СВМГ останавливается конвейер и подается звуковой или световой сигнал.

Техническая характеристика сушила

Производительность, кг/ч:	
по массе изделий	5000
по массе транспорта (конвейера)	4000
по испаренному растворителю	10,3
по обрабатываемой поверхности, м ² /ч	380
Тип изделий	Охлажденные листы обшивки, стойки, планки, прокат
Режим сушки:	
продолжительность, мин	13
температура, °С	150

Вид лакокрасочного материала	Смесь лака 170 с 15% алюминевой пудры
Топливо	Природный газ с $Q_H = 35,6 \text{ МДж/м}^3$ и $\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$
Расход газа, м ³ /ч	98
Число газовых горелок, шт.	16
Давление газа перед горелками, Па	1500

Одной из крупных проблем сельского хозяйства является сушка сельскохозяйственной продукции, так как собранный урожай нельзя хранить в течение длительного времени, если содержание влаги в нем выше допустимого. Газ является лучшим видом топлива для сушки вообще и сельскохозяйственной продукции в особенности. Чистота продуктов сгорания газа позволяет в ряде случаев подавать их вместе с воздухом непосредственно в сушильные камеры. При использовании газа значительно упрощается конструкция сушильных агрегатов, улучшается регулировка процесса сушки, создаются условия для полной автоматизации процесса, полностью исключается загромождение и засорение территории, уменьшается пожароопасность, особенно по сравнению с твердым топливом, при применении которого необходимо использовать специальные искроулавливающие приспособления. Большую часть сельскохозяйственных продуктов сушат в летнее время, когда имеются большие резервы газа. Сушка многих сельскохозяйственных продуктов ускоряет процесс уборки и повышает сохранность сельскохозяйственных продуктов.

Важнейшей проблемой животноводства до настоящего времени остается проблема заготовки кормов на зимний период. При естественной сушке и силосовании значительная часть питательных веществ разрушается. По данным отдельных организаций потери питательных веществ травами при сушке составляют около 50, а при силосовании около 20%. Даже в самых благоприятных условиях сохраняется не более 25% каротина. Это происходит в результате длительного воздействия на скошенную траву лучей солнца, влаги и тепла. В последние годы начали широко применять искусственную сушку трав в сушильных установках, использующих газовое топливо. Этот способ позволяет сохранить до 80—95% питательных веществ и почти полностью каротин. В результате искусственной сушки получают высококачественный продукт, не уступающий по своей питательности зерновым концентратам и содержащий такое же количество витаминов, какое имеет зеленая трава.

Для сушки трав, кукурузы в початках, гороха, бобов и фуражного зерна в ряде хозяйств применяют сушильную установку 2ЛТС-400, в комплект поставки которой входят теплогенератор ТГ-800, сушильные лотки с цепочно-пластинчатыми транспортерами, воздухопровод, соединяющий теплогенератор с сушильными лотками, а также молотковые дробилки, приемные бункера с циклонами, электрораспределительный щит и контрольно-измерительная

аппаратура. Технология сушки с помощью такой установки заключается в продувке потоком горячей газозоудушной смеси неподвижного слоя травы, размещаемой на решетчатом полотне лотка.

13.15. ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Газовое топливо широко используют в тепловых установках пищевой промышленности: в хлебопекарных и кондитерских печах, для сушки и термической обработки различных продовольственных товаров, копчения мясных и рыбных продуктов и др. Применение газа улучшает санитарно-гигиенический уровень и культуру производства, как правило, повышает производительность печей.

Горючие газы могут быть использованы в технологических процессах по двум направлениям: 1) для косвенного обогрева (замена в существующих установках твердого или жидкого видов топлива газом без значительной реконструкции агрегатов, при сохранении прежней технологии); 2) для прямого обогрева (применение новых агрегатов, непосредственно использующих контакт продуктов сгорания газа с обрабатываемыми изделиями, что обычно приводит к интенсификации процессов термической обработки и увеличению производительности оборудования). Опыт эксплуатации печей различного назначения с непосредственным обогревом показывает, что продукты сгорания газа не оказывают вредного влияния на качество выпускаемой продукции.

Канальные тупиковые печи (ФТЛ-2, УДПГ и др.), широко используемые в хлебопекарной и кондитерской промышленности, являются универсальными как по сжигаемому в них топливу, так и по выпекаемой продукции. Они относятся к печам с косвенным обогревом, т. е. продукты сгорания топлива не контактируют с выпекаемыми изделиями.

При переводе печи типа ФТЛ-2 на газовое топливо ее конструкция сохраняется без изменения. Газовые горелки, чаще всего инжекционные с $\alpha_1 < 1$ при низком давлении газа или с $\alpha_1 > 1$ при среднем давлении, устанавливаются с фронта топki на месте топчанной дверки или по разные стороны от нее. Для предохранения колосниковой решетки от пережога ее перекрывают асбестовым листом и слоем шамотного кирпича.

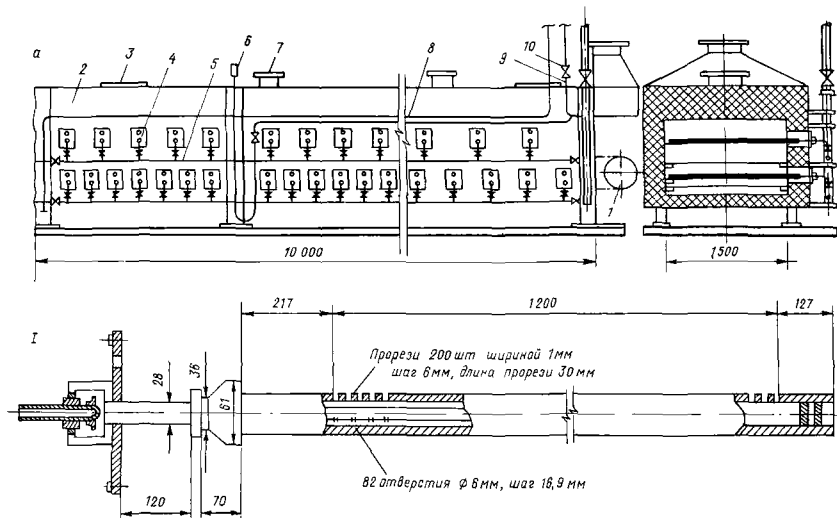
Продукты сгорания из топki по нижнему газоходу и стоякам поступают в радиаторную коробку, затем по передним или задним стоякам в два широких канала верхнего газохода. Передача теплоты в пекарную камеру осуществляется через стенки этих каналов и топki. Для изменения направления движения газов в зависимости от вида выпекаемой продукции используются шиберы. Такое газовое оборудование печей не обеспечивает им существенных преимуществ с точки зрения теплообмена по сравнению с другими видами топлива. Производительность печи практически сохраняется.

Газовое топливо как экологически чистое позволяет сжигать его непосредственно в печной камере. Разработана и применяется целый ряд чисто газовых хлебопекарных и кондитерских печей, в которых интенсифицированы процессы термообработки, повышены производительность и качество продукции.

На рис. 13.37, а дана принципиальная схема газового обогрева печи РМК. Печь состоит из корпуса каркасного типа, конвейерного пода, привода конвейера, системы газопроводов и горелок, установленных в пекарную камеру. Печь условно разделена на четыре зоны длиной по 2500 мм каждая. Пекарная камера представляет собой сквозной туннель, через который проходит конвейерный под с изделиями. В каждой зоне размещено разное число горелок, определенное условиями подвода необходимого по технологическим требованиям количества теплоты к выпекаемой продукции. В печи РМК установлены инжекционные многофакельные горелки с $\alpha_1 < 1$ (на низком давлении газа) (рис. 13.37, б). Общее число горелок 35; расход природного газа на одну горелку 0,75 м³/ч. Применение в пекарной камере газовых горелок ГИИ позволяет интенсифицировать процессы выпечки и повысить качество выпускаемой продукции, так как важной особенностью инфракрасных лучей является их способность проникать на некоторую глубину материала растительного происхождения, в том числе теста. При этом проникающая способность увеличивается с уменьшением длины волны. Кроме того, коротковолновые лучи почти не поглощаются водяными парами, находящимися в пекарной камере между излучателем и изделием. Применение светлых излучателей, имеющих более короткие волны, позволяет получить одновременно и хорошую румяную корку, и хорошо пропеченный мякиш.

Выпечка печенья и хлеба, поджаривание зерен кофе и какао или сухарей и другие процессы требуют довольно высокой температуры (около 200 °С). Горелки ГИИ позволяют достигать таких плотностей облучения изделий, которые приводят к ускорению их термообработки и дают экономический эффект. Наиболее благоприятные условия для применения инфракрасного нагрева создаются при выпечке печенья. При этом достигаются следующие преимущества:

- а) сокращается продолжительность выпечки;
- б) повышается производительность печи без увеличения ее габаритных размеров;
- в) сокращается время разогрева печи;
- г) обеспечивается возможность немедленной остановки печи во время перерывов и в случае неисправности;
- д) уменьшаются удельные расходы теплоты и повышается КПД печи;
- е) обеспечивается хорошее качество выпечки;
- ж) становится возможной организация поточного производства с его полной автоматизацией.



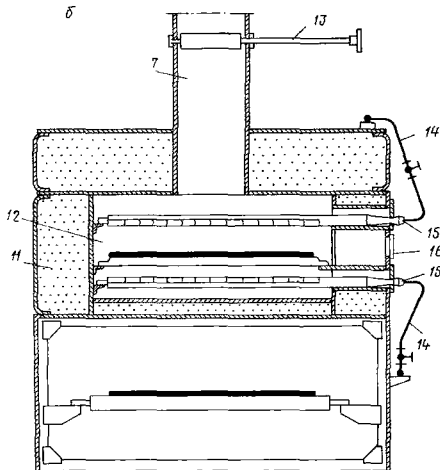
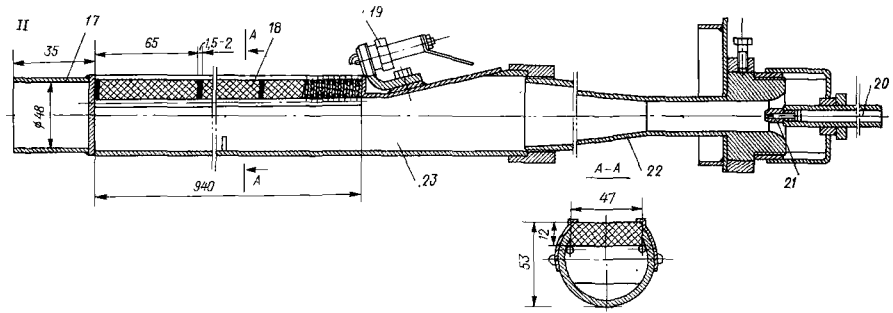


Рис. 13.37. Кондитерские печи прямого обогрева.

a — печь РМК (*1* — инжекционная многофакельная горелка с $\alpha_1 < 1$); *б* — бисквитная печь (*11* — горелка инфракрасного излучения); *1* — конвейер; *2* — сварной корпус печи; *3* — предохранительный взрывной клапан; *4* — инжекционная многофакельная горелка с $\alpha_1 < 1$; *5* — газовый коллектор; *6* — переосной инжекционный запальник; *7* — патрубок для отвода продуктов сгорания; *8* — трубопровод безопасности; *9* — продувочный трубопровод; *10* — vaporная арматура; *11* — теплоизоляция; *12* — пекарная камера; *13* — регулирующая заслонка; *14* — подводящий газопровод (к горелке); *15* — горелки инфракрасного излучения в перфорированном керамическом насадке; *16* — смотровое устройство; *17* — опорный патрубок; *18* — перфорированный керамический излучающий насадок; *19* — электронагревательная свеча; *20* — газовый штуцер; *21* — газовое сопло; *22* — инжекционный смеситель; *23* — распределительная камера.



На рис. 13.37, б показана бисквитная печь завода Киевиродмаш с горелками ГИИ, предназначенная для выпечки различных сортов печенья и устанавливаемая в поточной линии производства. Процесс выпечки непрерывный. Печь состоит из пекарной камеры, печного сетчатого конвейера, камеры охлаждения, газогорелочных устройств и автоматики пуска и безопасности. Печенье выпекается в пекарной камере туннельного типа на непрерывно движущемся конвейере. Теплота к изделию подводится от газовых горелок, установленных сверху и снизу сетчатого конвейера. После выпечки печенье проходит камеру охлаждения и направляется на транспортер. Печь может быть собрана из отдельных легко транспортируемых секций, что обеспечивает ее промышленный монтаж.

В пекарной камере в два ряда установлены 72 горелки инфракрасного излучения, предназначенные для работы на природном газе (по 36 над и под конвейером). Горелки распределены по трем температурным зонам пекарной камеры: I зона (1-я секция) с температурным режимом 280—300 °С оснащена 18 горелками (8 в верхнем и 10 в нижнем ряду); II зона (2-я и 3-я секции) с температурным режимом 320—350 °С имеет 36 горелок (20 в верхнем и 16 в нижнем ряду); III зона (4-я и 5-я секции) с температурным режимом 220—250 °С оборудована 18 горелками (8 в верхнем и 10 в нижнем ряду). Расход газа на горелку 0,65—0,90 м³/ч при давлении перед соплом 1500—3000 Па. Система газопроводов печи выполнена таким образом, что нижняя зона печной камеры имеет самостоятельный газовый коллектор, позволяющий регулировать в допустимых пределах тепловую мощность горелок, а следовательно, и температурный режим зоны. Горелки зажигаются дистанционно электрической искрой от мотоциклетной свечи. Каждая горелка снабжена свечой и бобиной. Смесь продуктов сгорания газа, воздуха и испаренной влаги отводится вентилятором из верхней части пекарной камеры через вытяжные патрубки с регулировочными заслонками. Печь обслуживается одним работником-пекарем.

Хорошие результаты, полученные при выпечке печенья с использованием ГИИ, дали возможность поставить вопрос о применении этих горелок для выпечки крупных изделий из теста, и прежде всего хлеба. При выпечке хлеба необходимо одновременно соблюдать два температурных режима. С одной стороны, для образования качественного мякиша необходима температура около 100 °С; с другой — для образования хорошей корки необходима температура до 170 °С.

Различными отечественными и зарубежными организациями проводятся работы по применению инфракрасного излучения для выпечки хлебобулочных изделий. В качестве энергии здесь применимы газ и электричество. Исследования показали, что поверхность хлебного теста для инфракрасного излучения, посылаемого газовой горелкой с керамической перфорированной насадкой, имеет отражательную способность 0,178. Существенным недостатком этой выпечки является слишком быстрое образование корки,

препятствующей хорошему и равномерному пропеканию мякиша. Этот недостаток может быть устранен введенным в пространство, окружающее выпекаемый хлеб, водяного пара, замедляющего образование корки.

Инфракрасная выпечка хлебобулочных изделий дает хорошие технико-экономические показатели. Время выпечки в зависимости от ассортимента изделий колеблется от 3 до 15 мин. Печи с радиационными горелками для хлебобулочных изделий, как правило, конвейерного туннельного типа.

ГИИ могут быть применены и для получения других продуктовых изделий. Так, сырой кофе поджаривается за 5—7 мин, сухая рожь — за 28 мин с потерей массы 17,5%. Возможно в печах, оборудованных ГИИ, также поджаривать солодовое зерно.

13.16. ПРИМЕНЕНИЕ ГОРЕЛОК ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ

Отопление горелками инфракрасного (лучистого) излучения отличается от обычного тем, что необходимая теплота к потребителю в основном подводится непосредственно излучением. Энергия от насадок горелок распространяется как световые лучи и поглощается облучаемыми предметами, что приводит к их нагреванию. Хотя температура воздуха может быть ниже, чем при конвективном отоплении, создаются условия, при которых человек отдает в окружающую среду не больше теплоты, чем получает и выделяет, т. е. создаются условия теплового комфорта. Это позволяет с помощью газовых инфракрасных горелок обогревать такие помещения и площадки, для которых применение обычных (конвективных) отопительных систем экономически нецелесообразно или технически неосуществимо.

К таким сооружениям можно отнести промышленные цехи с большими потерями теплоты, открытые монтажные и сборочные площадки, открытые спортивные трибуны, плавательные бассейны, выставки, витрины, террасы, открытые кафе, производственные сельскохозяйственные помещения (фермы для содержания скота, птицы, боксы для содержания цыплят), отдельные рабочие места, тротуары улиц, транспортные остановки и т. п. Газовыми излучающими горелками можно обогревать отдельные зоны (части) помещения, в которых работают люди. Отопление газовыми инфракрасными горелками практически лишено тепловой инерции. Сразу после включения система обогрева дает необходимое ощущение комфорта. Это отопление может использоваться также периодически, в течение нескольких часов.

По капитальным затратам и эксплуатационным расходам газовое отопление инфракрасными горелками оказывается более экономичным, чем конвективное. Недостатком системы отопления с ГИИ является необходимость удаления из помещения продуктов сгорания газа. Однако этот недостаток, как показал опыт эксплуа-

тации, может быть устранен с помощью приточно-вытяжной вентиляции.

Системы отопления с ГИИ создают благоприятные микроклиматические условия в отапливаемых помещениях за счет лучистого потока определенной интенсивности, направленного в рабочую зону. Система отопления включает в себя газовый ввод, распределительные и подводящие газопроводы, узел учета расхода газа, горелки ГИИ, запорные устройства, КИП и автоматику дистанционного розжига и безопасности. Система может работать как на природном сетевом газе, так и на сжиженном от групповой резервуарной установки. При газоснабжении от сетей среднего или высокого давления должны предусматриваться ГРП и ГРУ.

Применяемые ГИИ должны быть изготовлены серийно, иметь паспорт завода с технической характеристикой, в котором должна быть указана продолжительность безопасной эксплуатации горелки. ГИИ могут присоединяться непосредственно к газопроводу с помощью металлических труб или резиноканевых рукавов. Крепление рукавов к горелкам и газопроводам должно осуществляться хомутами. Горелки следует устанавливать на несгораемые конструкции, отключающие устройства — перед каждой горелкой или группой горелок до резиноканевого рукава по ходу газа. Розжиг горелок может осуществляться вручную переносным запальником или дистанционно (электроспираль или искровой разрядник).

Отопительные системы с ГИИ, предназначенные для помещений, где отсутствует постоянный обслуживающий персонал, должны быть оборудованы автоматикой, обеспечивающей прекращение подачи газа в случае погасания пламени горелки. Теплоотдачу системы отопления можно регулировать только путем изменения числа включенных горелок.

Расчет системы отопления с ГИИ сводится к комплексному решению следующих вопросов: 1) определение тепловой нагрузки системы отопления; 2) определение числа и типа ГИИ; 3) выбор схемы расположения ГИИ; 4) определение необходимого воздухообмена и выбор общеобменной приточно-вытяжной вентиляции.

Существуют различные временные указания и методы по расчету систем отопления с ГИИ.

Для инженерных расчетов можно рекомендовать уравнение теплового баланса помещения:

$$Q_{\text{н}} = Q_{\text{огр}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{исп}} - Q_{\text{ж}} \quad (13.3)$$

где $Q_{\text{н}}$ — тепловая нагрузка системы отопления, кДж/ч; $Q_{\text{огр}}$ — потери теплоты через ограждающие конструкции помещения (стены, пол, потолок, окна, двери, ворота), кДж/ч; $Q_{\text{в}}$ — то же, на нагрев воздуха, инфильтрующегося в помещение за счет конвекции, а также подаваемого системой вентиляции без предварительного прогрева, кДж/ч; $Q_{\text{исп}}$ — то же, на испарение влаги с мокрого пола и открытых поверхностей воды, кДж/ч (эта статья расхода учитывается для животноводческих помещений); $Q_{\text{ж}}$ — приход теплоты, выделяющейся животными (для животноводческих помещений), кДж/ч.

Кроме того, в этом уравнении могут быть и другие статьи расхода и прихода теплоты, которые следует учитывать исходя из технологии отапливаемого помещения. При выходе продуктов сгорания от ГИИ непосредственно в помещение (наиболее распространенный вариант) температура среды над горелками в верхней зоне помещения на 20—30 °С выше, чем в рабочей зоне. В таком случае целесообразно определять потери теплоты через ограждающие конструкции отдельно для верхней зоны, расположенной выше горелок, и нижней зоны, принимаемая для каждой из них разное значение температуры воздуха в помещении. С учетом этой разницы температур общая зависимость для определения потерь теплоты через ограждающие конструкции, кДж/ч,

$$Q_{огр} = \left(\sum F_i/R_0 \right) (t_v - t_n + m \Delta t) \lambda, \quad (13.4)$$

где F_i — расчетная площадь отдельных видов ограждений, м²; R_0 — сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, ч·м²·°С/кДж (определяется в соответствии с главой СН по строительной теплотехнике); t_p — расчетная температура воздуха внутри помещения при отоплении с ГИИ, °С (принимается на 3—5 °С меньше, чем расчетная температура внутри помещения при конвективном отоплении, определяемая по СНиП); t_n — то же, наружного воздуха для коллодного периода года, °С; $m = F_v/F$ — отношение площади ограждений верхней зоны F_v , расположенной выше горелок, к суммарной площади ограждений всего здания F ; Δt — разность температур воздуха в верхней и нижней зонах, °С; λ — коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждающей конструкции к наружному воздуху (принимается согласно СН по строительной теплотехнике).

Если учесть, что 60% теплоты, получаемой от сжигания газа в ГИИ, передается излучением и что верхняя зона помещения (над горелками) занимает примерно 1/3 общего объема, можно утверждать, что потери теплоты в нижней части помещения практически компенсируются радиационной теплотой ГИИ, а в верхней — теплотой продуктов сгорания.

Потери теплоты на нагрев поступающего в помещение воздуха, ккал/ч, можно определить по следующей зависимости:

$$Q = 1,005 (G_{инф} + G_v) (t_n - t_n), \quad (13.5)$$

где $G_{инф}$ — количество воздуха, инфильтрующегося через притворы окон, дверей и ворот, кг/ч; G_v — количество приточного вентиляционного воздуха, кг/ч (эта величина не принимается в расчет при предварительном подогреве приточного воздуха другими теплоносителями).

Число горелок инфракрасного излучения для системы отопления

$$z = Q_{огр} / (Q_{гн} \eta_c), \quad (13.6)$$

где $Q_{гн}$ — паспортная тепловая мощность одной горелки, кДж/ч; η_c — КПД системы газового отопления с ГИИ (принимается равным от 0,8 до 0,95).

Для расчета систем отопления с ГИИ с организованным отводом из помещения продуктов сгорания через дымоходы можно использовать вышеописанную методику при внесении следующих изменений:

1) потери теплоты через ограждающие конструкции, кДж/ч,

$$Q_{огр} = \left(\sum F_i/R_0 \right) (t_v - t_n) \lambda; \quad (13.7)$$

2) КПД системы отопления с ГИИ η_c следует принимать равным значению лучистого пиromетрического коэффициента ГИИ (0,5—0,6).

Размещение ГИИ обусловлено допустимой плотностью облучения и равномерностью облучения площади пола. По данным ВНИИ гигиены труда и профзаболеваний им. Ф. Ф. Эрисмана АМН СССР и ВНИИГаза, согласованным с Министерством здравоохранения СССР, допустимая интенсивность инфракрасного облучения человека $q_{д}$ на уровне головы (без головного убора) при

**Допустимая интенсивность инфракрасного облучения животных
при непрерывном режиме обогрева**

Животные и их возраст, дни	Параметры микроклимата	
	$t_{в}$, °C	$q_{д}$, кДж/(ч·м²)
Поросята:		
до 20	15—19	630
от 20—30		420
Телята:		
до 30	12—15	550
от 30—60		460

определенной температуре воздуха в помещении может составлять:

$t_{в}$, °C	$q_{д}$, кДж/(ч·м²)
5—9	420—290
10—13	250—210
14—16	170—125

В табл. 13.12 приведены рекомендации по допустимой интенсивности облучения молодняка животных.

На основании медико-биологических исследований принято считать, что отклонение интенсивности облучения до 10% от среднего значения на человека практически не влияет. Исходя из этого неравномерность облучения допускается в пределах 20—30% и определяется из соотношения

$$a = 100(1 - q_{\min}/q_{\max}),$$

где q_{\min} и q_{\max} — соответственно минимальная и максимальная интенсивность инфракрасного облучения, кДж/(ч·м²).

Для обеспечения заданной интенсивности облучения пола и стен необходимо размещать горелки в определенном порядке. При этом учитывают размеры излучающей насадки ГИИ, высоту размещения горелок над полом, расстояние между ними. Интенсивность облучения элементарной площадки (обозначим цифрой 1) от излучающей насадки (обозначим цифрой 2) ГИИ может быть определена по формуле лучистого теплообмена для двух серых тел, произвольно расположенных в пространстве:

$$q = \varphi_{1-2} \varepsilon C [(T_2/100)^4 - (T_1/100)^4], \quad (13.9)$$

где q — интенсивность облучения элементарной площадки 1, кДж/(ч·м²); φ_{1-2} — угловой коэффициент лучистого обмена элементарной площадки 1 с излучателем 2; ε — степень черноты, равная 0,9; C — константа излучения, равная 20,5 кДж/(ч·м²·К); T_2 — абсолютная температура излучателя, К (для ГИИ можно принимать равной 800—850 °C); T_1 — абсолютная температура облучаемой поверхности, К.

Однако в практических расчетах этой формулой пользоваться трудно из-за большой сложности и кропотливости определения и построения эпюр облучения пола. Допустимая неравномерность облучения пола, если горелки расположены горизонтально или близко к этому положению, может быть получена при соблюдении следующей зависимости:

$$l/H \leq 1, \quad (13.10)$$

где l — расстояние между центрами (шаг) ГИИ, м; H — расстояние от пола до ГИИ, м.

Оценку по допустимой облученности можно сделать в этом случае по усредненным данным для всего отапливаемого помещения из соотношения

$$zQ_{\text{ГИИ}}/(\eta_{\text{ГИИ}}F_{\text{п}}) = q_{\text{ср}} \leq q_{\text{д}}, \quad (13.11)$$

где $\eta_{\text{ГИИ}}$ — лучистый пиromетрический коэффициент ГИИ (принимается равным 0,5—0,6); $q_{\text{ср}}$ — средняя интенсивность инфракрасного облучения, кДж/(ч·м²); $F_{\text{п}}$ — отапливаемая площадь пола и стен, м².

В связи с большой отдачей теплоты из-за близости охлаждающих поверхностей и холодных токов воздуха края пола у наружных стен по периметру здания должны получать теплоту на 20—50% больше, чем остальная часть. Кроме того, следует учитывать, что на горелки крайнего ряда уже не действуют соседние. Поэтому необходимо либо уменьшать расстояние между горелками, либо увеличивать их тепловую мощность.

Горелки ГИИ желательно размещать равномерно под потолком по периметру отапливаемого помещения с наклоном излучающей насадки горелки к наружным ограждениям или горизонтально таким образом, чтобы обеспечить необходимую облученность поверхности пола и наружных стен на высоте до 2 м. Единичную тепловую мощность применяемых для отопления ГИИ целесообразно изменять в зависимости от высоты их установки. Для низких помещений следует рекомендовать малые горелки типа «Звездочка», для больших промышленных цехов — горелки ГИИВ-1, КГ-27У-1, ГИИВ-2, «Марс».

Горелки ГИИ следует устанавливать таким образом, чтобы исключалось попадание продуктов сгорания в инжектор горелки. Концентрация оксида углерода в продуктах сгорания газа при горизонтальном положении горелки излучателем вниз из-за частичного подсоса этих продуктов инжектором возрастает в 2—8 раз по сравнению с вертикальным положением. Она становится меньше предельно допустимой при наклоне ГИИ к горизонту не менее 20°.

Помещения с отоплением с помощью ГИИ должны быть оборудованы общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией, обеспечивающей требования технологии основного производства и необходимый воздухообмен для достижения допустимых концен-

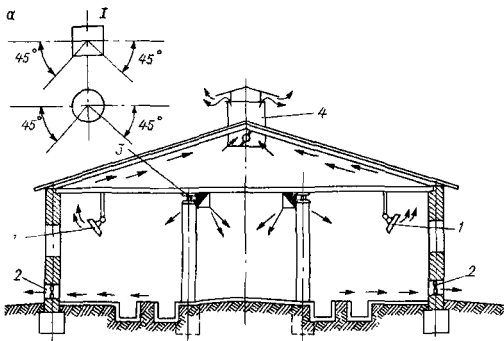


Рис. 13.38. Система газового инфракрасного отопления.

a — схема вентиляции свиричника-маточника; *б* — отопительный агрегат из газовых излучающих горелок ГБП; *в* — газовый брудер; *1* — горелки инфракрасного излучения; *2* — вытяжные каналы с осевым вентилятором; *3* — коллекторы приточной вентиляции; *4* — вытяжная шахта с шибером [*1* — схема коллекторов (в сечении)]; *5* — керамический излучающий насадок; *6* — инжекционный смеситель; *7* — газопровод; *8* — рама; *9* — запальник; *10* — газорегулятор; *11* — кран; *12–13* — трубы; *12* — к горелке, *13* — к запальнику; *14* — шлаковата; *15* — подвеска; *16* — излучающий насадок; *17* — нагреватель; *18* — ножка.

траций вредных веществ от сбрасываемых в помещение продуктов сгорания газа. При проектировании вентиляции необходимо проводить не только расчет технологически вредных веществ, но и поверочный расчет достаточности воздухообмена для удаления водяных паров и вредных веществ, образующихся при сжигании газа.

В табл. 13.13 даны состав продуктов сгорания и расход кислорода для ГИИ. Максимально допустимая концентрация оксида углерода в сухих продуктах сгорания (приведенная к $\alpha = 1$) 0,03 об. %, а максимально допустимый объем V_{CO} , м³ при сжигании 1 м³ газа

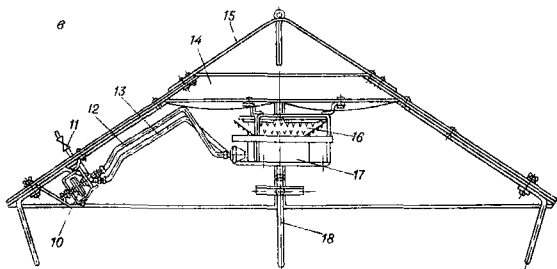
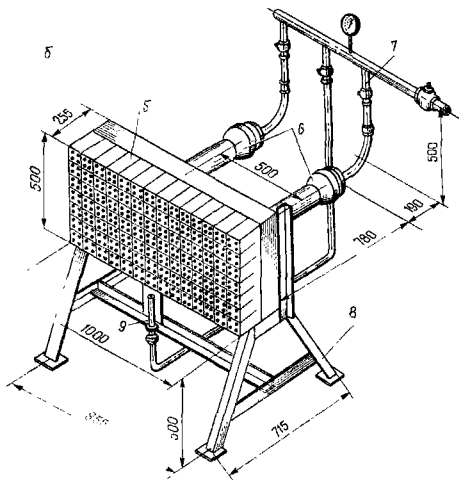
$$V_{CO} = V_{с.п.с} \cdot 0,03/100, \quad (13.12)$$

где $V_{с.п.с}$ — объем сухих продуктов сгорания (на 1 м³ сгоревшего газа), м³ (можно определить по табл. 13.13).

Количество потребного воздуха L_B , м³/ч, для ассимиляции вредных газов

$$L_B = g / (g_d - g_0), \quad (13.13)$$

где g — количество выделяющегося в помещение вредного газа, мг/ч; g_d — допустимая концентрация этого газа в воздухе поме-



щения, мг/м^3 (принимается по СНиП); g_0 — содержание этого газа в приточном воздухе, мг/м^3 .

В производственных помещениях с газовым отоплением с ГИИ концентрация СО не должна превышать 6, в общественных 2 мг/м^3 .

Состав продуктов сгорания и расход кислорода
при сжигании газа в горелках ГИИ (на 10 МДж теплоты)

Показатели	Газ	
	природный	сжиженный
Расход газа V_G , м ³ /ч	0,286	0,110
Объем влажных продуктов сгорания $V_{в.п.с}$, м ³ /ч	3,05	2,86
Концентрация в продуктах сгорания диоксида углерода:		
V_{CO_2} , м ³ /ч	0,286	0,329
g_{CO_2} , кг/ч	0,563	0,647
То же, водяного пара:		
V_{H_2O} , м ³ /ч	0,613	0,477
g_{H_2O} , кг/ч	0,491	0,384
Объем сухих продуктов сгорания $V_{с.п.с}$, м ³ /ч	2,441	2,386
То же, СО в продуктах сгорания при концентрации его 0,005%:		
V_{CO} , м ³ /ч	0,00012	0,000119
g_{CO} , мг/ч	152,7	149,2
Расход кислорода:		
V_{O_2} , м ³ /ч	0,57	0,55
g_{O_2} , кг/ч	0,819	0,785

Для исключения попадания продуктов сгорания от ГИИ в рабочую зону отапливаемого помещения вентиляционная система должна обеспечивать удаление воздуха из верхней зоны выше уровня расположения горелок.

На рис. 13.38, а в качестве примера показана схема вентиляции свинарника-маточника, рекомендуемая ВНИИГазом. Система вентиляции предусматривает следующее.

1. Вытяжку воздуха из помещения:

а) естественную через вытяжные шахты, дефлекторы или шары из верхней зоны помещения для удаления продуктов сгорания газа от ГИИ;

б) принудительную с помощью осевых вентиляторов из нижней зоны помещения для удаления влажного воздуха, углекислого газа и паров аммиака, выделяющихся в результате жизнедеятельности животных.

2. Приток свежего воздуха в помещение принудительно от вентилятора по несгораемым распределительным воздуховодам с отверстиями внизу для равномерной раздачи воздуха. Воздуховоды расположены так, чтобы исключить подсос продуктов сгорания к подаваемому в помещение свежему воздуху.

В коровниках и телятниках рекомендуется осуществлять вытяжку только из верхней зоны, а приток так же, как в свинарниках-маточниках.

Температура на внутренней поверхности ограждающих конструкций $t_{огр}$ помещения во избежание конденсации водяного пара должна быть выше точки росы $t_{т.р}$: $t_{огр} > t_{т.р}$. Точку росы можно определить по $I-d$ -диаграмме в зависимости от относительной влажности и температуры воздуха в помещении.

Для определения $t_{огр}$, °С, ВНИИГаз рекомендует следующую формулу

$$t_{огр} = \sum R_{огр} (q + \alpha_{огр} t_{в}) + t_{н} / (1 + \alpha_{огр} \sum R_{огр}), \quad (13.14)$$

где q — интенсивность облучения на внутренней поверхности наружных ограждений в месте определения температуры, кДж/(ч·м²); $\alpha_{огр}$ — коэффициент конвективного теплообмена внутренней ограждающей поверхности с воздушной средой, кДж/(ч·м²·°С); $\sum R_{огр}$ — суммарное термическое сопротивление ограждения, ч·м²·°С/кДж;

$$\sum R_{огр} = \sum S_{огр} / \lambda_{огр} + 1 / \alpha_{н}, \quad (13.15)$$

где $S_{огр}$ — толщина отдельных слоев ограждений, м; $\lambda_{огр}$ — коэффициент теплопроводности отдельных слоев ограждений, кДж/(ч·м·°С); $\alpha_{н}$ — коэффициент конвективного теплообмена наружной поверхности ограждения с воздухом, кДж/(ч·м²·°С).

Значения $\lambda_{огр}$, $\sum R_{огр}$, $\alpha_{н}$, $\alpha_{огр}$ могут быть найдены и приняты по соответствующим СНиП.

Приближенный расчет тепловой нагрузки системы отопления и определение числа ГИИ можно выполнить по обобщенным усредненным экспериментальным значениям удельных тепловых нагрузок обогреваемой поверхности (пола):

Обогреваемый объект	Удельная тепловая нагрузка (интенсивность инфракрасного облучения), кДж/(ч·м ²)
Закрытые помещения высотой до 5 м при размещении ГИИ на высоте до 4 м	460—565
Закрытые высокие помещения, промышленные цехи без тепловыбросов, спортивные залы и т. п. при размещении ГИИ на высоте от 5 до 8 м	750—960
Сельскохозяйственные помещения (фермы для содержания молодняка, птиц, для дойки и др.)	250—840
Предприятия общественного питания и другие общественные помещения (залы, кафе и т. п.)	250—840
Частично открытые, защищенные от ветра террасы, трибуны и монтажные площадки	960—2100
Сборочно-монтажные площадки, участки ступеней и других промышленных и строительных объектов	До 4200

Приведенными данными можно пользоваться также и при проектировании систем временного обогрева. Выполнение некоторых видов работ связано с необходимостью пребывания людей на открытых или полуоткрытых площадках. В зимнее время на них тяжело работать. Традиционные системы отопления (водяные, воздушные) для таких площадок практически неосуществимы. Применение для местного обогрева ГИИ позволяет создать доста-

точно благоприятные условия микроклимата. Для этих целей могут быть использованы стационарные и передвижные установки (типа шатра, термодуша) с блоками ГИИ. При работе на открытой площадке эти установки могут иметь ограждающие конструкции из листовых материалов для защиты людей от ветра.

При строительстве крупных тепловых и атомных электростанций и проведении пусконаладочных работ применяют временные системы обогрева с газовыми излучающими горелками типа ГБП. Особенности обогрева крупногабаритных строящихся зданий — большая высота (до 70 м) и большое число открытых монтажных проемов. Использовать в таких условиях выпускаемые промышленностью газовые горелки инфракрасного излучения не представляется возможным из-за их малой единичной тепловой нагрузки. Для таких объектов целесообразнее горелки ГБП, имеющие более высокую, чем ГИИ, тепловую мощность. На рис. 13.38, б показан отопительный агрегат из горелок ГБП. Подобные агрегаты монтируют в строящемся здании временно и передают теплоту за счет излучения и конвекции от продуктов сгорания. Исследованиями установлено, что концентрация СО в обогреваемом помещении находится в пределах санитарных норм.

Расчет расхода теплоты $Q_{\text{общ}}$, кДж/ч, на временное отопление крупногабаритных зданий можно выполнить по укрупненным характеристикам:

$$Q_{\text{общ}} = V_{\text{общ}}(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})(xk + c_{\text{в}}\rho n) + Q_{\text{в}} + Q_{\text{м}}, \quad (13.16)$$

где $V_{\text{общ}}$ — общий объем отапливаемого здания, м³; $t_{\text{в}}$ — температура воздуха в здании, °С; $t_{\text{н}}$ — наружная температура воздуха, °С; x — удельная тепловая характеристика здания для временного обогрева, кДж/(ч·м³·°С) (можно принять $x = 0,60$); $c_{\text{в}}$ — удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С); ρ — плотность воздуха при $t_{\text{н}}$, кг/м³; n — кратность воздухообмена в помещении; k — коэффициент, учитывающий изменение удельной тепловой характеристики в зависимости от наружной температуры воздуха; $Q_{\text{в}}$ — расход теплоты на нагрев воздуха, поступающего при открывании ворот и через другие производственные проемы, кДж/ч; $Q_{\text{м}}$ — то же, на нагрев поступающего извне оборудования, материалов, средств транспорта, кДж/ч.

При напольном содержании птицы применяют инфракрасные излучатели, которые позволяют создать зоны повышенного температурного режима для молодняка с помощью брудеров (рис. 13.38, в) или горелок инфракрасного излучения. Брудер представляет собой зонт с газовым обогревателем. Температурный режим регулируется в относительно широких пределах. Влажная и теплая атмосфера в брудере в сочетании с правильным рационом кормления создает условия, при которых цыплята быстро растут и оперяются; при этом обеспечивается высокая сохранность поголовья. Зонт брудера изготовлен из оцинкованной жести и имеет форму усеченной шестигранной пирамиды. Для установки

ТАБЛИЦА 13.14

Рекомендуемая температура в птичнике

Возраст цыплят, дни	Температура, °С	
	в птичнике	в зоне обогрева
1—7	20—24	29—35
8—14	19—24	24—31
15—21	17—22	20—27
22—28	17—21	19—27
29—35	15—19	19—23
36—65	15—21	—

его на заданной высоте и для подъема при очистке пола (по окончании периода инкубации) имеется подъемное устройство со специальной подвеской. Горелки для создания зон повышенных температур (местного обогрева) можно оборудовать соответствующими отражателями.

По мере роста цыплят температуру в птичнике и в зоне обогрева следует постепенно снижать на 3—4 °С в неделю (табл. 13.14).

По имеющимся данным идеальной температурой является 16—18, экономически оптимальной 10—12 и минимально допустимой 6—7 °С.

В связи с высокой температурой излучающих насадок ГИИ и их огнеопасностью системы газового отопления с ГИИ по противопожарным требованиям применять не разрешается в помещениях:

- а) с производствами А, Б, В и Е;
- б) где хранятся горючие и легковоспламеняющиеся материалы и корма;
- в) в животноводческих, крытых соломой и камышом;
- г) не обеспеченных электрическим освещением;
- д) из легких металлических конструкций со сгораемыми утеплителями в ограждениях (стенах и перекрытиях).

Для производственных зданий III, IV и V степеней огнестойкости применение таких систем следует предусматривать по согласованию с органами Госгортехнадзора. Не допускается применять указанные системы отопления также в помещениях с материалами, которые под действием инфракрасного излучения могут изменять свои свойства и разлагаться с образованием токсичных или взрывоопасных веществ.

13.17. ГАЗОВЫЙ ОБОГРЕВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ

В связи с увеличением скорости движения железнодорожных поездов и введением диспетчерской централизации к стрелочным переводам предъявляются более высокие требования. Зимой при

снегопадах и метелях современные стрелочные переводы, оборудованные автоматическими устройствами и сигнализацией, требуют весьма тщательной очистки их ото льда и снега, особенно в зоне прилегания остряка к рамному рельсу. Раньше переводы от снега очищались вручную примитивными подсобными средствами.

Снег в стрелочных желобах накапливается непрерывно при снегопадах, метелях, а также от поездов, движущихся по стрелкам с высокими скоростями. При определенных условиях интенсивность заноса стрелочного желоба может оказаться значительной. Наиболее опасными являются скопления снега на стрелочных подушках, в зоне упорных болтов, корневого крепления и шпальных ящиках с переводными тягами. Несвоевременная очистка желобов стрелки сопровождается при ее переводе запрессовкой снега между остряком и рамным рельсом и препятствует плотному прижатию их.

Для обеспечения бесперебойности и надежности движения поездов, личной безопасности рабочих, качества очистки и устранения ручного труда в нашей стране и за рубежом проводятся большие работы по использованию различных стационарных устройств для очистки стрелочных переводов. В эксплуатационной практике нашли применение три системы очистки стрелочных переводов ото льда и снега: 1) пневматическая; 2) электрический обогрев и 3) газовый обогрев. Первые две системы подробно описаны в специальной литературе, нами здесь не рассматриваются. Отметим только, что пневмоочистка требует сооружения специальной дорогостоящей компрессорной станции и не обеспечивает качественной очистки от мокрого снега; электрообогрев требует больших затрат электрической энергии (10—12 кВт на одну стрелку).

Существуют два варианта газового обогрева стрелочных переводов: верхний и нижний. Установка верхнего газового обогрева представляет собой блок из шести или восьми радиационных горелок, устанавливаемый на высоте 7 м над рельсами стрелочного перевода на специальных колоннах с кронштейнами. Горелки оборудованы рефлекторами, обеспечивающими концентрированный подвод инфракрасных лучей непосредственно к стрелочному переводу и защищающими их от ветра. Эта система обогрева оборудована комплексной автоматикой, осуществляющей зажигание горелок при появлении снега и льда и выключение их при прекращении снегопада. Верхний газовый обогрев в условиях мягкого климата обеспечивает достаточную очистку стрелочного перевода, однако требует весьма больших расходов теплоты, что сдерживает массовое применение этого метода.

Нижний газовый обогрев при любом климате практически дает высокое качество очистки стрелочного перевода и требует в 4—6 раз меньше газа, чем верхний. В качестве обогревателей при этом применяют специальные газовые горелки с керамическими насадками, факельные горелки и темные металлические излучатели.

Если учесть, что в эксплуатационных условиях элементы стрелочного перевода подвергаются интенсивным динамическим нагрузкам и работают в тяжелых метеорологических условиях (низкая температура и сильные ветры), наиболее надежной следует считать установку с применением темных излучателей. Опытно-промышленная установка нижнего газового обогрева, разработанная и испытанная Ленгипроинжпроектom (рис. 13.39, а), состоит из 14 темных излучателей (обогревателей), системы газопроводов и автоматики дистанционного розжига и контроля. Газовые обогреватели располагаются под рамными рельсами в шпальных ящиках, по 7 шт. на каждый рельс. Для более интенсивного нагревания стрелки в месте примыкания остряка первые три обогревателя устанавливаются в каждом шпальном ящике, остальные — через один шпальный ящик. В месте расположения привода стрелки обогреватель имеет меньшие габаритные размеры топki, однако достаточные для полной очистки от снега и льда шпального ящика и тяг.

Газовые и электрические коллекторы прокладывают вдоль стрелочного перевода (у торцов шпал). Против мест установки обогревателей как газовые, так и электрические коллекторы имеют соответствующие отводы для подключения газовых горелок и устройств автоматики розжига. Газовые коллекторы разъемными и резиновыми шлангами соединены с подводящим газопроводом, что исключает замыкание рельсовых цепей. Концы электрических коллекторов также резиновыми шлангами соединены со шкафом, в котором расположена аппаратура для розжига и контроля горелок.

Темный излучатель (рис. 13.39, б) состоит из металлической сварной камеры прямоугольной формы, газовой инжекционной горелки среднего давления с кольцевым стабилизатором и крепежных устройств. Газ сжигается в камере коротким жестким факелом. Изогнутый верхний излучающий экран камеры крепится на рамном рельсе и передает теплоту как рамному рельсу и остряку, так и в пространство между ними. Продукты сгорания газа выходят из двух отверстий, расположенных под верхним экраном, и используются для дополнительного обогрева остряка и башмаков стрелочного перевода.

Инжекционная горелка (рис. 13.39, в) состоит из цилиндрического смесителя ($d_y = 20$ мм), огневой насадки с кольцевым стабилизатором, цилиндрического инжектора с четырьмя отверстиями ($d = 10$ мм), газового сопла, сетчатого фильтра, защитного козырька и автомобильной свечи для розжига горелки. Горелка работает с коэффициентом $\alpha_1 = 1,1 \div 1,2$. Перед соплом горелки давление природного газа 40—70, сжиженного 80—110 кПа.

Образующаяся в смесителе газоздушная смесь выходит из устья горелки и при подаче на свечу импульса напряжения воспламеняется. Для устойчивости пламени, исключаяющей отрыв его

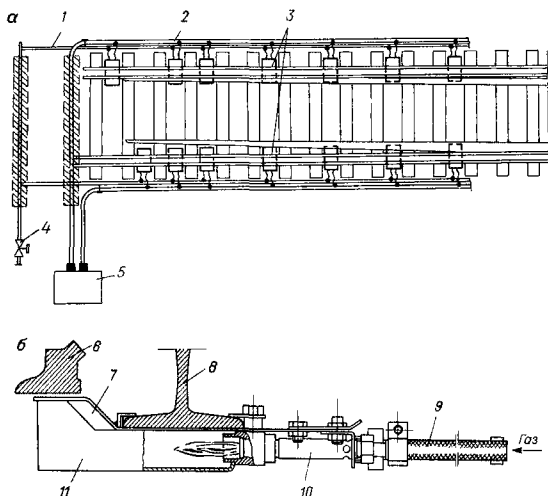
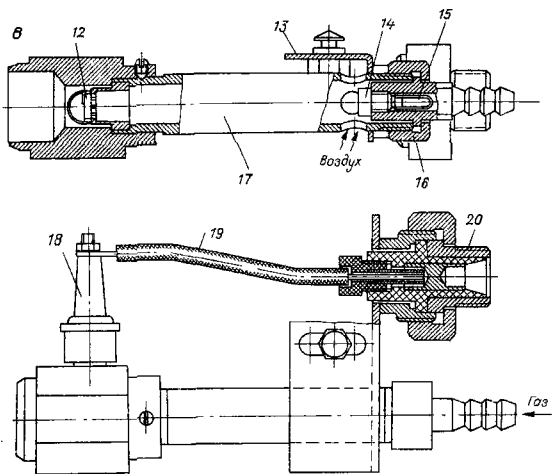


Рис. 13.39. Газовый обогрев желез

a — общий вид установки; *б* — тепловой излучатель; *в* — газовая инжекционная горелка; *г* — лучатель (обогреватель); *4* — электромагнитный клапан; *5* — блок автоматики розжига
8 — рамный рельс; *9* — резинотканевый рукав; *10* — инжекционная горелка; *11* — ка
15 — сопло; *16* — фильтр; *16* — гайка; *17* — смеситель; *18* — автомоби

от устья, в огневом насадке горелки установлен кольцевой стабилизатор. Через 12 радиальных отверстий часть газоздушной смеси отводится в камеру, где скорость ее за счет расширения падает и образуется устойчиво горящее кольцо, которое постоянно стабилизирует основной факел внутри камеры сгорания. Подсос инжектором необходимого количества воздуха и правильно выбранный объем камеры сгорания обеспечивают полное сжигание газа внутри нее и равномерный нагрев поверхности камеры до 300 °С. Нагрев элементов стрелочного перевода происходит за счет теплопроводности, теплового излучения и теплоты продуктов сгорания.

В камере сгорания поддерживается противодавление 5 Па. Это увеличивает скорость выхода продуктов сгорания через отверстия камеры до 3 м/с и исключает подсос в камеру паров жидкости при попадании ее на экран обогревателя, что уменьшает возможность воспламенения горючей жидкости, капающей из проходящих по рельсам мимо цистерн.



нодорожного стрелочного перевода.

1—2 — коллекторы: 1 — газовый, 2 — электрический; 3 — металлический темный из-и контроля горелок; 6 — остряк; 7 — отверстие для отвода продуктов сгорания газа; мера сгорания; 12 — стабилизатор горения; 13 — защитный козырек; 14 — газовое льяная свеча; 19 — высоковольтный провод; 20 — монтажный разъем.

При работе обогревателя основные конструкции стрелочного перевода (рамный рельс, остряк и башмаки) нагреваются до 30—70 °С, что при любых морозах, снегопадах и метелях обеспечивает необходимую очистку проезжей части стрелочного перевода от снега и льда. Тепловая мощность установки в зависимости от метеорологических условий и климатического пояса может меняться в широких пределах, в среднем она составляет 35 кВт. Эксплуатационные испытания показали, что при включении установки к лед и снег быстро тают, а образовавшаяся вода испаряется.

Установка оборудована автоматикой безопасности и дистанционного пуска газовых горелок. Горелка разжигается от искры, создаваемой автомобильной электросвечой, установленной в огневом насадке (стабилизаторе) и питающейся напряжением 15 кВ через автомобильные распределители от двух авиационных обмоток (по одной на каждую сторону стрелочного перевода). Система безопасности обеспечивает отключение подачи газа с выдачей сигнала на пульт управления при погасании пламени на любой га-

зовой горелке. Исполнительным органом для дистанционного пуска газа, остановки и аварийного отключения служит соленоидный вентиль. Все оборудование и приборы автоматики komponуются в металлическом шкафу, установленном около стрелочного перевода. Пульт управления и контроля может отстоять от установки обогрева на десятки и даже сотни километров.

На железных дорогах ФРГ, Великобритании, Нидерландов и Швейцарии применяют газовые обогревательные установки, оборудованные ГИИ с перфорированными керамическими насадками. Такие ГИИ устанавливают с наружной стороны рамного рельса (в виде коробок) на определенном расстоянии друг от друга. Дистанционное зажигание, отключение и контроль производится автоматически. Недостатками таких решений являются низкая стойкость керамических насадок к динамическим нагрузкам и недостаточный нагрев острия в отжатом положении при суровых климатических условиях (низкие температуры и сильный снегопад).

Газовые обогревательные установки могут работать как на природном газе, так и на сжиженном пропане. На крупных станциях, вблизи которых имеются газопроводы, как правило, применяют природный газ, на промежуточных отдельных пунктах, постах примыкания и одиночных стрелках — сжиженный. Для хранения этого газа используют подземные резервуары или групповые газобаллонные установки. Запас газа устанавливают с учетом числа обогреваемых стрелок и метеорологических условий. Обычно его принимают из расчета непрерывной работы обогревательных установок в течение наиболее затяжных метелей и снегопадов, наблюдавшихся в данной местности.

Качество очистки стрелочных желобов от снега и льда зависит от тепловой мощности обогревателей и схемы их размещения на стрелке. Определение тепловой мощности обогревателей выполняется на основе теплового расчета и экспериментальных испытаний.

13.18. ГАЗОВЫЙ ОБОГРЕВ АВТОМОБИЛЕЙ НА ОТКРЫТЫХ СТОЯНКАХ

С каждым годом в стране увеличивается число находящихся в эксплуатации автомобилей. Ввиду высокой стоимости строительства гаражей автомобили во многих автохозяйствах хранятся на открытых стоянках. В этом случае запуск двигателя зимой очень затруднен. Для ускорения и улучшения условий запуска двигателя применяют специальные технические средства и приемы для разогрева блока цилиндров и масла двигателя с использованием различных теплоносителей (горячая вода, пар, факел, электроэнергия и т. п.). Однако эти средства и приемы в связи со сложностью и неэффективностью не получили широкого применения. Недостатки существующих систем обогрева могут быть устранены

использованием метода нагрева инфракрасным излучением, который позволяет обеспечить сосредоточенный и эффективный подвод теплоты к двигателю автомобиля.

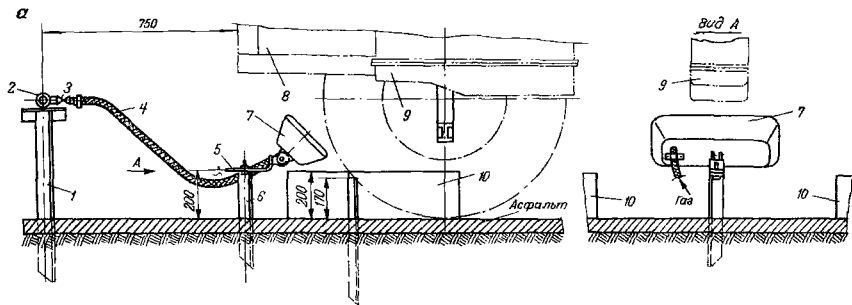
ВНИИГаз, Южнингипрогаз, НИАТ и НАМИ проведены экспериментальные работы и эксплуатационные испытания по созданию установок газового обогрева автомобилей и тракторов с применением серийных конструкций ГИИ.

По условиям эксплуатации могут применяться межсменный или предпусковой обогревы двигателей автомобилей. Межсменный обогрев должен обеспечивать рабочее состояние автомобиля (непрерывный подогрев воды и при температуре ниже -25°C дополнительно подогрев масла в картере двигателя и заднего моста) в течение всего времени межсменной стоянки. Предпусковой обогрев осуществляется за 30—40 мин до выхода автомобиля в рейс. В этом случае система охлаждения заполняется горячей водой и с помощью ГИИ разогревается масло в картере двигателя и заднего моста. Для двигателей с охлаждением антифризом одновременно с разогревом маслом осуществляется разогрев охлаждающей жидкости.

Системы газового обогрева автомобилей применяют для открытых стоянок, они могут работать на природном или сжиженном газе. Установки газового обогрева могут быть стационарными с неподвижными смонтированными ГИИ и с переносными ГИИ, подсоединяемыми к подводющим газопроводам специальными резиноканевыми шлангами длиной до 10—12 м, а также передвижными с автономным питанием от газобаллонной установки. Стационарные установки применяют для больших автопарков с определенными местами для стоянок автомобилей.

На рис. 13.40, а показана стационарная установка для обогрева двигателей грузовых автомобилей с неподвижными ГИИ. Под автомобилем перед картером 9 на отдельной стойке 6 с помощью кронштейна 5 устанавливается горелка 7 ГИИВ-2, наклоненная под углом 45° к горизонту так, чтобы излучающая насадка была обращена в сторону нижнего водяного патрубка радиатора и передней стенки картера и находилась от них на расстоянии 500—600 мм. Крепление горелки допускает регулировку угла наклона и расстояния от картера. Конструкция обогревательной установки основана на принципе фиксированного размещения автомобиля 8 над горелкой 7, для чего предусмотрены специальные железобетонные упоры-фиксаторы 10. На стоянку автомобиль въезжает передним ходом в образованную упорами ловушку и останавливается. Газ к горелке подводится по резиноканевому шлангу 4, подсоединенному к газовому коллектору 2, который крепится на стойке 1. Для отключения подачи газа к горелке на отведении установлен кран 3.

Рекомендуемое давление перед горелкой для природного газа составляет 2000, для сжиженного 4000 Па. В автопарках такие обогревательные установки делаются групповыми, на несколько



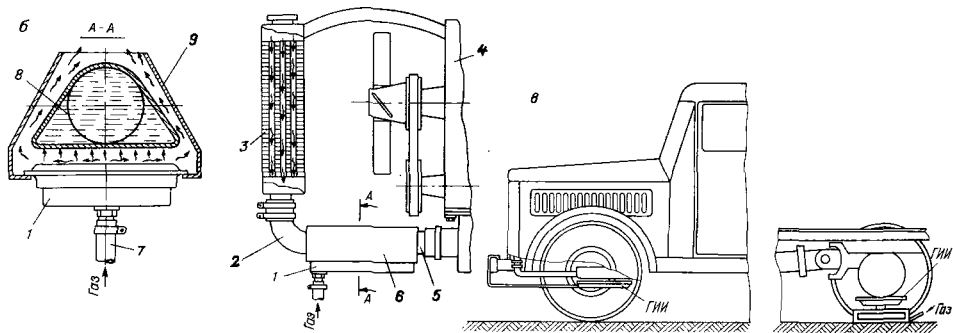


Рис. 13.40. Обогрев автомобилей на открытых стоянках с применением горелок инфракрасного излучения, а — стационарная установка для обогрева двигателей грузовых автомобилей с неподвижными ГНИ; б — обогрев с теплообменником (1 — горелка, 2, 6 — патрубки, 3 — радиатор, 4 — двигатель автомобиля, 6 — теплообменник, 7 — штуцер, 8 — бачок, 9 — кожух теплообменника); в — схема установки ГНИ под картер двигателя и заднего моста автомобиля при разогреве масла.

десятков или даже сотен автомобилей. Они komponуются, как правило, в один или несколько рядов с учетом возможности свободного подъезда каждого автомобиля к месту обогреваемой стоянки.

Система обогрева с горелками ГИИВ-2 (или две ГИИВ-1) обеспечивает надежный подогрев автомобиля при температуре наружного воздуха до -25°C и скорости ветра 3 м/с. Горелки разжигаются вручную газовым переносным запальником или дистанционно электрическими методами. Работа горелки контролируется при помощи биметаллического терморегулятора, который в случае погасания горелки замыкает электрическую цепь и подает световой или звуковой сигнал на щит оператора.

На рис. 13.40, б показана стационарная установка для межсменного подогрева двигателя автомобиля с помощью переносных ГИИ типа «Звездочка» 1 через теплообменник 6, монтируемый на двигателе 4 автомобиля. Теплообменник 6 состоит из бачка 8 вместимостью 1 л с патрубками 5 и 2, при помощи которых через резиновые шланги соединяется с системой охлаждения двигателя. Бачок закрывается кожухом 9, в нижней части которого имеется отверстие с направляющими для установки горелки. Расстояние от излучающей насадки горелки до дна бачка 10—15 мм. Нагрев охлаждающей жидкости в бачке приводит к естественной циркуляции ее в системе охлаждения и к разогреву всего двигателя. Продукты сгорания газа отводятся из верхней части кожуха и, омывая двигатель, дополнительно его прогревают. Кожух также защищает ГИИ от задувания ветром, а направляющий кожух — окрашенные поверхности автомобиля и резиновые детали от прямого воздействия инфракрасных лучей, в связи с чем устраняется необходимость установки на автомобиле огнестойких защитных экранов, которые требуются при обогреве двигателя горелками ГИИВ-1 и ГИИВ-2.

Система обогрева с ГИИ типа «Звездочка» более экономична и обеспечивает надежный и устойчивый подогрев двигателя автомобиля при температуре наружного воздуха до -45°C и при скорости ветра до 10 м/с. Место установки автомобиля при таком разогреве двигателя строго не фиксируется. Переносная горелка позволяет также при необходимости осуществлять подогрев масла в картере двигателя и заднего моста.

При небольшом числе обогреваемых автомобилей и переменном месте их открытой стоянки целесообразнее применять передвижные обогревательные установки, которые работают на сжиженном газе (пропан-бутане) от баллонов вместимостью 27 и 55 л. Передвижная установка состоит из ГИИ, устройства для ее крепления (кронштейн, салазки), баллона сжиженного газа, регулятора давления газа, резиноканевого рукава и других мелких деталей. Эти установки могут быть использованы как для межсменного, так и для предпускового обогрева автомобилей. Схема размещения ГИИ в передвижных установках может быть

принята либо аналогичная таковой для переносных горелок (рис. 13.40, б), либо показанная на рис. 13.40, в.

Для разогрева легковых автомобилей может быть использована переносная газовая горелка типа «лопата». Обогрев двигателей с помощью ГИИ может также с успехом применяться для тракторов и другой моторной техники.

Эксплуатировать систему газового обогрева могут только лица, специально обученные и сдавшие экзамен в соответствии с «Правилами безопасности в газовом хозяйстве». Для соблюдения пожарной безопасности площадка газового обогрева автомобилей должна быть оборудована соответствующими средствами пожаротушения и безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ахмедов Р. Б. Дутьевые газогорелочные устройства. — М.: Недра, 1977. — 263 с.: ил.
- Ахмедов Р. Б., Цирульников Л. М. Технология сжигания горючих газов и жидких топлив. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Недра, 1984. — 238 с.: ил.
- Брук Ю. Г. Сжигание газа в нагревательных печах. — Л.: Недра, 1977. — 165 с.: ил.
- Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М.: Физматгиз, 1963. — 708 с.
- Волков М. А., Коротеев Т. И., Волков В. А. Эксплуатация котельных установок на газобразном топливе. — М.: Стройиздат, 1976. — 239 с.: ил.
- Газовое оборудование, приборы и арматура: Справ. пособие/Под ред. Н. И. Рябцева. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1985. — 527 с.
- ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78). ГСИ. Единицы физических величин. — М.: Изд-во стандартов, 1979. — 39 с.
- ГОСТ 9.015—74*. Единая система защиты от коррозии и старения. Подземные сооружения. Общие технические требования. — М.: Изд-во стандартов, 1974. — 80 с.
- ГОСТ 16350—80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. — М.: Изд-во стандартов, 1973. — 40 с.
- Гусовский В. Л., Лифшиц А. Е., Тымчак В. М. Газогорелочные устройства и отопление нагревательных печей. — М.: Металлургия, 1967. — 259 с.: ил.
- Делягин Г. Н., Лебедев В. И., Пермяков Б. А. Теплогенерирующие установки. — М.: Стройиздат, 1986.
- Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. — М.: Госэнергоиздат, 1960. — 466 с.
- Инструкция по защите городских подземных трубопроводов от электрохимической коррозии. — М.: Стройиздат, 1974. — 191 с.
- Исламов М. Ш. Проектирование и эксплуатация промышленных печей. — Л.: Химия, 1986. — 277 с.
- Исламса М. Ш. Пуск и наладка печей химических заводов. — Л.: Химия, 1980. — 228 с.
- Использование газа в промышленных печах/Я. С. Глозштейн, Д. В. Карпов, Л. Н. Муромский, Н. В. Арапов. — Л.: Недра, 1967. — 423 с.
- Иссерлин А. С. Основы сжигания газового топлива. — Л.: Недра, 1987. — 331 с.
- Кривоногов Б. М. Повышение эффективности сжигания газа и охрана окружающей среды. — Л.: Недра, 1986. — 273 с.
- Кряжев Б. Г., Дудин И. В., Мерлин А. Е. Справочник для работников газовых служб в сельском хозяйстве. — М.: Недра, 1986. — 317 с.
- Курюкин С. А. Системы газоснабжения предприятий. — Л.: Госоптехиздат, 1962. — 291 с.
- Лавров Н. В., Розенфельд Э. И., Хаустович Г. П. Процессы горения топлива и защита окружающей среды. — М.: Металлургия, 1981. — 240 с.

- Лазарев В. П., Михеев В. П., Демидова В. Н. Экономия газового топлива. — М.: Недра, 1973. — 147 с.
- Левиц А. М. Принципы рационального сжигания газа. — Л.: Недра, 1977. — 247 с.
- Медников Ю. П., Дымов Г. Д., Рейхерт К. Х. Эксплуатация промышленных печей и сушил на газовом топливе. — Л.: Недра, 1982. — 231 с.
- Михеев В. П., Медников Ю. П. Сжигание природного газа. — Л.: Недра, 1975. — 391 с.
- Нелцез З. Ф., Арсеньев Г. В. Теплоэнергетические установки и теплоснабжение. — М.: Энергоиздат, 1982. — 397 с.
- Панюшева З. Ф., Столпнер Е. Б. Наладка отопительных котлов, работающих на газе. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Недра, 1986. — 152 с.
- Правила безопасности в газовом хозяйстве Госгортехнадзора СССР. — М.: Недра, 1983. — 128 с.
- Преображенский Н. И. Контроль за рациональным использованием газа. — Л.: Недра, 1983. — 368 с.
- Промышленная трубопроводная арматура: Каталог. Ч. 1. — 3-е изд., исправл. и доп. — М.: ЦИНИХимнефтемаш, 1976. — 190 с.
- Равич М. Б. Газ и его применение в народном хозяйстве. — М.: Наука, 1974. — 357 с.
- РД 50—213—80. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами. — М.: Изд-во стандартов, 1982. — 320 с.
- Северинец Г. Н. Применение газовых излучающих горелок для сушки и нагрева. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Недра, 1980. — 167 с.
- Северинец Г. Н., Шкарковский А. Л. Совершенствование сжигания газа в выносных топках сушильных установок. — М.: ВНИИГазпром, 1979. — 31 с.
- Современные конструкции трубопроводной арматуры: Справ. пособие/Под ред. Ю. М. Котельского. — М.: Недра, 1970. — 327 с.
- Спейшер В. А. Огневое обезвреживание промышленных выбросов. — М.: Энергия, 1977. — 263 с.
- Спейшер В. А., Горбаченко А. Д. Повышение эффективности использования газа и мазута в энергетических установках. — М.: Энергия, 1974. — 208 с.
- Справочник эксплуатационника газифицированных котельных/Под ред. Е. Б. Столпнера. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Недра, 1988. — 608 с.: ил.
- Стаскевич Н. Л. Справочное руководство по газоснабжению. — Л., Гостонтехиздат, 1960. — 865 с.
- Стаскевич Н. Л., Вяздорчик Ц. Я. Справочник по сжиженным углеводородным газам. — Л.: Недра, 1986. — 543 с.
- Уревич А. Л. Краткий справочник работника газового хозяйства. — Минск, Беларусь, 1978. — 308 с.
- Федоров Н. А. Техника и эффективность использования газа. — М.: Недра, 1983. — 311 с.
- Чепель В. М., Шур И. А. Сжигание газов в топках котлов и печей и обслуживание газового хозяйства предприятий. — 7-е изд., перераб. и доп. — Л.: Недра, 1980. — 591 с.
- Шур И. А. Газорегуляторные пункты и установки. — Л.: Недра, 1985. — 288 с.
- Шур И. А. Средства повышения безопасности работы газифицированных котельных. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Недра, 1978. — 190 с.
- Щукин А. А. Промышленные печи и газовое хозяйство заводов. — М.: Энергия, 1973. — 221 с.

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**Стаскевич Николай Лукич,
Северинец Георгий Николаевич,
Вигдорчик Дарий Яковлевич**

**СПРАВОЧНИК ПО ГАЗОСНАБЖЕНИЮ
И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ГАЗА**

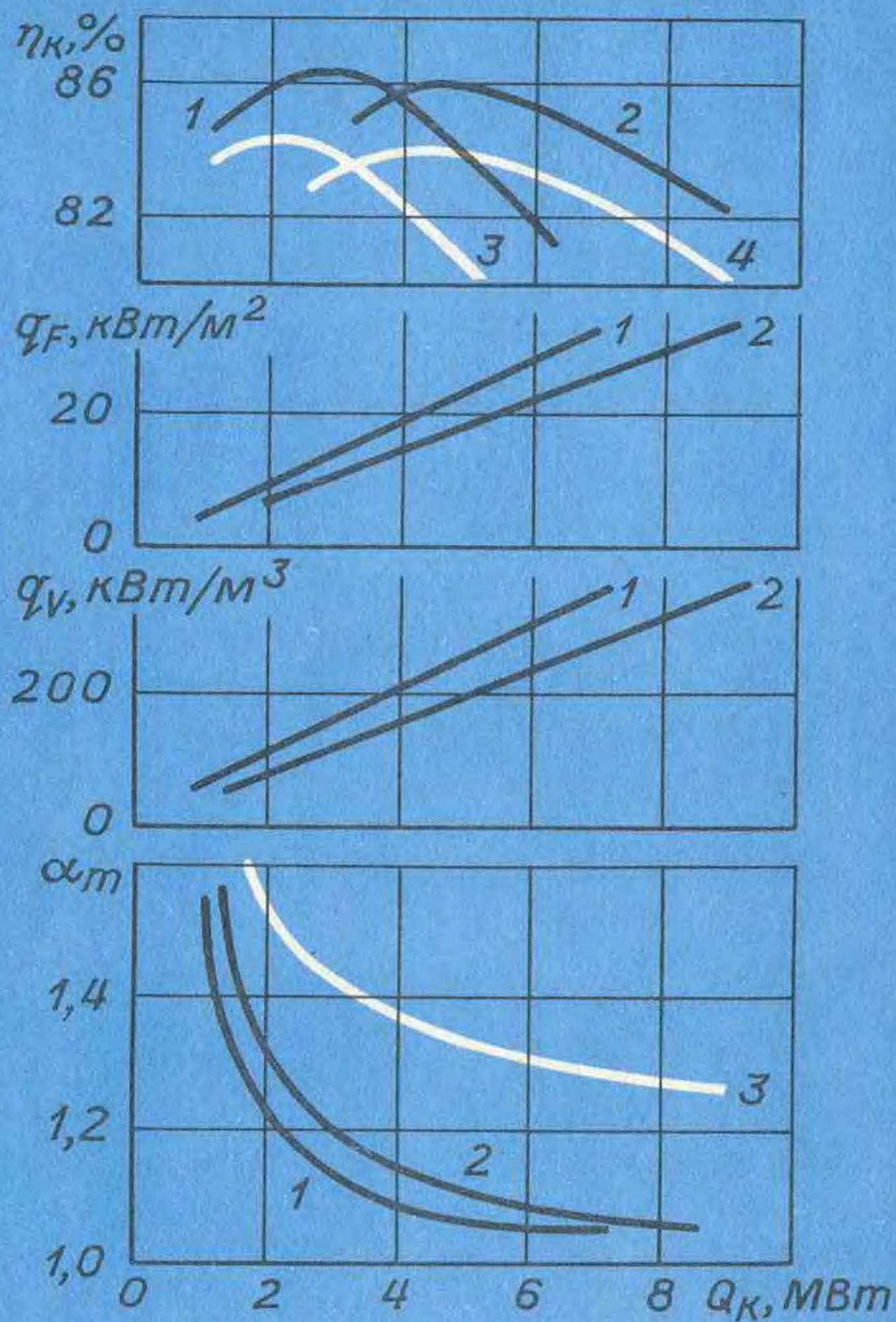
Научный редактор А. А. Машков
Редактор издательства Э. М. Бородинская
Переплет художника Г. В. Смирнова
Технический редактор Н. П. Старостина
Корректор М. И. Витис

ИБ 8327

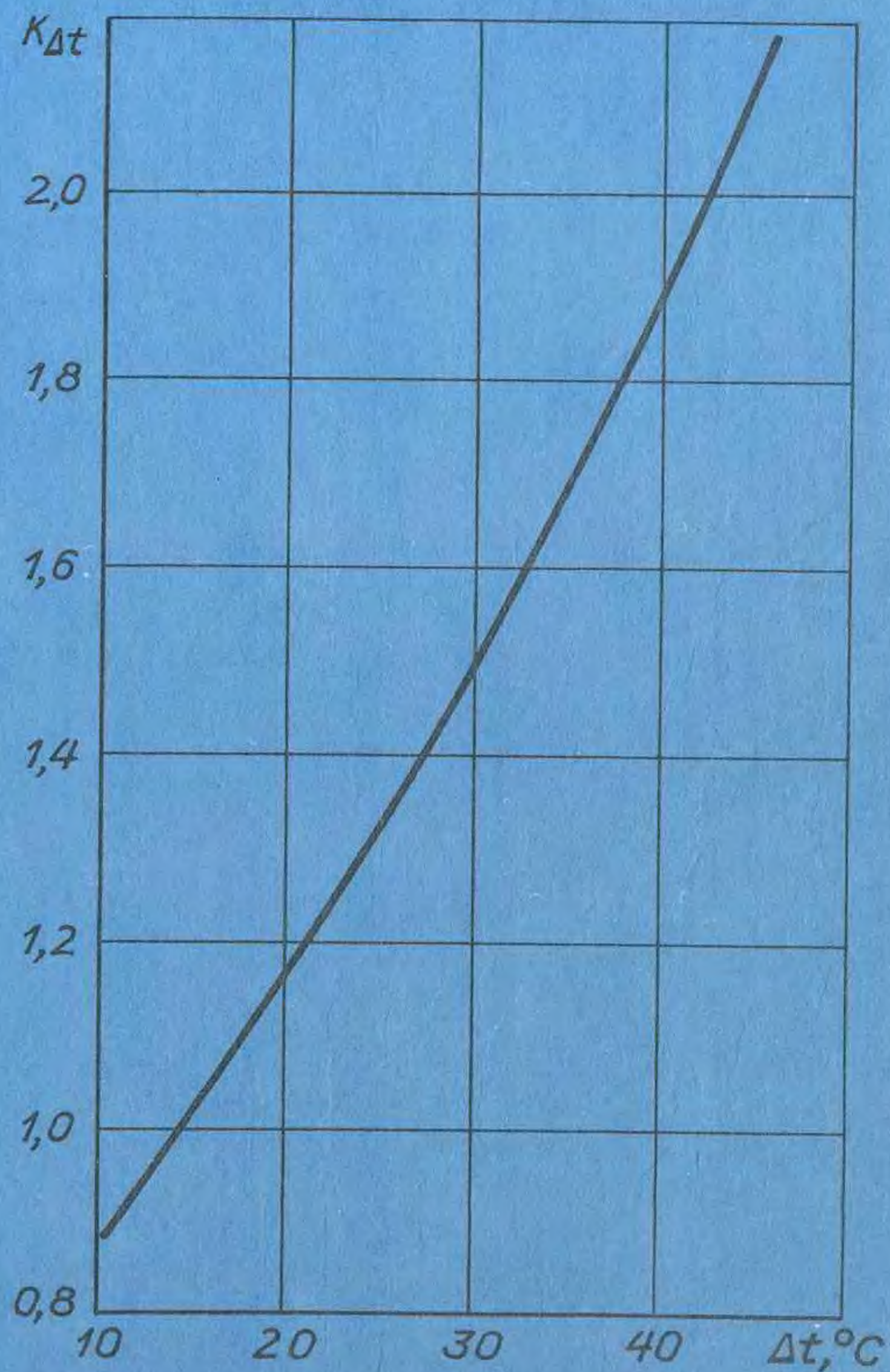
Сдано в набор 28.05.90. Подписано в печать 27.09.90.
Формат 60×90/16. Бумага офсетная № 2. Гарнитура литературная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 48,00. Усл. кр.-отт. 48,25. Уч.-изд. л. 53,74.
Тираж 28 700 экз. Заказ № 114/878. Цена 3 р.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», Ленинградское отделение.
193171, Ленинград, С-171, ул. Фарфоровская, 18

Типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени
издательства «Машиностроение» при Государственном комитете СССР по печати.
193144, Ленинград, ул. Моисеенко, 10



Изменение КПД (брутто) η_K , удельного теплосъема q_F , теплонапряжения топки q_V и коэффициента избытка воздуха на выходе из топки α_m для котлов ДКВР-6,5-13 (1 и 3) и ДКВР-10-13 (2 и 4) в зависимости от их тепловой мощности при сжигании газа (1 и 2) и мазута (3 и 4) горелками ГМГм.



Поправочный коэффициент $K_{\Delta t}$ для нормативного значения потери теплоты котлами в окружающую среду q_5 в зависимости от повышения температуры Δt ограждающей поверхности котлов сверх нормативной.