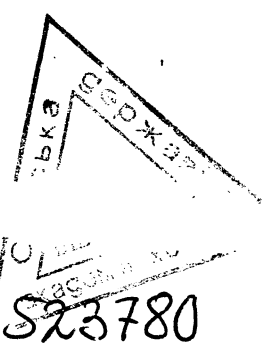
Е. Б. СТОЛПНЕР, З. Ф. ПАНЮШЕВА

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ПЕРСОНАЛА ГАЗИФИЦИРОВАННЫХ КОТЕЛЬНЫХ

2-е издание, переработанное и дополненное



S23780



ЛЕНИНГРАД «НЕДРА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1990

ББК 39.76
С81
УДК 662.767 : 621.187

Рецензент Д. И. Элиософ (Учебно-курсовой комбинат ПО ЖКХ Леноблисполкома)

Столпнер Е. Б., Панюшева З. Ф.

С81 Справочное пособие для персонала газифицированных котельных. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Недра, 1990. — 397 с.: ил.

ISBN 5—247—01085—X

Применительно к программе подготовки операторов газифицированных котельных изложены необходимые обслуживающему персоналу сведения: условия и особенности сжигания газового топлива и мазута в котлах, устройство котлов, газовых горелок, вспомогательного и газового оборудования, систем автоматики безопасности и регулирования, средств измерений и др., а также правила и порядок их эксплуатации.

Для эксплуатационного персонала газифицированных котельных. Может быть использована для подготовки операторов газифицированных котельных.

С $\frac{3309000000—332}{043\ (01)—90}$ 333—90 ББК 39.76

ISBN 5—247—01085—X

© Издательство «Недра», 1979
© Е. Б. Столпнер, З. Ф. Панюшева, 1990, с изменениями и дополнениями

ПРЕДИСЛОВИЕ

Несмотря на широкое развитие централизованного теплоснабжения от ТЭЦ, в нашей стране действуют и вводятся в эксплуатацию десятки тысяч различных по назначению и оснащению котельных. В связи с этим ежегодно профессионально-технические учебные заведения, учебные комбинаты, курсы промышленных предприятий и производственных организаций ведут подготовку и переподготовку большого количества операторов (машинистов) и лиц других специальностей, обслуживающих котельные.

В настоящее время газовое топливо стало одним из наиболее широко применяемых видов топлива. В большом количестве существующих котельных твердое топливо заменено газовым, а развитие и создание новых промышленных предприятий, научных и сельскохозяйственных комплексов, жилищного строительства обусловили сооружение новых крупных и сложных по своему оснащению котельных, работающих на газовом топливе.

Задачей обслуживающего персонала котельных является обеспечение выработки необходимого количества и определенных параметров пара или горячей воды при соблюдении условий надежной работы котлов, газового и вспомогательного оборудования, а также экономичного использования газового топлива, тепловой и электрической энергии, воды. Для этого необходимы прочные знания устройства котлов, оборудования, тепловой схемы котельной, правил их эксплуатации, высокое профессиональное мастерство.

Между тем книг по обслуживанию котельных в последние годы выпущено немного. Кроме того, в этих книгах недостаточно подробно освещены особенности эксплуатации котельных, работающих на газовом топливе. В настоящем пособии материал изложен с наибольшим приближением к практике обучения персонала начального уровня квалификации.

Теоретическая подготовка предполагает наличие у читателей знаний в объеме 8-летней общеобразовательной школы. Вместе с тем повторное изучение основных сведе-

ний из физики и химии необходимо для лучшего понимания свойств газов, процесса горения, условий передачи теплоты, принципов работы ряда устройств и приборов.

Излагаемые в книге сведения достаточны для подготовки операторов к непосредственному управлению работой котлов, газового и вспомогательного оборудования. При подготовке второго издания книги учтен опыт использования Пособия в учебном процессе, замечания и предложения специалистов по его совершенствованию.

Материалы по некоторым темам, предусмотренным общей программой обучения («Электротехника», «Слесарное дело» и др.), из-за ограничения объема в настоящем издании не приводятся и должны изучаться по специальным учебным пособиям.

Лучшему освоению материала должны способствовать обязательные занятия в действующей котельной, которые включают: внешние осмотры котлов, гарнитуры и арматуры, газоходов и топок неработающих котлов, вспомогательного оборудования; ознакомление с устройством и обслуживанием газопроводов и газового оборудования, с устройством и порядком регулирования работы горелок, пуском и остановкой котлов; ознакомление с правилами и приемами пользования средствами измерений, автоматики регулирования и безопасности.

Авторы выражают глубокую признательность Е. Н. Смелкову за полезные советы при составлении программы рукописи, а также А. Г. Цыплякову и Е. Я. Шварцману за предоставленные материалы по гл. 10, рецензенту Д. И. Элиософу и научному редактору А. А. Артемову за большую работу, выполненную ими при подготовке рукописи к печати.

Глава 1
ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ФИЗИКИ И ХИМИИ

1.1. ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЩЕСТВА

Все существующие в природе тела находятся в твердом, жидком или газообразном состоянии. Состояние тела зависит от силы сцепления и расстояния между отдельными молекулами. Твердые тела характеризуются большой силой сцепления между молекулами, малым межмолекулярным пространством и очень малой подвижностью молекул. Изменение формы и объема твердого тела требует значительных внешних воздействий. Жидкие тела обладают большой подвижностью молекул (текучестью), так как сила их сцепления меньше, чем у твердых тел. Жидкие тела принимают форму сосуда, в котором находятся, но стремятся сохранить свой объем. Этим объясняется весьма малая сжимаемость жидкости. У газообразных тел сила межмолекулярного сцепления очень мала, пространство между молекулами и подвижность молекул больше. Такие тела способны неограниченно расширяться.

Переход физического тела из одного состояния в другое, происходящий при определенных условиях, представляет собой физическое изменение или физическое явление. Наиболее характерным примером физического изменения вещества является переход воды при нагревании из твердого тела (лед) в жидкое и парообразное. При охлаждении водяного пара сначала образуется вода (конденсат), которая при дальнейшем охлаждении превращается в лед. Способностью переходить в жидкое и даже твердое состояние обладают и многие газы.

Изменения вещества, в результате которого оно приобретает другие химические свойства или образуются новые вещества, называются химическими явлениями. Превращение одних веществ в другие, отличающиеся от исходных составом и свойствами, происходит при химических реакциях. В процессе химических реакций атомы переходят из одних молекул в другие и образуются молекулы новых химических веществ.

Многие химические реакции сопровождаются поглощением или выделением теплоты. Энергия, освобождающаяся при химической реакции, называется химической энергией (химической теплотой). Выделением большого количества теплоты сопровождаются реакции соединения кислорода с различными простыми и сложными веществами. К таким реакциям относится и процесс горения, представляющий собой реакцию соединения кислорода с горючими веществами.

1.2. СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Количественные характеристики физического тела, процесса или явления определяются физическими величинами. Такими величинами являются: длина, время, скорость, масса, сила, температура, давле-

ние, работа, мощность и др. Под системой единиц измерения понимают совокупность нескольких основных и вспомогательных величин, по которым, используя физические законы и зависимости, можно установить единицы измерений всех величин определенного раздела физики.

В механике и теплотехнике до сего времени применяется система МКГСС. В этой системе основными единицами приняты: метр (длина), килограмм-сила (сила), секунда (время). Из производных единиц этой системы нужно указать следующие: метр в секунду (скорость), килограмм-сила-секунда в квадрате на метр (масса), килограмм-сила-секунда в квадрате на метр в четвертой степени (плотность), килограмм-сила на квадратный метр (давление), килограмм-сила-метр (работа, энергия).

Основными единицами Международной (интернациональной) системы единиц (СИ) являются: метр (длина), килограмм (масса), секунда (время), ампер (сила электрического тока), кельвин (термодинамическая температура), моль (количество вещества), кандела (сила света). Из производных единиц упомянем следующие: килограмм на кубический метр (плотность), ньютон (сила, вес), паскаль (давление), джоуль (энергия, работа, количество теплоты), ватт (мощность).

На практике применяются внесистемные единицы физических измерений: длины—дюйм; массы — тонна, центнер; времени — час, минута; площади — ар, гектар; объема — литр; давления — бар, миллиметр ртутного столба, миллиметр водяного столба; работы — ватт-час; мощности — лошадиная сила; теплоты — калория (килокалория).

Кратные (увеличенные) и дольные (уменьшенные) значения исходных единиц обозначают следующими приставками:

Кратные единицы	Дольные единицы
тера (Т) — 10^{12}	деци (д) — 10^{-1}
гига (Г) — 10^{9}	санти (с) — 10^{-2}
мега (М) — 10^{6}	милли (м) — 10^{-3}
кило (к) — 10^{3}	микро (мк) — 10^{-6}
гекто (г) — 10^{2}	нано (н) — 10^{-9}
дека (да) — 10	пико (п) — 10^{-12}

1.3. ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Масса тела — количество вещества тела (жидкости, газа), находящегося в состоянии покоя, называется массой тела. В общем случае масса характеризует инертность тела, под которой понимают способность тела сохранять приобретенное движение при приложении к нему силы.

Количество вещества в граммах, численно равное молекулярной массе, называется молем, а количество вещества в килограммах, численно равное молекулярной массе, — киломолем. Например, киломоль водорода (H_2) составляет 2,02 кг, кислорода (O_2) — 32 кг.

Вес тела — сила, с которой неподвижное тело под действием силы притяжения к Земле (силы тяжести) действует на опору или на нить подвеса. Как это видно из приведенных определений, вес тела и масса тела — понятия разные.

Вес тела определяют взвешиванием его на рычажных или пружинных весах. Эти два метода по физической сущности различны.

При взвешивании на рычажных весах вес тела соответствует весу гири, являющейся при этом эталоном. При взвешивании на пружинных весах определяют силу притяжения к Земле. В этом случае результат взвешивания зависит от того, где находится тело: ближе к экватору или полюсу, на уровне моря или на высоте от поверхности земли.

Плотность тела — отношение массы тела в состоянии покоя к его объему, т. е. масса единицы объема. За единицу плотности ρ принята плотность однородного вещества, в 1 м^3 которого содержится масса, равная 1 кг. Величина, обратная плотности, — объем единицы массы, или удельный объем

$$V = 1/\rho.$$

Плотность газа соответствует отношению его количества в одном киломоле M к объему одного киломоля, который, согласно закону Авогадро, для всех газов равен 22,4 м^3:

$$\rho = M/22{,}4.$$

Например, $\rho_{O_2} = 32/22{,}4 = 1{,}43$; $\rho_{CH_4} = 16{,}04/22{,}4 = 0{,}72$.

В ряде случаев необходимо знать относительную плотность $\rho_{отн}$, представляющую собой отношение плотности данного вещества к плотности другого вещества при определенных физических условиях. Например, относительная плотность по воде различных масел, спиртов и т. п. или относительная плотность газов по воздуху.

Сила — мера механического воздействия на тело со стороны другого тела или тел. В СИ сила измеряется в ньютонах (Н). 1Н — сила, сообщающая телу массой 1 кг ускорение, равное 1 м/с^2. В системе МКГСС единицей силы является 1 кгс (килограмм-сила) — сила, под действием которой тело массой в 1 кг получает ускорение 9,81 м/с^2. Следовательно, 1 кгс = 9,81 Н.

Давление — физическая величина, равная нормальной составляющей силы, действующей на единицу площади. Любое сооружение (котел, здание, дымовая труба) оказывают давление на грунт, а жидкости, пары и газы — на дно и стенки емкостей и сосудов, в которых они находятся. Воздух, окружающий земной шар, также оказывает давление на поверхность земли и на все находящиеся на ней предметы.

Следует отличать силу как механическое воздействие одного тела (или тел) на другое от давления, вызываемого расширением тела (жидкости) при нагревании или производимого паром (газом) в закрытом сосуде. В открытом сосуде давление, производимое жидкостью на дно или стенки сосуда, тем выше, чем больше плотность жидкости и высота заполнения сосуда жидкостью, и не зависит от формы сосуда. Поэтому в сообщающихся сосудах любой формы однородная жидкость находится на одном уровне. Примером сложной системы сообщающихся сосудов, заполненных однородной жидкостью — водой, являются стояки и нагревательные приборы систем отопления. Если сообщающиеся сосуды заполнены жидкостями с различной плотностью, то уровень жидкости с большей плотностью будет ниже уровня жидкости с меньшей плотностью на величину, пропорциональную соотношению плотностей. Принцип сообщающихся сосудов используется в некоторых измерительных приборах и устройствах, применяемых в котельных.

В закрытом сосуде давление пара (газа) рассматривается как результат ударов находящихся в непрерывном движении молекул о стенки сосуда. В соответствии с законом Паскаля давление в закрытом сосуде передается во все стороны с одинаковой силой.

Таблица 1.1

Соотношение между единицами давления

Единицы	Па	кгс/м² (мм вод. ст.)
1 Па	1	0,102
1 кгс/м²	9,81	1
1 мм рт. ст.	133,3	13,6
1 бар	10^5	$10{,}2 \cdot 10^3$
1 ат	$9{,}81 \cdot 10^4$	10^4
1 атм	$10{,}31 \cdot 10^4$	$1{,}033 \cdot 10^4$

В СИ за единицу давления принят паскаль (Па), равный давлению силы в 1 Н на 1 м². В системе МКГСС единицей давления является килограмм-сила на квадратный метр (кгс/м²). 1 кгс/м² = = 9,81 Па.

На практике широко применяют измерение давления высотой столба воды или ртути. Миллиметр водяного столба (мм вод. ст.) соответствует гидростатическому давлению 1 кг воды на поверхность, равную 1 м². Следовательно, 1 мм вод. ст. = 1 кгс/м² = 9,81 Па. Миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.) соответствует 13,6 мм вод. ст. или 133,3 Па.

В котельных и системах отопления часто пользуются понятием «напор», единицей измерения которого является метр водяного столба (м вод. ст.). Напор, создаваемый насосом, определяет высоту, на которую может быть поднята вода.

Атмосферное давление — давление воздуха, окружающего Землю, — не является постоянной величиной и зависит от высоты данной местности над уровнем моря, содержания в воздухе водяных паров и других метеорологических условий. С удалением от поверхности Земли атмосферное давление уменьшается. Измеряют атмосферное давление барометром и называют его барометрическим.

Среднее атмосферное давление на уровне моря принимают равным 760 мм рт. ст. и называют нормальным барометрическим давлением или физической атмосферой (атм). Это давление соответствует давлению столба воды высотой 10 330 мм или 1,033 кгс/см².

Таблица 1.2

Соотношение между единицами работы (энергии)

Единицы	Дж	кгс·м
1 Дж	1	0,102
1 кгс·м	9,81	1
1 ккал	$4{,}187 \cdot 10^3$	427
1 кВт·ч	$3{,}6 \cdot 10^6$	$367{,}1 \cdot 10^3$
1 л. с.-ч	$2{,}65 \cdot 10^6$	$270 \cdot 10^3$

мм рт. ст.	бар	ат	атм
$7{,}5 \cdot 10^{-3}$	10^{-5}	$1{,}02 \cdot 10^{-5}$	$9{,}87 \cdot 10^{-4}$
$73{,}56 \cdot 10^{-3}$	$9{,}81 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	$0{,}968 \cdot 10^{-4}$
1	$133{,}3 \cdot 10^{-5}$	$1{,}36 \cdot 10^{-3}$	$1{,}31 \cdot 10^{-3}$
750	1	1,02	0,987
735,6	0,981	1	0,968
760	1,013	1,033	1

Давление жидкости или газа в закрытом сосуде (котле, газопроводе и т. д.), превышающее атмосферное, называется избыточным. Измеряют избыточное давление манометром. В технике встречаются также устройства и установки, работающие под разрежением (или вакуумом), т. е. под давлением, меньшим атмосферного. Под таким давлением находятся топки котлов и газоходы в котельной при естественной и искусственной тяге (см. раздел 5.4). Измеряют давление в таких случаях вакуумметрами, а в топках и газоходах котлов-тягомерами.

Абсолютное давление — давление, создаваемое жидкостью (газом, паром) внутри сосуда. Если известно избыточное давление ($p_{изб}$) или разрежение ($p_{разр}$), а также барометрическое давление ($p_{бар}$), то абсолютное давление определяют по формулам: при избыточном давлении $p_{абс} = p_{бар} + p_{изб}$; при разрежении $p_{абс} = p_{бар} - p_{разр}$. С достаточной для практических расчетов точностью значение $p_{бар}$ принимают равным 1 кгс/см^2. Например, если манометр показывает, что давление пара в котле составляет 4 кгс/см^2, то абсолютное давление равно 5 кгс/м^2. Абсолютное давление является одним из параметров вещества; по избыточному давлению определяют прочность сосудов (котлов, трубопроводов) и проводят их испытания.

Парциальное давление — давление газа (пара) в смеси, которое оказывал бы этот газ (пар) при данной температуре, если бы он один занимал объем смеси. Давление газовой смеси равно сумме парциальных давлений ее компонентов (закон Дальтона).

ккал	кВт·ч	л. с.·ч
$239 \cdot 10^{-6}$	$0{,}278 \cdot 10^{-6}$	$0{,}378 \cdot 10^{-6}$
$2{,}343 \cdot 10^{-3}$	$2{,}724 \cdot 10^{-6}$	$3{,}704 \cdot 10^{-6}$
1	$1{,}163 \cdot 10^{-3}$	$1{,}581 \cdot 10^{-3}$
859,8	1	1,36
632,4	0,736	1

Таблица 1.3

Соотношение между единицами мощности

Единицы	Вт	кгс·м/с
1 Вт	1	0,102
1 кгс·м/с	9,81	1
1 кал/с	4,187	$427 \cdot 10^{-3}$
1 ккал/ч	1,163	$118{,}5 \cdot 10^{-3}$
1 л. с.	735,5	75

Для движущейся в трубопроводе или замкнутом канале жидкости (газа) различают статическое давление, действующее на стенки трубопровода (канала) перпендикулярно к направлению движения, и динамическое (скоростное) давление, действующее вдоль направления движения. Полное давление равно сумме статического и динамического. При увеличении скорости статическое давление уменьшается, а динамическое возрастает и наоборот.

Соотношения между единицами давления приведены в табл. 1.1.

Энергия — единая мера различных форм движения и взаимодействия тел. Различают энергию механическую, тепловую, химическую, ядерную, электромагнитную.

Под механической энергией понимают способность тела при определенных условиях производить работу. Различают потенциальную и кинетическую энергию. Потенциальной называется энергия, определяемая расположением взаимодействующих тел или частей одного и того же упругого тела (например, энергия сжатой пружины). Кинетической называется энергия движущегося тела, зависящая от его массы и скорости движения. Полная энергия тела есть сумма потенциальной и кинетической энергии.

Внутренняя тепловая энергия тела определяется тепловым движением частиц, составляющих тело, и зависит от степени нагретости тела (его температуры). Примером изменения внутренней энергии газа является процесс дросселирования (снижения давления), например, в регуляторе давления. Резкое расширение газа за сужающим устройством совершается за счет уменьшения его внутренней энергии, в результате чего температура газа снижается. Это вызывает в ряде случаев значительное охлаждение газопровода за дроссельным устройством.

Энергия может переходить из одной формы в другую: электрическая может быть превращена в механическую, тепловую или химическую, тепловая — в механическую и наоборот.

В общем случае под **работой** в механике понимают произведение силы на путь ее действия, причем сила постоянна и направлена вдоль пути. Например, работа поршневого насоса определяется силой, приложенной к поршню, и перемещением точки приложения этой силы (перемещением поршня). В качестве единиц работы применяют: в СИ — джоуль (Дж) — работа, совершенная силой в 1 Н на пути в 1 м; в системе МКГСС — кгс·м.

Мощностью равномерно работающей системы называется работа, совершаемая в единицу времени. В СИ за единицу мощности принят

кал/ч	ккал/ч	л. с.
0,239	0,86	$1{,}36 \cdot 10^{-3}$
2,343	8,435	$13{,}33 \cdot 10^{-3}$
1	3,6	$5{,}69 \cdot 10^{-3}$
0,2778	1	$1{,}58 \cdot 10^{-3}$
175,7	632,4	1

ватт (Вт), равный мощности, при которой в 1 с совершается работа в 1 Дж. Соотношение между единицами мощности в СИ и МКГСС: 1 Вт = 0,102 кгс·м/с или 1 кгс·м/с = 9,81 Вт.

До настоящего времени в некоторых случаях применяют внесистемную единицу мощности — лошадиную силу (л. с.), которая соответствует (округленно) 736 Вт, или 75 кгс·м/с.

Соотношения между единицами работы (энергии) приведены в табл. 1.2, а мощности — в табл. 1.3.

Динамическая вязкость — свойство жидкостей и газов, характеризующее их сопротивляемость скольжению или сдвигу. Динамическая вязкость вещества численно равна силе, которая необходима для перемещения друг относительно друга с единичной скоростью двух слоев вещества, имеющих единичную площадь и находящихся на единичном расстоянии.

1.4. ОСНОВНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Температура — мера теплового состояния или степени нагретости тела. Тепловое состояние тела характеризуется скоростью движения его молекул или средней внутренней кинетической энергией тела. Чем выше температура тела, тем больше скорость движения молекул. Температура тела увеличивается или уменьшается в зависимости от того, получает или отдает это тело тепло. Тела, имеющие одинаковую температуру, находятся в тепловом равновесии, т. е. теплообмена между ними нет.

Единицей измерения температуры является градус. Для измерения температуры применяют две шкалы: стоградусную и термодинамическую или абсолютную (Кельвина). Стоградусная шкала имеет две постоянные точки: таяния льда, которая принята за 0 °С, и кипения воды при нормальном атмосферном давлении (760 мм рт. ст.), которая принята за 100 °С. Интервал между этими точками разделен на 100 частей, каждая из которых равна 1 °С. Температуру выше 0 °С обозначают знаком плюс (в тексте обычно не указывают), ниже 0 °С — знаком минус.

В принятой СИ шкале Кельвина началом отсчета является температура абсолютного нуля. Абсолютный нуль характеризуется полным прекращением движения молекул и соответствует температуре, лежащей ниже 0 °С на 273,16 °С (округленно 273). Единица термодинамической температуры — кельвин (К).

Температуру в стоградусной шкале обозначают t, в абсолютной T. Эти температуры связаны между собой соотношением $T = t + 273$.

Теплота (количество теплоты) — характеристика процесса теплообмена, определяемая количеством энергии, которое получает (отдает) тело в процессе теплообмена. В СИ теплота измеряется в джоулях (Дж). До настоящего времени пользуются внесистемной единицей — калорией, которая соответствует 4,187 Дж. На практике с некоторым допущением за калорию принимают количество теплоты, необходимое для нагревания 1 г воды на 1 °С при атмосферном давлении.

Превращение теплоты в работу и работы в теплоту происходит в одном и том же строго постоянном соотношении, соответствующем тепловому эквиваленту работы A или механическому эквиваленту тепла $E = 1/A$. Значения этих эквивалентов (округленно): $A = 1/427$ ккал/(кгс·м); $E = 427$ кгс·м/ккал.

Удельная теплоемкость — количество теплоты, которое нужно сообщить 1 кг или 1 м³ вещества, чтобы повысить его температуру на 1 °С. Для газов и паров различают удельную теплоемкость при постоянном давлении c_p и удельную теплоемкость при постоянном объеме c_V. В зависимости от того, что принимают за единицу вещества, различают теплоемкость: массовую, ккал/(кг·°С); мольную, ккал/(кмоль·°С); объемную, ккал/(м³·°С). Удельную массовую теплоемкость воды, с достаточной для практических расчетов точностью, принимают равной 1 ккал/(кг·°С).

Удельная теплоемкость перегретого водяного пара зависит от температуры и давления, при которых происходит нагрев, а смеси неконденсирующихся газов, кроме того, и от ее состава. При 100 °С объемная удельная теплоемкость составляет, ккал/(м³·°С): водяного пара 0,36; воздуха 0,31; диоксида углерода (углекислого газа) 0,41.

Количество теплоты Q, которое необходимо сообщить телу (например, нагреваемой в котле воде) для повышения его температуры от t_1 до t_2, равно произведению массы тела m, его удельной теплоемкости c, разности конечной t_2 и начальной t_1 температуры тела:

$$Q = mc\,(t_2 - t_1).$$

Энтальпия — параметр состояния рабочего тела (воды, газа или пара), характеризующий сумму его внутренней энергии и потенциальной энергии давления (произведения давления на объем). Изменение энтальпии определяется начальным и конечным состоянием рабочего тела.

Температура кипения — температура, при которой вещество переходит из жидкого состояния в парообразное (газообразное) не только с поверхности (как при испарении), а по всему объему.

Удельная скрытая теплота парообразования — теплота, необходимая для превращения 1 кг жидкости, предварительно нагретой до температуры кипения, в сухой насыщенный пар.

Скрытая теплота конденсации — теплота, выделяющаяся при конденсации пара. По значению она равна скрытой теплоте парообразования.

1.5. ФОРМЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛОТЫ

В природе существуют три формы распространения теплоты — излучение, конвекция, теплопроводность и два способа теплообмена между более нагретыми и менее нагретыми телами — лучистый и конвективный.

Излучение (лучеиспускание, радиация) — теплообмен между телами, находящимися на расстоянии друг от друга, посредством лучистой энергии, носителем которой являются электромагнитные волны.

Интенсивность лучистого теплообмена между двумя телами зависит от их формы, взаимного расположения, температуры и степени черноты. Наибольшей излучающей способностью при данной температуре обладают тела, называемые абсолютно черными. Лучистый поток от тел с меньшей излучательной способностью, чем у абсолютно черного тела (серые тела), в соответствии с законом Стефана—Больцмана, определяется формулой

$$\Phi_л = C_0 \varepsilon S \, (T/100)^4,$$

где C_0 — коэффициент излучения абсолютно черного тела, равный 4,9 ккал/(м²·ч·°С)⁴; ε — степень черноты серого тела (для шероховатой стали $\varepsilon = 0{,}94 \div 0{,}97$); S — площадь излучающей поверхности, м².

Конвекция — перенос теплоты перемещением и перемешиванием частиц между собой. Различают свободную (естественную) и вынужденную (искусственную) конвекцию. Примером естественной конвекции является нагрев воздуха в котельном зале от обмуровки котлов, при котором часть теплоты передается излучением, а часть конвекцией воздуху, который перемещается вблизи обмуровки. Нагретый воздух поднимается в верхнюю зону помещения, а более тяжелый холодный воздух постоянно перемещается к нижней части помещения.

Теплопроводность — перенос теплоты внутри тела от более нагретых частиц к менее нагретым. Теплопроводность материала зависит от его химического состава, пористости, влажности, температуры и давления (для жидкостей и газов). Коэффициент теплопроводности λ — количество теплоты, передаваемое в единицу времени через единицу поверхности на единицу длины (пути) теплового потока при разности температуры 1 °С.

Высокой теплопроводностью характеризуются металлы, особенно серебро, медь, алюминий. Коэффициент теплопроводности стали и чугуна составляет 40—50 ккал/(м·ч·°С). Плохо проводят теплоту изоляционные материалы, некоторые жидкости (масла, жиры), воздух, газы. Очень низкой теплопроводностью обладает накипь, которая откладывается на внутренних поверхностях котлов, и сажа, которая образуется при неполном сгорании топлива и накапливается на наружных сторонах поверхностей нагрева.

Количество теплоты, передаваемое через разделительную стенку, определяется формулой

$$Q = KH \, \Delta t,$$

где K — коэффициент теплопередачи, ккал/(м²·ч·°С); H — площадь поверхности теплообмена, м²; Δt — средний температурный напор (разность температур) между греющей и нагреваемой средой, °С.

Коэффициент теплопередачи определяют по формуле

$$K = \frac{1}{1/\alpha_1 + \delta_{ст}/\lambda_{ст} + 1/\alpha_2},$$

где α_1 и α_2 — коэффициент теплоотдачи от греющей среды к поверхности разделительной стенки и от внутренней поверхности стенки к нагреваемой среде, ккал/(м²·ч·°С); $\delta_{ст}$ — толщина стенки, м; $\lambda_{ст}$ — коэффициент теплопроводности стенки, ккал/(м·ч·°С).

Коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 представляют собой сумму коэффициентов теплоотдачи конвекцией $\alpha_к$ и излучением $\alpha_л$. Они зависят от режима движения потока, плотности перемещаемой среды, размеров и формы каналов, взаимного направления потоков и других условий. Примерные значения коэффициентов теплоотдачи, ккал/(м²·ч·°С): от газов к стенке $\alpha_1 = 20 \div 50$; от стенки к водяному пару $\alpha_2 = 500 \div 3000$, к некипящей воде $\alpha_2 = 5000 \div 15\,000$, а к кипящей воде еще выше.

Слагаемые знаменателя приведенной формулы называются частными термическими сопротивлениями.

Коэффициент линейного расширения α — величина, показывающая, на какую долю первоначальной длины l_0 тело удлинится при нагревании его на 1 °С. Так, для железа $\alpha = 0{,}000012$, для меди $\alpha = 0{,}000017$.

Зная первоначальную длину конструкции (трубы) l_0 и коэффициент линейного расширения или сжатия при охлаждении, можно определить длину l при любой температуре t:

$$l = l_0 (1 \pm \alpha t).$$

1.6. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ СОСТОЯНИЯ ГАЗОВ

Состояние газов характеризуется совокупностью значений трех основных величин, или параметров: удельного объема V, давления p, температуры T. Изменение одной из этих величин вызывает изменение других, причем эти изменения подчинены определенным законам.

Закон Шарля. При постоянном объеме давление данной массы газа прямо пропорционально его абсолютной температуре:

$$p_2/p_1 = T_2/T_1 \text{ или } p_2 = p_1 (T_2/T_1),$$

где p_1 и p_2 — абсолютное давление начального и конечного состояния газа; T_1 и T_2 — абсолютная температура начального и конечного состояния газа.

Закон Бойля—Мариотта. При неизменных температуре и массе удельные объемы газа обратно пропорциональны его абсолютным давлениям

$$V_2/V_1 = p_1/p;\ V_2 = V_1 (p_1/p),$$

где V_1 и V_2 — удельные объемы газа начального и конечного состояния.

Закон Гей-Люссака. При постоянном давлении с повышением температуры объем газа увеличивается, а при понижении уменьшается. Изменение температуры газа на 1 °С вызывает увеличение или уменьшение объема на 1/273 объема газа при 0 °С (V_0). При температуре t объем газа будет равен

$$V_t = V_0 (273 + t)/273.$$

Закон Дальтона. Давление газовой смеси $p_{см}$ равно сумме парциальных давлений газов, входящих в состав смеси:

$$p_{см} = p_1 + p_2 + \ldots + p_n,$$

где p_1, p_2, ..., p_n — давление компонентов смеси.

Закон Авогадро. Различные газы, занимающие одинаковые объемы при одинаковом давлении и температуре, содержат одинаковое число молекул.

Масса вещества, численно равная молекулярной массе, называется грамм-молекулой или молем. Например, 1 моль метана CH_4 равен $12 + 4 \cdot 1 = 16$ г; 1 моль кислорода $16 \cdot 2 = 32$ г. При 0 °С и 760 мм рт. ст. объем 1 моля любого газа равен 22,4 л.

Если происходит одновременное изменение объема, давления и температуры, то в этом случае действуют одновременно законы Бойля—Мариотта и Гей-Люссака. Обобщенная зависимость выражается следующей формулой:

$$\frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{p_1 V_1}{T_1} \quad \text{или} \quad V_2 = V_1 \frac{p_1}{p_2} \frac{T_2}{T_1}.$$

Пересчет объема газа. В теплотехнических расчетах объем газа и воздуха принимают при условии 0 °С и 760 мм рт. ст. (нормальные условия). В некоторых случаях, например при коммерческих расчетах за газ, объем определяют при 20 °С и 760 мм рт. ст. (стандартные условия). Чтобы объем сухого газа, измеренный прибором ($V_{пр}$), привести к нормальным условиям ($V_н$), пользуются обобщенной зависимостью состояния газа

$$V_н = V_{пр} \frac{p_р}{760} \frac{273}{T_р},$$

где $p_р$ и $T_р$ — абсолютные давление и температура газа, соответствующие рабочим условиям.

Пример. Объем газа при его давлении 2000 кгс/м^2 и температуре 27 °С составил 850 м^3. Определить объем газа при нормальных условиях:

$$V_н = 850 \frac{760 + 2000/13{,}6}{760} \frac{273}{273 + 27} = 913 \text{ м}^3.$$

1.7. СВОЙСТВА ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА

Основные характеристики воды. По химическому составу вода представляет собой химическое соединение водорода и кислорода (H_2O). Как теплоноситель вода обладает рядом достоинств. Благодаря малой вязкости вода требует небольших, по сравнению с другими жидкостями, расходов электроэнергии на ее перемещение в системах теплоснабжения, при этом обеспечивается хорошее перемешивание при движении в котле или теплообменных аппаратах и высокий коэффициент теплоотдачи.

Вода и водяной пар являются «теплоемкими» теплоносителями. Так, в современных системах теплоснабжения расчетная температура воды на выходе из котельной равна 150 °С, а возвращают в котельную воду с температурой 70 °С. Следовательно, 1 кг воды «переносит» 80 ккал. В системах пароснабжения 1 кг воды, превращенной в пар, «переносит» около 600 ккал. Важным достоинством воды является ее низкая стоимость.

Как и другие физические тела, вода расширяется при нагревании, с той лишь особенностью, что наименьший при атмосферном давлении объем она занимает при 4 °С (1000 кг/м^3), а не при температуре замерзания — 0 °С. С ростом температуры плотность воды уменьшается. Расширение воды при нагревании учитывают в системах трубопроводов установкой специальных устройств или «расширительных» баков.

С понижением температуры от 4 °С до температуры замерзания объем воды также несколько увеличивается. Поэтому замерзание воды в системах водоснабжения и отопления при несоблюдении правил эксплуатации этих систем может вызвать разрыв труб и нагревательных приборов.

В природной (исходной) воде, поступающей в котельную, могут содержаться взвешенные (механические) примеси (частицы песка, растительных и животных организмов, глинистые суспензии) и растворенные примеси. К последним относятся соединения кальция и магния (соли жесткости), железа, алюминия и др.

В воде содержатся в растворенном состоянии различные газы, коррозионно активными из которых являются кислород, диоксид углерода, сероводород. В подземных водах основной газовой примесью является диоксид углерода, а во многих источниках и сероводород. Содержание газов в воде зависит от температуры последней (закон Генри—Дальтона): с повышением температуры содержание газов уменьшается. Так, растворимость кислорода в воде при атмосферном давлении составляет, мг/кг: при 0 °С — 14,2; 50 °С — 5,6; 100 °С — 0.

Основные показатели качества воды для котельных и тепловых сетей следующие: жесткость, окисляемость, щелочность, взвешенные вещества, сухой остаток, концентрация водородных ионов (pH), содержание кислорода и диоксида углерода, содержание масла и других примесей.

Жесткость характеризуется суммарным содержанием в воде растворенных солей кальция и магния, мг-экв/кг (или мкг-экв/кг). Различают постоянную (некарбонатную), временную (карбонатную) и общую жесткость. Постоянная жесткость определяется присутствием в воде солей $CaSO_4$ и $MgSO_4$, $CaCl_2$ и $MgCl_2$. Эти соли постепенно накапливаются при испарении воды и дают твердый осадок — накипь. Соли временной жесткости Ca $(HCO_3)_2$ и Mg $(HCO_3)_2$ при нагревании воды до 70 °С распадаются на диоксид углерода, уходящий из котла с паром, и рыхлый или порошкообразный осадок.

Сумма временной и постоянной жесткости составляет общую жесткость воды. При малом содержании солей воду относят к мягкой, а при большом — к жесткой. В большинстве районов Севера, Северо-Запада, Сибири и Дальнего Востока СССР воды мягкие; воды Приазовья, Казахстана, Украины и Молдавии, а также подземные воды отличаются высокой жесткостью.

Окисляемость воды — косвенный показатель наличия органических веществ, определяемый по расходу кислорода на их окисление при воздействии марганцевокислого калия $KMnO_4$ (калия перманганат).

Щелочность характеризуется суммарным содержанием в воде: карбоната натрия (соды) Na_2CO_3; бикарбонатов кальция и магния $Ca(HCO_3)_2$ и $Mg(HCO_3)_2$; щелочей, образующихся в воде при ее обработке; солей слабых органических кислот, мг-экв/кг.

Взвешенные вещества — частицы песка, глины и др. Содержание их, мг/кг, определяют путем фильтрования пробы воды, с просушиванием бумажного фильтра при 105—110 °С до постоянной массы.

Сухой остаток определяют путем выпаривания освобожденной от взвешенных частиц пробы и высушивания полученного остатка при 105—110 °С. Маломинерализованные воды имеют сухой остаток до 200, а сильноминерализованные — более 1000 мг/кг.

Концентрация водородных ионов pH — показатель, по которому можно определить, щелочная вода или кислая. Классификация воды

Таблица 1.4

Параметры сухого насыщенного пара (на линии насыщения)

Абсолютное давление, кгс/см²	Температура насыщения, °С	Энтальпия, ккал/кг		Скрытая теплота парообразования, ккал/кг
		кипящей воды	пара	
0,8	93,6	93,0	636,4	543,4
1	99,6	99,2	638,8	539,6
2	120,2	119,9	646,3	526,4
3	133,5	133,4	650,7	517,3
4	143,6	143,7	653,9	510,2
5	151,8	152,1	656,3	504,2
6	158,8	159,3	658,3	499,0
7	165,0	165,7	659,9	494,2
8	170,4	171,4	661,2	489,8
9	175,4	176,5	662,3	485,8
10	179,9	181,3	663,3	482,0
12	188,0	189,8	664,9	475,1
14	195,0	197,3	666,2	468,9
16	201,4	204,0	667,1	463,1
18	207,1	210,2	667,8	457,6
20	212,4	215,9	668,5	452,6
24	221,8	226,2	669,2	443,0
28	230,0	235,4	669,5	434,1
32	237,4	243,7	669,6	425,9
36	244,2	251,3	669,1	417,8
40	250,3	258,4	669,0	410,6

по pH следующая: кислая 1—3; слабокислая 4—6,5; нейтральная 7; слабощелочная 7,5—10; щелочная 11—14. При низком значении pH усиливаются коррозионные процессы, т. е. разъедание и появление язвин на внутренних сторонах поверхностей нагрева; высокие значения pH указывают на возможность образования накипи.

Состояние и свойства водяного пара. Если нагреть воду в открытом сосуде (при постоянном давлении), то при температуре около 100 °С, называемой температурой кипения (или температурой насыщения), вода будет переходить в пар. Сущность кипения заключается в том, что в воде образуются небольшие паровые пузырьки, которые всплывают к поверхности воды и преодолевают силы поверхностного натяжения. При достаточном подводе теплоты вся вода превращается в пар, а температура ее при этом остается неизменной. Объем пара больше объема испарившейся воды примерно в 1600 раз.

В закрытом сосуде, например, в паровом котле с избыточным давлением, температура кипения с подводом теплоты возрастает и соответственно возрастает давление. При этом оба эти параметра взаимосвязаны между собой (табл. 1.4), а температура жидкости и пара в сосуде одинаковы. При давлении в сосуде ниже атмосферного температура кипения ниже 100 °С.

Как видно из таблицы, чтобы нагреть 1 кг воды при барометрическом давлении ($p_{бар}$ = 760 мм рт. ст.) от 0 до 100 °С, требуется затра-

Инв. № 3780

тить примерно 100 ккал, а скрытая теплота парообразования при этом равна примерно 540 ккал/кг, т. е. в 5,4 раза больше.

При охлаждении пар конденсируется, т. е. переходит в жидкое состояние, и передает скрытую теплоту парообразования (теплоту конденсации) нагреваемой среде.

Различают несколько состояний пара, вырабатываемого в котлах. Пар, образующийся в присутствии кипящей воды, содержит капельки жидкости и его называют влажным насыщенным паром. Обычно содержание воды в таком паре составляет 2—5 %. Степень сухости пара (обозначается буквой χ) в этом случае равна 98—95 %.

Применение влажного насыщенного пара нежелательно, так как при его перемещении по паропроводам возможны гидравлические удары (резкие толчки внутри труб) влаги, скапливающейся в арматуре, закруглениях, паровых насосах, в пониженных местах паропроводов. Кроме того, соли, содержащиеся в каплях влаги, загрязняют паропровод, арматуру, теплообменные аппараты. Удаление частиц воды из пара называется сепарацией, а предназначенные для этой цели устройства внутри котла — сепарационными.

Насыщенный пар, не содержащий частиц воды, называется сухим насыщенным паром. Энтальпия 1 кг сухого насыщенного пара включает в себя энтальпию воды i и скрытую теплоту парообразования r и выражается равенством $i'' = i + r$ (см. табл. 1.4). Энтальпия 1 кг влажного насыщенного пара выражается равенством $i'' = i + \chi r$. Так как величина χ меньше 1, то и энтальпия влажного пара несколько ниже, чем сухого.

При дальнейшем нагреве сухого насыщенного пара температура его будет расти и будет выше температуры насыщения при том же давлении. Такой пар называют перегретым. Соответственно возрастает и энтальпия пара, которая выражается формулой

$$i_{\text{п. п}} = i'' + q_{\text{п}} = i'' + c_{p_m}(t_{\text{п}} - t_{\text{н}}),$$

где $q_{\text{п}}$ — теплота, затраченная на перегрев пара при постоянном давлении, ккал/кг; c_{p_m} — средняя массовая теплоемкость, ккал/(кг·°С); $t_{\text{п}}$ и $t_{\text{н}}$ — температура перегретого и сухого насыщенного пара заданного давления, °С.

Получают перегретый пар в специальном устройстве котла, называемом пароперегревателем, куда пар поступает из парового пространства котла. Перегретый пар в наибольшей мере близок к газам и подчиняется законам газов. Энтальпия перегретого пара приведена в табл. 1.5.

Перегретый пар при снижении температуры не конденсируется до момента достижения температуры насыщенного пара при том же давлении. При дальнейшем понижении температуры происходит конденсация водяных паров.

Очень опасно резкое снижение давления в паровом котле до атмосферного, которое может произойти в результате аварийного нарушения прочности котла. Так как температура воды до такого изменения давления была выше 100 °С, а атмосферному давлению соответствует температура кипения 100 °С, то избыточное количество теплоты расходуется на парообразование. Количество пара резко возрастает, что приводит к мгновенному повышению давления в котле и к серьезным разрушениям. Чем больше объем воды в котле и выше ее температура, тем значительнее последствия таких разрушений.

Таблица 1.5

Энтальпия перегретого пара, ккал/кг

Температура, °С	Абсолютное давление, кгс/см²							
	2	5	10	15	20	25	30	40
140	656,5	—	—	—	—	—	—	—
160	666,3	661,1	—	—	—	—	—	—
180	676,0	671,8	663,7	—	—	—	—	—
200	685,5	682,1	675,7	668,1	—	—	—	—
220	695,2	692,3	686,9	680,9	674,2	—	—	—
240	704,5	702,3	697,7	692,8	687,4	681,5	675,1	—
260	714,3	712,1	708,2	704,4	699,7	694,9	689,8	678,3
280	723,8	721,5	718,7	715,1	711,3	707,3	703,1	694,8
300	733,7	731,9	728,9	725,8	722,5	719,1	715,6	708,0
320	743,1	741,4	739,1	736,3	733,4	730,5	727,4	720,9
340	753,1	751,7	749,2	746,7	744,2	741,5	738,9	733,2
360	762,8	761,5	759,3	757,1	754,8	752,5	750,1	745,7
380	772,7	771,5	769,5	767,4	765,3	763,3	761,2	756,0
400	782,5	781,5	779,6	777,8	775,9	774,0	772,1	768,1
420	792,5	791,5	789,8	788,1	786,4	784,6	782,9	779,3
440	802,5	801,6	800,0	798,5	796,8	795,2	793,6	790,3
460	812,6	811,7	810,2	808,8	807,3	805,9	804,3	801,3

1.8. СОСТАВ И СВОЙСТВА ВОЗДУХА

Состав воздуха. Сухой атмосферный воздух представляет собой смесь газов следующего состава, об. %: азот 78, кислород 21, инертные газы (аргон, неон, гелий и др.) и диоксид углерода 1. Газы, входящие в состав воздуха, распределены в нем равномерно, и каждый из них сохраняет свои свойства в смеси.

Азот N_2 и кислород O_2 не имеют цвета, вкуса и запаха. Азот не горит и горение не поддерживает; кислород легко вступает в реакцию и является основным окислителем, обеспечивающим горение всех видов топлива. Плотность воздуха при 0 °С и 760 мм рт. ст. равна 1,293 кг/м³. С ростом температуры плотность воздуха уменьшается (табл. 1.6).

В воздухе содержатся также водяные пары, количество которых меняется и зависит от конкретных атмосферных условий. Каждому значению температуры соответствует максимальное количество водяных паров, которое может содержаться в воздухе, и максимальное парциальное давление этих паров.

Влажность воздуха. Различают абсолютную влажность, т. е. фактическое количество водяных паров, содержащихся в воздухе (измеряется в граммах на килограмм сухого воздуха), и относительную влажность, характеризующую отношение массы находящегося в воздухе водяного пара $d_в$ к наиболее возможной его массе при тех же тем-

Таблица 1.6

Физические свойства влажного воздуха при давлении 760 мм рт. ст.

Температура, °С	Плотность сухого воздуха, кг/м³	Упругость (парциальное давление водяного пара), мм рт. ст.	Содержание водяного пара при φ = 100%, г/м³	
			в 1 м³ воздуха	в 1 кг влажного воздуха
—20	1,396	0,94	1,1	0,8
—10	1,342	2,14	2,3	1,78
0	1,293	4,58	4,9	3,78
5	1,270	6,53	6,8	5,35
10	1,248	9,21	9,4	7,5
15	1,226	12,79	12,8	10,5
20	1,205	17,53	17,2	14,4
25	1,185	23,76	22,9	19,5
30	1,165	31,82	30,1	26,3
35	1,146	42,18	39,3	35,0
40	1,128	55,32	50,8	46,3
45	1,110	71,88	65,0	60,7
50	1,093	92,51	83,3	79,0
55	1,076	118,00	103,6	102,3
60	1,060	149,40	129,3	131,7

пературе и давлении $d_н$. Относительную влажность обычно выражают в процентах

$$\varphi \approx d_в \cdot 100/d_н.$$

При постоянной абсолютной влажности воздуха его относительная влажность увеличивается или уменьшается в зависимости от понижения или повышения температуры воздуха. Температура, при которой начинается конденсация водяных паров, называется температурой «точки росы», а воздух, в котором начинается конденсация, называется насыщенным. Водяные пары в воздухе являются сильно перегретыми.

Конденсация водяных паров происходит и в помещениях на поверхностях труб или сосудов, температура которых значительно ниже температуры окружающего воздуха. Наличие водяных капель на поверхности холодных труб может быть ошибочно воспринято как протечка в них.

Глава 2

МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В КОТЕЛЬНЫХ

2.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О МАТЕРИАЛАХ

Общие требования. Одним из основных условий нормальной и безопасной эксплуатации котлов, трубопроводов, вспомогательного и газового оборудования является применение не только при изготовлении, но и при ремонте материалов, соответствующих требованиям действующих нормативных документов.

Качество листовой стали, труб, поковок, крепежных деталей, стальных и чугунных отливок, сварочных, изоляционных, прокладочных, уплотнительных, теплоизоляционных, огнеупорных и других материалов должно соответствовать требованиям государственных общесоюзных стандартов (ГОСТ), отраслевых стандартов (ОСТ), республиканских стандартов (РСТ) и технических условий на изготовление (ТУ). На все материалы при их применении в котельной должны иметься сертификаты, а на оборудование и изделия — паспорта заводов-изготовителей.

Контроль применяемых в процессе эксплуатации, а также при ремонтах труб, арматуры и материалов входит в обязанности инженерно-технических работников котельной. Эксплуатационный персонал не должен применять случайные материалы, свойства или качества которых не известны или не соответствуют требуемым.

До начала монтажа трубы и фасонные части, изготовленные из труб, арматура и оборудование должны быть подвергнуты внешнему осмотру. На поверхности металла не должно быть плен, трещин, закатов и глубоких рисок. Фасонные части, детали и оборудование не должны иметь вмятин, забоин, признаков расслоения металла, глубоких раковин.

Свойства материалов. Свойства материалов делятся на следующие группы: физические, механические, химические, технологические. К физическим свойствам относятся цвет, плотность, температура плавления, тепловое расширение, тепло- и электропроводность, магнитные

свойства. Механические свойства включают прочность, упругость, твердость, пластичность, вязкость, хрупкость, усталость, ползучесть, износостойкость. Показателями химических свойств материалов является способность их сопротивляться коррозии. Технологические свойства характеризуются способностью поддаваться различным методам обработки (ковкость, свариваемость, литейные свойства и др.).

Ниже даются объяснения основных определений механических свойств, применимых для металлов и других материалов.

Упругость — способность материала восстанавливать свою первоначальную форму и размеры после прекращения действия внешних сил, вызвавших деформацию.

Пластичность — способность материала изменять свою форму и размеры под действием внешних сил, не разрушаясь, и сохранять полученные деформации после прекращения действия внешних сил.

Твердость — способность материала оказывать сопротивление проникновению в него другого, более твердого тела.

Вязкость — способность материалов оказывать сопротивление ударным нагрузкам. Хрупкость — свойство, обратное вязкости.

Ползучесть — свойство материала медленно и непрерывно пластически деформироваться при длительной нагрузке и высокой температуре.

Усталость — процесс постепенного накопления повреждений материала под действием повторно-переменных напряжений, приводящий к уменьшению долговечности, образованию трещин и разрушению.

Прочность — способность материала сопротивляться действию внешних сил без разрушения. Предел прочности (временное сопротивление) — напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению тела (образца).

Термостойкость — свойство материала и изделий выдерживать резкие изменения температуры без разрушения.

Температуроустойчивость — предельная температура, до которой материал сохраняет свои прочностные свойства.

Огнеупорность — свойство материала выдерживать без деформации и расплавления длительное воздействие высокой температуры.

Металлы и сплавы. Все применяемые в технике металлы делятся на черные и цветные. К черным относятся наиболее распространенные сплавы железа и углерода — сталь и чугун. Сталь обладает высокой прочностью и твердостью, сопротивляемостью ударным нагрузкам. Вместе с тем сталь поддается ковке, обработке на металлорежущих станках, изделия из стали хорошо свариваются.

Сталь углеродистая обыкновенного качества делится по группам (А, Б, В), категориям, маркам и степени раскисления. Сталь группы А поставляется с гарантированными механическими свойствами (индекс А в обозначении стали не указывается), группы Б — с гарантированным химическим составом, группы В — с гарантированными механическими свойствами и химическим составом. Сталь каждой группы в зависимости от нормируемых показателей (предел текучести, временное сопротивление разрыву и т. д.) подразделяется на категории: группы А — 1, 2, 3; группы Б — 1, 2; группы В — 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Марки стали характеризуют содержание углерода в сотых долях процента (например, в Ст3 содержится 0,03% углерода).

По степени раскисления сталь всех групп с номерами марок 1, 2, 3, 4 поставляют кипящей (КП), полуспокойной (ПС) и спокойной (СП), а с номерами марок 5 и 6 — ПС и СП.

Марки стали 08, 10, 15, 20 углеродистой качественной конструкционной различаются по содержанию углерода и по качеству, которое определяется содержанием серы и фосфора, постоянством механических свойств и химического состава. По сравнению со сталью по ГОСТ 380—71* в них меньше вредных и остаточных примесей.

По степени раскисленности эти стали также бывают КП, ПС, СП (при обозначении индекс СП не указывается), а по требованиям к испытанию механических свойств они делятся на категории 1, 2, 3, 4 и 5.

В чугуне содержится от 2,4 до 4,5% углерода, а также небольшое количество марганца, серы, кремния, фосфора. Чугун более хрупок, чем сталь, хуже сваривается, но больше пригоден для получения изделий литьем.

Физико-механические свойства стали и чугуна значительно улучшаются при введении в их состав легирующих химических элементов, к которым относятся хром, никель, вольфрам, ванадий, кобальт, молибден, алюми-

ний, медь. Так, например, хром увеличивает твердость, прочность, коррозионную стойкость стали. При большом содержании хрома сталь становится нержавеющей. Медь увеличивает коррозионную стойкость.

Из цветных металлов в котельно-отопительной технике наиболее широко применяются медь, алюминий и их сплавы с другими металлами. Медь отличается высокой электро- и теплопроводностью, а также стойкостью к атмосферной коррозии, устойчивостью по отношению к воде, разбавленным кислотам и другим средам. Алюминий обладает малой плотностью и достаточной прочностью, высокой электро- и теплопроводностью, устойчивостью к атмосферной коррозии.

Такие металлы, как титан, магний, олово, свинец, входят главным образом в состав сплавов. Сплавом называются сложные металлы, в состав которых входят простой металл (основа сплава) и один или два других металла. Одним из самых распространенных сплавов на основе меди является латунь — сплав с цинком. Латунь обладает всеми свойствами меди, но более высокой прочностью, чем медь. Специальные латуни содержат и легирующие металлы (олово, свинец, железо и др.), что обеспечивает повышение определенных свойств сплава (прочность, твердость, обрабатываемость и др.).

Бронзы представляют собой сплавы меди с оловом, свинцом, алюминием и другими металлами. Бронзы применяют при изготовлении арматуры, подшипниковых втулок электромоторов, средств измерений и других изделий.

Коррозия металлов. Коррозией называется разрушение металлов, вызываемое химическим или электрохимическим воздействием на них внешней среды (кислорода, диоксида углерода, грунта, влаги) или блуждающих в земле электрических токов. При химической коррозии металл вступает в реакцию с кислородом, содержащимся в воздухе (внешняя коррозия), или с кислородом, содержащимся в воде. Последнее часто встречается в системах теплоснабжения. При этом происходит разрушение металла, а образующиеся оксиды железа (Fe_2O_3 и др.) заполняют внутреннее пространство труб.

В котлах в основном происходит электрическая коррозия, обусловленная наличием мельчайших гальванических пар из-за неоднородности металла и наличия в котловой воде солей. При движении электрического тока происходит перенос металла с анодных участков в воду.

Коррозия внутренних поверхностей котлов может быть вызвана также воздействием кислорода воздуха, попадающего в котел в периоды его остановки. Эту коррозию называют стояночной.

Подземные трубопроводы подвергаются разрушению от почвенной коррозии, зависящей от наличия в грунте растворов солей, кислот, щелочей, вызывающих электрохимические процессы между металлом и этими соединениями. Процессы электрохимической коррозии аналогичны процессам, происходящим в гальваническом элементе.

Процесс коррозии трубопроводов от блуждающих токов заключается в следующем. Электрический ток трамваев, метрополитена, электропоездов стекает с рельс в окружающий грунт и попадает на подземный трубопровод. Затем вблизи тяговых подстанций ток стекает с трубопровода к отрицательной шине подстанции. В местах стекания тока (анодные зоны) происходит разрушение металла и образование в нем язвин.

От почвенной коррозии трубопроводы защищают противокоррозионной изоляцией, а для борьбы с блуждающими токами применяют специальные установки электрохимической защиты. В необходимых случаях применяют и другие методы защиты изделий: металлические, лакокрасочные и полимерные покрытия, эмали, защитные пленки, смазки (для защиты при хранении).

2.2. СТАЛЬНЫЕ ТРУБЫ И ТРУБОПРОВОДНАЯ АРМАТУРА

Характеристика труб. По способу изготовления трубы подразделяют на сварные (прямошовные и со спиральным швом) и бесшовные (горяче-, холодно- и теплодеформированные). Сортаменты труб и технические требования (условия) в зависимости от способа их изготовления определены соответствующими ГОСТ.

В качестве примера приводится обозначение стальной прямошовной электросварной трубы диаметром 57 мм с толщиной стенки 2 мм:

$$\frac{57 \times 2 \text{ ГОСТ } 10\,704 - 76^*}{\text{В-В Ст2СП2 ГОСТ } 10\,705 - 80^*}.$$

В верхней строке — ГОСТ, определяющий сортамент, в нижней строке — группа трубы; группа стали; раскисление; категория; ГОСТ, определяющий технические требования.

При монтаже газопроводов применяют трубы с толщиной стенок не менее, мм: 2 — для надземных и внутренних, 3 — для подземных и наземных.

Для ранее применявшихся газоводопроводных труб (ГОСТ 3262—75*) поперечный размер трубы, мм, характеризовался: условным проходом $D_у$; наружным $D_н$ и внутренним $D_{вн}$ диаметром; толщиной стенки S. $D_у$ — номинальный внутренний диаметр (может не совпадать с фактическим внутренним диаметром трубы); $D_н$ — величина постоянная для данного $D_у$, определяемая соответствующим ГОСТ на сортамент труб или ТУ; $D_{вн}$ — величина переменная для данного $D_у$, зависящая от толщины стенки.

Для резьбовых соединений труб до сего времени применяют цилиндрическую резьбу, обозначаемую в дюймах (1 дюйм = 25,4 мм). Соотношение условных диаметров и трубных цилиндрических резьб следующее:

Резьба трубная $D_{тр}$, дюйм	$^1/_4$	$^3/_8$	$^1/_2$	$^3/_4$	1	$1^1/_4$	$1^1/_2$	2	$2^1/_2$
Условный диаметр $D_у$, мм	6	10	15	20	25	32	40	50	65

Обозначения трубопроводной арматуры. Арматурой называются изделия и устройства, предназначенные для обеспечения нормальных условий эксплуатации котлов и котельного оборудования. По назначению арматуру делят на запорную (краны, вентили, задвижки), регулирующие (редукционные клапаны для снижения давления пара, регуляторы уровня, расхода, температуры), предохранительную (предохранительные запорные и сбросные устройства), контрольную (указатели уровня, пробные и трехходовые краны). По способу присоединения к трубам и оборудованию арматура делится на фланцевую, муфтовую (с внутренней и наружной резьбой), цапковую (с накидной гайкой) и приварную с концами для присоединения сваркой.

Арматура и соединительные части характеризуются давлением: условным $p_у$ — наибольшим избыточным давлением при температуре среды 20 °С, при котором допустима длительная работа; рабочим $p_р$ — наибольшим избыточным давлением, при котором обеспечивается заданный режим эксплуатации; пробным $p_{пр}$ — избыточным давлением, при котором должно производиться испытание на прочность и плотность водой при температуре в пределах 5—70 °С. По условному давлению арматуру делят

на три группы: низкого (1—10 кгс/см²), среднего (16—64) и высокого (100—1000).

Номинальный диаметр отверстия в арматуре определяет условный диаметр прохода $D_у$.

Тип арматуры обозначают цифрами: кран пробноспускной — 10; кран для трубопровода — 11; вентиль — 13, 14, 15; клапан предохранительный сбросной — 17; клапан отсечной — 22; клапан регулирующий — 25; задвижка — 30 и 31. Материал, применяемый для изготовления корпуса, обозначают буквами: чугун — «ч», сталь углеродистая — «с», сталь коррозионностойкая — «нж». За этими буквами в обозначении арматуры указываются цифрами особенности изделия в пределах данного типа и вид привода: одна или две цифры — номер модели (ручной привод с маховиком или рукояткой), при наличии трех цифр первая обозначает тип привода, а две последующие — номер модели: 8 или 38 — ручной привод с рукояткой; 7, 12, 17, 47 — ручной привод с маховиком; 914 — электрический привод модели 14. Последние буквы обозначают материал уплотнительных поверхностей: коррозионная сталь — «нж», бронза — «бр», изделия без вставных или наплавных колец — «бк».

В качестве примера приводится обозначение задвижки чугунной клиновой с невыдвижным шпинделем фланцевой (привод ручной с маховиком): 30ч47бк4 — для газопроводов, 30ч47бр или 30ч47бр2 — для водопроводов (цифры 4 или 2 — модификации).

Некоторые изделия обозначают только типом (буквами) и условным давлением или условным диаметром (цифрой). Например, задвижка клиновая с выдвижным шпинделем фланцевая стальная с электроприводом на условное давление 16 кгс/см²: ЗКЛПЭ-16; клапан газовый с $D_у$ = 400 мм КГ-40.

На газопроводах следует применять арматуру, предназначенную для газовой среды и отвечающую определенным требованиям по герметичности. Арматуру общего назначения допускается использовать при условии дополнительной ее притирки и испытания в соответствии с действующими правилами. Не допускается использовать арматуру не по назначению, например запорную арматуру в качестве регулирующей.

На арматуре должна быть нанесена четкая маркировка с указанием наименования или товарного знака завода-изготовителя, условного прохода, условного или рабочего

давления и температуры перемещаемой среды, направления потока среды. На маховиках арматуры должно быть обозначено направление вращения при открывании и закрывании. На шпинделе кранов с D_y до 80 мм должна быть риска-прорезь, соответствующая направлению проходного отверстия пробки. Поворотные краны и затворы должны иметь ограничители поворота и указатели «Открыто» — «Закрыто», а задвижки с невыдвижным шпинделем — указатель степени открытия.

Краны. Основными частями кранов являются корпус с присоединительными патрубками и затворы (пробки) конической, цилиндрической и сферической формы. По способу уплотнения затвора краны бывают натяжные и сальниковые.

Герметичность кранов достигается притиркой уплотнительных поверхностей корпуса и пробки и прижатием их друг к другу при помощи сальника или натяжной гайки. При температуре окружающего воздуха более 25 °С уплотнительные поверхности натяжных кранов смазывают смазкой следующего состава: горный воск (50%), цилиндровое масло (40%), графитовый порошок (10%). При температуре ниже 25 °С в качестве смазки применяют технический вазелин или солидол.

В кранах КС (кран самосмазывающийся) и 11ч6бкII герметичность достигается наличием между уплотнительными поверхностями находящейся под давлением смазки. Так, в пробке и корпусе КС имеется система канавок, заполненная специальной кальциевой смазкой на касторовом масле. Поддержание необходимого давления смазки осуществляется специальным болтом нагнетания смазки.

Задвижки. В конструкцию задвижки входят корпус, затворное устройство, шпиндель для подъема затвора и привод. Затворное устройство бывает клиновым или параллельным. Клиновой затвор может быть сплошным или состоящим из двух шарнирно соединенных дисков. Боковые поверхности затвора скошены относительно вертикальной оси задвижки, а клин имеет пазы для фиксирования посадки.

Параллельные затворы бывают однодисковые (шиберные) или двухдисковые. Боковые поверхности затвора параллельны между собой, а в корпусе имеются направляющие, по которым движутся диски затвора. Диски прижимаются к уплотнительным поверхностям корпуса благодаря наличию распорного клина.

В задвижках с выдвижным шпинделем последний соединен ленточной резьбой с резьбовой втулкой, расположенной вне корпуса задвижки. При вращении маховика против часовой стрелки шпиндель выдвигается наружу и приподнимает затвор. Степень открытия задвижки можно примерно определить по количеству ниток резьбы шпинделя на маховике задвижки.

В задвижках с невыдвижным шпинделем один конец последнего имеет резьбу, входящую в нарезную втулку, расположенную в верхней части затвора, а на другом конце закреплен маховик. При вращении маховика нарезная часть шпинделя перемещает в нужном направлении втулку затвора, а вместе с ней и затвор. Сам шпиндель при этом благодаря наличию на нем бурта не перемещается. Степень открытия затвора определяют по имеющемуся на задвижке указателю, с отметками «О» (открыто) и «З» (закрыто).

В задвижках с пневматическим или гидравлическим приводом вместо шпинделя с резьбой имеется шток, а в быстродействующих с электроприводом — зубчатая рейка. В стальной задвижке ЗКЛПЭ-16 применен электропривод во взрывобезопасном исполнении с дистанционным или местным управлением. Привод имеет также аварийное ручное управление.

Задвижки с ручным управлением устанавливают с вертикальным или горизонтальным расположением шпинделя. Положение задвижек с электрическим или пневматическим приводом указывается особо.

Вентили. В вентиле отключение происходит при полном прижатии к седлу плунжера, имеющего уплотнительное седло из баббита, резины или фторопласта. Для обеспечения плотности прилегания к седлу плунжера предусмотрена возможность некоторого смещения последнего относительно оси шпинделя. Применяют вентили чаще всего на импульсных трубках. Они отличаются высокой герметичностью и удобством притирки уплотнительных поверхностей. Вентили устанавливают так, чтобы поток газа был направлен под шпиндель.

Большинство вентилей имеет верхнее уплотнение для разгрузки сальника при поднятом до отказа шпинделе. При необходимости по эксплуатационным условиям производить набивку сальника без прекращения подачи газа следует до установки вентиля на газопровод произвести притирку конического выступа плунжера к конической

проточке в крышке. Выдвижную часть шпинделя рекомендуется смазывать консистентной смазкой ЦИАТИМ-221.

Арматура с электромагнитным приводом. Такую арматуру применяют в качестве предохранительных быстродействующих отсечных, а также запорных устройств. К этого вида арматуре относятся: вентили СВМГ и ВНД-80, клапаны КГ, блок питания газовый (БПГ), клапан $D_у$10 и клапаны ПКН и ПКВ (см. раздел 6.4) с электромагнитной приставкой.

Вентиль мембранный СВМГ предназначен для установки на газопроводах с давлением газа до 1 кгс/см^2 и при температуре окружающей среды от —15 до 40 °С. Запорный механизм состоит из основного и разгрузочного плунжеров с уплотнением из маслобензостойкой резины, тарельчатой шайбы, мембраны и диска, скрепленных накидной гайкой. Электропривод состоит из катушки, сердечника и трубки, приваренной к упору. Герметизация кожуха электромагнита обеспечивается резиновым кольцом.

Пробные краны. Для контроля уровня воды в котлах, отбора проб воды, а в необходимых случаях для спуска воды из водогрейных котлов в целях предотвращения резкого повышения в них давления и температуры устанавливают пароводопроводные краны с прямым или изогнутым спуском, с сальниковым уплотнением или натяжной гайкой. Кран должен соответствовать рабочему давлению и температуре пара. Диаметр прохода крана должен быть не менее 8 мм, а конструкция его должна предусматривать возможность прочистки крана по оси канала.

Обратные клапаны. Предназначены для пропуска воды только в одном направлении; закрываются автоматически под воздействием собственного веса при движении воды в обратном направлении. Существуют два типа клапанов: подъемные и поворотные.

Конденсатоотводчики. Устанавливают конденсатоотводчики в концевых точках трубопроводов, по которым возвращается в котельную конденсат, для предупреждения прорыва пара, а также на паропроводах — для отвода образующегося в них конденсата. Конденсатоотводчики бывают следующих типов: поплавкового — с прямым или перевернутым поплавком, термостатического — с сильфоном, заполненным легкоиспаряющейся жидкостью,

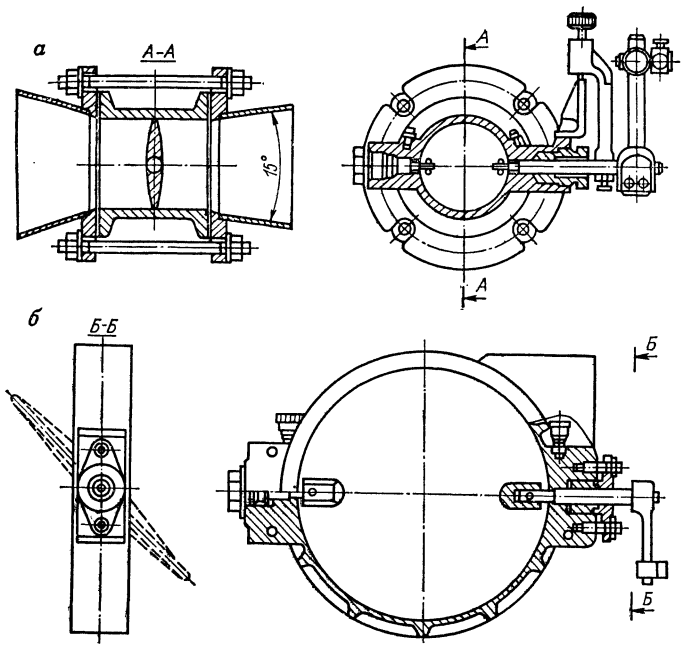


Рис. 2.1. Регулирующие заслонки типа ЗМС (*а*) и ПРЗ (*б*).

термодинамические — применяемые при давлении 40 кгс/см^2 и выше.

Регулирующая газовая арматура. Предназначена для регулирования расхода газа путем изменения проходного сечения регулирующего (дроссельного) органа. Регулирующие органы, управляемые вручную или автоматическим регулятором, бывают: заслоночные, клапаны одно- и двухседельные, шланговые, диафрагмовые, шаровые.

К регулирующей арматуре относятся: заслонки ЗМС (малого сопротивления) и ПРЗ (поворотная регулирующая), дроссельные клапаны ДК и ЗД (заслонки дроссельные), затворы регулирующие дисковые с электроприводом.

Заслонки ЗМС и ПРЗ, показанные на рис. 2.1, имеют кривошипы, жестко закрепленные по полуоси вращения под любым углом относительно плоскости шибера (у ЗМС) или «мотылька» (у ПРЗ). На стержне кривошипа установлена передвижная головка с отверстием для присоединения тяги исполнительного механизма. Заслонки

ЗМС имеют 9 типоразмеров с D_y от 35 до 90 мм; условное давление 1 кгс/см². Заслонки ПРЗ имеют 12 типоразмеров с D_y от 100 до 500 мм; условное давление 2,5 кгс/см². Температура перемещаемой среды от минус 40 до 300 °С.

Затворы регулирующие дисковые с электроприводом типа 32кч915бк (D_y 50) и 32кч915бк1 (D_y 80) предназначены для регулирования расхода нейтральных и природных газов, а также воздуха с температурой от минус 10 до 50 °С. Эти затворы бесфланцевые, и их помещают между фланцами трубопровода в любом положении, а газ (воздух) может поступать в любом направлении. Условное давление затворов 10 кгс/см².

Управляет затвором электрический однооборотный механизм типа МЭО-4/10-025 с датчиком БДР (напряжение 220/380 В, частота тока 50 Гц). Время открытия или закрытия затвора 25 с.

2.3. ОБМУРОВОЧНЫЕ И ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

При обмуровке котлов и устройстве газоходов применяют различные сорта кирпича: глиняный обыкновенный (красный) и легковесный, диатомовый и пенодиатомовый обжиговый, тугоплавкий (гжельский), шамотный марок А, Б, В (по размерам — большой и малый, по форме — нормальный и клиновой), шамотный легковесный. Шамотный кирпич обладает наиболее высокой огнеупорностью, превышающей 1700 °С, и хорошей термостойкостью.

Обыкновенный глиняный кирпич применяют для кладки наружных стен тяжелой обмуровки котлов, фундаментов, газоходов и других элементов, подверженных температуре не выше 700 °С. Размер кирпича 250×120 × × 65 мм. По пределу прочности, кгс/см², различают пять марок кирпича: 200, 150, 125, 100 и 75. В котельных применяют кирпич марки не ниже 150.

Огнеупорный кирпич бывает большого (250×123 × × 65 мм) и малого (230×113×65) размера. Торцы клинового глиняного и огнеупорного кирпича, применяемого для выкладки сводов, с одной стороны имеют 65, а с другой — 55 мм.

Для устройства цилиндрических туннелей, а также для защиты поверхностей барабанов, обращенных в топку и камеру догорания, можно применять специальные горелочные камни промышленного изготовления.

Таблица 2.1

Составы цементных и сложных (цементно-известкового и цементно-глиняного) растворов (на 1 м³ раствора)

Соотношение составляющих	Расход составляющих, кг					Толщина шва, мм	Расход раствора, м³, на 1 м³ кладки
	Цемент	Известковое тесто	Глина красная	Песок кварцевый	Вода, л		
1 : 2	515	—	—	990	240	5—7	0,18
1 : 3	350	—	—	1010	190	5—7	0,18
1 : 4	286	—	—	1060	170	5—7	0,18
1 : 1 : 4	234	226	—	990	240	3	0,26
1 : 1 : 6	174	169	—	1060	202	3	0,26
1 : 1 : 9	114	112	—	1060	202	3	0,26
1 : 3 : 12	91	213	—	1060	202	3	0,26
1 : 1 : 5	204	—	210	1040	280	3	0,24
1 : 1 : 6	174	—	180	1060	250	3	0,24

В зависимости от назначения применяют растворы: глиняные — с красной или гжельской глиной, цементные, сложные цементно-известковые и цементно-глиняные, шамотные огнеупорные. Составы цементных и сложных растворов приведены в табл. 2.1, а шамотных огнеупорных растворов — в табл. 2.2.

Перед употреблением шамотный порошок и размолотая огнеупорная глина должны быть пропущены через проволочное сито с ячейками не более 1×1 мм. Раствор

Таблица 2.2

Составы шамотных огнеупорных растворов (на 1 м³ раствора)

Раствор	Назначение раствора	Расход составляющих, кг				Толщина шва, мм
		Порошок шамотный	Глина огнеупорная	Песок кварцевый	Вода, л	
1-го класса	Кладка особо ответственная	1100	420	—	550	До 2
2-го класса	Тщательная обмуровка	960	570	—	480	3
3-го класса	Грубая обмуровка	810	720	—	430	5
На кварцевом песке	Тщательная обмуровка	—	720	1010	430	3

должен легко приобретать необходимую подвижность (тестообразное состояние), легко заполнять неровности стыкуемых поверхностей и при высыхании медленно отдавать влагу не растрескиваясь.

При необходимости покрытия торкретом барабанов котла применяют торкрет-массы следующих составов, кг на 1 м³ массы:

— шамотный песок 1350; глина огнеупорная сухая пластифицированная молотая 180; глиноземистый цемент марки 400—270; массу наносят торкрет-пушкой или вручную;

— шамотный песок 1260; глина огнеупорная 450; жидкое стекло 90; массу наносят торкрет-пушкой.

Огнеупорная глина должна быть сухой и просеянной через сито с отверстиями 1 × 1 мм. Перед употреблением глину затворяют в воде для получения пластичной массы (шликера). Жидкое стекло перед употреблением растворяют в теплой воде. В мешалку сначала вводят глину и воду для получения шликера. Затем вводят часть шамотного песка, цемент (жидкое стекло) и остальную часть шамотного песка. Шамотный песок предварительно увлажняют.

Для изготовления туннелей газовых горелок и уплотнения мест их примыкания к кладке применяют набивные массы следующих составов, об. %: 1) порошок хромистого железняка 45, порошок обожженного магнезита 45, огнеупорная глина 10; 2) порошок алунда 50, порошок шамота 30—20, огнеупорная глина 30—20; 3) порошок шамота класса А-75, огнеупорная глина 25; 4) молотый магнезит (хромомагнезит) — 70, огнеупорная глина — 30 (по массе), вода — 100 л на 1 м³ сухой массы.

В состав массы добавляют до 5% жидкого стекла или органического клея при влажности смеси 5—8%.

Торкретные и пластичные массы должны быть уложены в течение 2 ч с момента приготовления. За один прием укладывают слой не более 80—100 мм. Наружную поверхность торкрета выравнивают и заглаживают. Пластичные массы уплотняют вручную деревянными трамбовками или молотками. Заглаживать наружную поверхность пластичных масс не следует.

2.4. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Теплоизоляционными свойствами обладают материалы с низкой объемной массой и малой теплопроводностью. Эти материалы классифицируют по следующим признакам:

— структура строения — пористо-волокнистые (минераловатные, стекловатные и др.), пористо-зернистые (перлитовые, вермикулитовые, совелитовые и др.), ячеистые (изделия из ячеистых бетонов, пеностекло, пенопласты);

— форма — штучные (плиты, блоки, кирпич, сегменты, полуцилиндры), рулонные (маты, полосы, матрацы); шнуровые (шнуры, жгуты), сыпучие;

— вид основного сырья — неорганические (асбестовые, минераловатные, стекловатные и др.), органические (торфяные, древесноволокнистые, пробковые);

— объемная масса — особо легкие (от 15 до 100 кг/м^3), легкие (от 125 до 300 кг/м^3), тяжелые (от 400 до 600 кг/м^3);

— сжимаемость — мягкие, полужесткие, жесткие;

— теплопроводность (в зависимости от коэффициента теплопроводности) — малотеплопроводные, среднетеплопроводные, повышенной теплопроводности.

В котельных и тепловых сетях применяют теплоизоляционные материалы с высокой теплоустойчивостью и не вызывающие коррозии металла.

В качестве теплоизоляционных материалов применяют: ватные материалы (минеральную, стеклянную, каолиновую и базальтовую вату); асбест и асбестсодержащие материалы (асбозурит, совелит, «ньювель»); диатомит; вермикулит; перлит; теплоизоляционные пенопласты.

Минеральную вату получают из расплавленных металлургических шлаков и горных пород, стеклянную вату — из расплавленной стеклянной шихты, каолиновую — путем распыления жидкого расплава каолинового состава. При использовании ваты в качестве набивочного материала следует учесть их подверженность усадке. Работы с этими материалами и изделиями из них требуют осторожности и должны выполняться при условии обеспечения защиты глаз, органов дыхания, кожи.

Из ватных материалов изготавливают различного типа плиты, прошивные и рулонированные маты на синтетическом, битумном, крахмальном связующем, а также полносборные конструкции. Такие конструкции состоят из теплоизоляционного слоя, наружного покрытия и крепежных деталей. В качестве защитного покрытия применяют тонколистовой алюминий и сплавы из него толщиной 0,3—1,0 мм, сталь кровельную и оцинкованную и другие материалы.

Асбест хризотиловый — горная порода волокнистого строения. После очистки от примесей подвергается расщеплению на тонкие эластичные волокна. Применяется непосредственно или в виде изделий совместно с другими составляющими.

Асбест применяют в виде картона, бумаги, шнуров. Картон и бумагу используют в качестве термостойкого прокладочного материала. Перед укладкой листы увлажняют, что делает их эластичными и удобными для придания необходимой формы. Различного типа шнуры применяют для изоляции горячих труб малого диаметра, а также фасонных частей.

Из асбеста можно сшить оболочку для изготовления изделия типа матраца, которую заполняют сыпучим или волокнистым теплоизоляционным материалом. Такие изделия, выкроенные соответствующим образом, применяют как съемную изоляцию арматуры, фланцевых соединений, механизмов. Матрацы простегивают насквозь асбестовой нитью и прошивают по периметру.

По методу нанесения на изолируемую поверхность изоляция бывает: засыпная и набивная, мастичная, оберточная шнурами и жгутами, матами и плитами, сборная с применением готовых изделий.

Набивную и засыпную изоляцию применяют только в небольших объемах, на участках трубопроводов, где затруднено применение теплоизоляционных изделий. Для набивки применяют минеральную или стеклянную вату, каолиновое волокно, а для засыпки — асбозурит, совелит, ньювель, вермикулит, перлит и другие материалы. Указанными материалами заполняют полость между изолируемой поверхностью и металлической сеткой или металлическим кожухом. Сетку или кожух закрепляют на опорных кольцах, изготовленных из жестких теплоизоляционных изделий, а также из полосовой или круглой стали. После заполнения полости кожух закрепляют проволокой, а сетку сшивают.

Мастичную изоляцию выполняют из порошкообразных материалов (асбозурит, совелит, ньювель), затворенных в воде. При температуре изолируемой поверхности не выше 100 °С можно использовать шерстяные и бумажные очесы (отходы прядильных фабрик) и белую глину (70%). Применяют мастичную изоляцию в случаях срочных горячих ремонтов, а также на небольших, малодоступных участках трубопроводов. Наносить изоляцию следует в не-

сколько слоев, на очищенную поверхность с температурой не ниже 50 °С. Последний слой мастики выравнивают рейкой. Для обеспечения прочности изоляцию армируют проволочными каркасами (под штукатурку).

Оберточную изоляцию производят матами из стеклянной и шлаковой ваты с обкладочными материалами (металлическая сетка, асбестовая или стеклянная ткань), а также безобкладочными матами заводского изготовления. Маты укладывают в один и два слоя с перекрытием швов, закрепляют через 0,5 м бандажными кольцами из упаковочной ленты или проволоки диаметром 1,2—2 мм. Швы сшиваются мягкой проволокой диаметром 0,8 мм.

Шнуры и жгуты применяют при изоляции труб малых диаметров. Их плотно навивают спиралью в 1—3 слоя. Концы навитых шнуров закрепляют кольцами из проволоки. При наматывании более одного слоя каждый последующий слой наматывают в обратном направлении. Концы навивки закрепляют кольцами из проволоки диаметром 1,2 мм.

Сборную изоляцию выпускают в виде стандартных штучных изделий: скорлуп (сегментов), плит, матов. Скорлупы на трубах закрепляют бандажами из проволоки или полосового железа, а для крепления щитов к вертикальным поверхностям предусматривают специальные крюки или другие устройства. Наружную поверхность изоляции покрывают асбоцементной штукатуркой, а в необходимых случаях — дополнительным защитным слоем.

Для наружных покрытий тепловой изоляции применяют: металлические листы (стальные толщиной 0,5—1 мм и алюминиевые толщиной 0,3—1 мм), листы из жестких стеклопластиков, оболочки из синтетических пленок, стеклоткань со специальными пропитками (лакостеклоткань), рулонные и дублированные материалы (фольгоизол, фольгоалюминий и др.). Применяют также и оштукатуривание поверхности изоляции асбоцементным и песчаноцементным раствором или мастиками (асбозуритовой, асбозуритоцементной, асбозурито-асбестовой). Этот способ очень трудоемок и используется только для отдельных сложных участков изолируемой поверхности.

2.5. ПРОКЛАДОЧНЫЕ И УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Прокладочные материалы. Для уплотнения фланцевых соединений на газопроводах и газовом оборудовании следует применять прокладки из следующих материалов:

газопроводы с давлением 16 кгс/см² — паронит толщиной 1—4 мм марки ПМБ (маслобензостойкий), газопроводы с давлением до 6 кгс/см² — резина маслобензостойкая толщиной 3—5 мм. На трубопроводах горячей воды и пара паронитовые прокладки можно применять при давлении в них до 60 кгс/см² и температуре до 425 °С.

Паронит изготавливают из асбеста, каучука и наполнителей. Выпускают паронит в виде листов размером от 300×400 до 1200×1700 мм или в виде готовых прокладок. Перед установкой паронитовые прокладки следует натирать графитом с обеих сторон. Паронит должен быть защищен от действия прямых солнечных лучей и храниться в помещении с температурой не выше 30 °С. При этом его следует хранить на расстоянии не менее 1 м от теплоизлучающих приборов и предохранять от действия масел, бензина и других разрушающих веществ. Гарантийный срок хранения паронита 24 мес.

Графит — кристаллическое вещество серо-стального цвета, мягкое и жирное на ощупь, выпускается в виде тонко размолотого порошка и в виде чешуек. Смешанный перед употреблением с маслом (олифой) графит образует мастику, заполняющую неровности на поверхности фланцев арматуры и труб. Хранить графит необходимо в сухих помещениях.

Резиновые и резинотканевые пластины выпускают трех марок: теплокислотоморозощелочестойкую (ТКМЩ), маслостойкую (МС) и маслобензостойкую (МБС). Степень твердости всех марок: мягкая, средняя и повышенная. Толщина листовой резины от 2 до 6 мм, рулонной от 0,5 до 50 мм. Температурный интервал перемещаемой среды — от минус 30 до 140 °С.

Хранить пластины и изделия из них нужно в помещениях при температуре от 0 до 25 °С и предохранять от попадания масел, бензина, других разрушающих веществ и теплоизлучающих приборов.

Картон прокладочный выпускают марки А (пропитанный) листами толщиной от 0,3 до 1,5 мм и марки Б (непропитанный) листами толщиной от 0,3 до 2,5 мм. Применяется при температуре среды до 85 °С и давлении в трубопроводе 6 кгс/см². Перед установкой прокладки из картона смачивают водой и проваривают в олифе. Подготовленный картон должен храниться в закрытых сухих помещениях.

Картон асбестовый применяют в качестве как прокладочного, так и огнезащитного материала. Выпускается в виде листов толщиной от 2 до 6 мм. Плотность 1—1,3 г/см^3. При транспортировке и хранении асбестовый картон следует оберегать от увлажнения.

Фибру листовую изготавливают толщиной от 0,6 до 5 мм. Применяют фибру в качестве прокладок на трубопроводах и установках нефтяного топлива, смазочных масел, кислорода, углекислоты, а также в кранах и вентилях систем горячего водоснабжения при температуре до 100 °С.

Уплотнительные материалы. Для уплотнения резьбовых соединений применяют длинноволокнистый лен трепаный, который выпускают в виде прядей. При навертывании на резьбу лен пропитывают свинцовым суриком или белилами, разведенными на натуральной олифе. Для указанной цели при температуре теплоносителя более 105 °С используют асбестовые нити, пропитанные графитом.

Пакля смоляная представляет собой обработанные древесной смолой лубяные волокна, получаемые в виде отходов переработки пеньки и льна. Применяют при заделке раструбов чугунных водопроводных и канализационных труб, пространства между газопроводами и футлярами, в местах пересечения строительных конструкций.

Лента ФУМ (фторопластовый уплотнительный материал) предназначена для уплотнения резьбовых соединений трубопроводов, работающих в диапазоне температур от минус 60 до 200 °С, при давлении до 100 кгс/см^2. Цвет ленты белый с различными цветовыми оттенками, поверхность ровная и без разрывов. Допускается наличие темных пятен и отдельных включений, а также наличие волнистости.

При работе с лентой ФУМ запрещается курение, применение открытого огня и проведение сварочных работ, которые могут явиться источником разложения фторопласта, с выделением вредных газов.

Для уплотнения сальников арматуры, насосов, подвижных и неподвижных соединений различных машин и аппаратов применяют набивки сальниковые. Изготавливают набивки из асбестовых и неасбестовых материалов (хлопчатобумажных, лубяных волокон, фторопласта). Крученые, плетеные и скатанные шнуры имеют круглую, квадратную и прямоугольную форму диаметром или размером от 2 до 70 мм.

Из многочисленного количества набивок для применения в котельных можно отметить: АП-31 (асбестовая, плетеная, пропитанная жировым составом, графитированная, квадратная); АС (асбестовая, плетеная, сухая, квадратная и круглая); АПП (асбестовая, прорезиненная, графитированная); ХБТС (хлопчатобумажная — для воды и водяного пара).

Для приготовления колец набивки шнур набивают на деревянный стержень диаметром, равным диаметру уплотняемого штока арматуры и делают косые разрезы под углом 45°. Кольца набивки укладывают в сальниковую камеру таким образом, чтобы косые срезы стыков располагались в разбежку. Обтяжку набивки производят после установки каждых двух-трех колец.

2.6. ПРИТИРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Плотное (герметичное) прилегание плунжеров (золотников) к седлам, пробок к корпусам кранов и т. п. достигается притиркой, которую производят при помощи притира и притирочного материала. Притиры изготавливают из чугуна, мягкой стали, меди, твердых пород дерева, фибры и других материалов. Они имеют форму плиты, бруска, цилиндра, кольца, конуса или специальной фигуры в зависимости от притираемой детали. Притирку сопрягающихся поверхностей, например пробок кранов или клапанов, производят непосредственно, без притиров.

В качестве притирочных материалов служат порошки, приготовленные из наждака, корунда, карборунда, а также толченое стекло и различные пасты. Широкое распространение получила паста ГОИ, изготавливаемая на основе оксида хрома. Выпускают пасту в виде цилиндрических брусков темно-зеленого (грубая и средняя) и светло-зеленого (тонкая) цвета. Для работы приготавливают полужидкую смесь порошка или пасты со смазкой. Смазка предотвращает быстрое притупление зерен притирочного материала и чрезмерный нагрев детали. В качестве смазки применяют различные вещества в зависимости от материала притира: для чугуна — газолин, керосин, скипидар, лярдовое масло; для мягкой стали — машинное или лярдовое масло; для меди — машинное масло, скипидар, содовую воду, спирт.

Наиболее часто в местных условиях приходится притирать пробочные краны. Для этого с пробки удаляют

ограничитель поворота, пробку и гнездо промывают и насухо вытирают. Затем наносят равномерный слой притирочной смеси на поверхность пробки и вставляют ее в гнездо. При помощи ключа или специального зажима поворачивают пробку вправо и влево на угол 90—100°. После 5—6 двойных поворотов пробку приподнимают, поворачивают на 180° и повторяют цикл поворотов. Затем пробку и гнездо вновь протирают насухо, наносят новый слой притирочной смеси и продолжают притирку. Притирка считается законченной, если нанесенные на пробку карандашом два-три продольных штриха стираются при нескольких поворотах пробки в гнезде на угол 30—40°.

Глава 3
ЧТЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Технические чертежи. Чертежом называется графический конструкторский документ, содержащий в зависимости от его назначения данные, определяющие конструкцию изделия (оборудования, устройство прибора), его очертания и размеры, взаимное расположение составных частей, а также сведения, необходимые в общем случае для разработки, изготовления и контроля изделия и установки его на место применения. Составление, а также оформление чертежей и текстовой части к ним выполняются в полном соответствии с Единой системой конструкторской документации (ЕСКД).

В машиностроении в зависимости от содержания различают:

— чертежи общего вида, содержащие данные, определяющие конструкцию изделия, взаимодействие его основных частей и поясняющие принцип работы изделия;

— чертежи деталей, содержащие изображения деталей и другие данные, необходимые для их изготовления (вид резьбы, шероховатость, покрытие поверхностей, вид термообработки и др.) и контроля;

— сборочные чертежи, содержащие изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее сборки, обработки в собранном виде и контроля. Сборочный чертеж дает представление о взаимной связи деталей, порядке сборки и разборки изделия, монтаже его в общей системе изделия;

— монтажные чертежи, содержащие упрощенное изображение изделия и данные, необходимые для его монтажа на месте применения;

— габаритные чертежи, содержащие контурное упрощенное изображение изделия с габаритными установочными и присоединительными размерами.

Эскизы. Чертеж, выполненный от руки без строгого соответствия размеров линий на чертеже определенному масштабу, называется

эскизом. Пропорциональность размеров на чертеже между собой устанавливают на глаз, но цифровые значения размеров должны точно соответствовать действительным размерам детали. Составляют эскиз по имеющейся детали, используя необходимый измерительный инструмент. В зависимости от сложности детали эскиз включает общие виды, разрезы и сечения.

Схемы. Схемой называется графический конструкторский документ, содержащий условные графические изображения или обозначения составных частей изделия и связей между ними. Схемы выполняют без соблюдения масштаба отдельных составных частей и без строгого отображения фактического их расположения.

Схемы можно разбить на типы в зависимости от основного назначения схемы (принципиальные, структурные, монтажные, общие и др.) и виды в зависимости от элементов схемы и связей между ними (электрические, пневматические, кинематические и др.).

Принципиальные схемы — схемы, предназначенные для получения детального представления о принципе работы изделия, определения полного состава функциональных частей и связей между ними; применяются при разработке других конструкторских документов, а также при наладке, регулировке, контроле и ремонте изделия.

Электрические схемы содержат условные графические изображения или обозначения электрических составных частей изделия и связей между ними. Устройства и элементы на схемах изображают прямоугольниками или в виде их внешних очертаний. Для каждого устройства или элемента указывают наименование, обозначение или тип, места присоединения и ввода проводов и кабелей. Все элементы электрических систем и входящие в состав этих систем измерительные приборы имеют буквенные обозначения, например: кнопка — *Кн*, предохранитель — *Пр*, трансформатор — *Тр*. Провода, жгуты и кабели показывают на схеме отдельными линиями и отдельно нумеруют. Около линий проводов указывают марку и сечение жил.

Кинематические схемы содержат условные графические изображения или обозначения кинематических составных частей изделия и связей между ними. Составляются для изделий, устройств и механизмов, в которых имеются вращающиеся или передвигающиеся в процессе работы узлы и детали. На этих схемах должны быть показаны: все элементы, входящие в изделие; соединения и связи, обеспечивающие движение исполнительных органов; регулирование, управление и контроль этого движения, а также источники движения. На схемах указывают наименование, тип и характеристику источника движения (двигателя), длину перемещения или угол поворота, направление вращения или перемещения, диаметры шкивов и другие данные.

Масштаб изображения. Линейные размеры предмета, приведенные на чертеже, могут совпадать с действительными размерами, но могут быть больше или меньше их. Отношение линейных размеров предмета на чертеже, выполненных без искажения его изображения к размерам в натуре называется масштабом. Например, если на чертеже размер линии, обозначающей высоту котла, равен 100 мм, а в натуре высота составляет 5000 мм, то численный масштаб чертежа равен 100 : 5000 или 1 : 50, т. е. размеры на чертеже в 50 раз меньше соответствующих размеров в натуре. Крупные предметы, оборудование и устройства вычерчивают в масштабе уменьшения (например, 1 : 2, 1 : 10, 1 : 100), детали — в натуральную величину (1 : 1), а очень мелкие детали — в масштабе увеличения (например, 2 : 1, 10 : 1, 100 : 1).

На чертежах подземных коммуникаций (газопроводов, тепловой сети и др.) кроме плана трассы приводят разрез по всей длине прокладки, называемый продольным профилем. Так как длина этих прокладок во много раз превышает глубину их заложения, то для продольного профиля принимают два линейных масштаба: один для размеров по длине трассы и другой для вертикальных размеров (для глубины прокладки).

Виды, разрезы, сечения. Вид предмета получается путем совмещения его изображения с плоскостью чертежа на одной из граней пустотелого куба, внутри которого мысленно помещен предмет. Основными видами предмета являются: главный вид (спереди), вид сверху, вид слева, вид справа, вид снизу, вид сзади.

Если один из видов смещен относительно главного вида (спереди), то он отмечен на чертеже надписью, например «Вид А». Направление взгляда наблюдателя указывается на главном виде стрелкой с соответствующей буквой на конце.

Разрезом называется изображение предмета, мысленно рассеченного плоскостью или несколькими параллельными плоскостями. То, что находится между секущей плоскостью и наблюдателем, предполагается удаленным, а на разрезе показано то, что получено в секущем сечении, и то, что видно за плоскостью сечения. При этом пересекаемые части предмета обозначают соответствующей штриховкой.

Различают продольные разрезы, если секущие плоскости направлены вдоль длины или высоты предмета, и поперечные, если секущие плоскости направлены перпендикулярно к длине или высоте его. Если предмет рассечен одной плоскостью, разрез называют простым, а если двумя или более плоскостями, — сложным. Сложные разрезы бывают ступенчатыми, если секущие плоскости параллельны, или ломаными, если секущие плоскости пересекаются.

Сечением называется изображение на чертеже плоских геометрических фигур, которые получаются при мысленном рассечении предмета одной или несколькими плоскостями. Сечение является частью разреза, так как на нем показывают только то, что находится непосредственно в секущей плоскости.

Длинные предметы (элементы или детали), имеющие постоянное или определенным образом изменяющееся поперечное сечение, изображают на чертежах с разрывами, т. е. укороченными.

Аксонометрические проекции. Для наглядного пространственного изображения предметов пользуются методом аксонометрических проекций. Особенно удобны и часто применяются аксонометрические проекции при составлении схем трубопроводов, на которых показано их расположение в здании (например, в котельном зале, насосной и других помещениях).

В аксонометрическом изображении чертеж выполняют по трем осям, причем все вертикальные линии предмета или вертикальные участки трубопроводов вычерчивают также вертикальными линиями. Масштаб, в котором строится аксонометрическая проекция, называемый в данном случае коэффициентом искажения, может быть одинаковым по всем трем осям или одинаковым только по двум осям. Примером аксонометрического изображения может служить рис. 4.1, показывающий устройство котла.

Линии чертежа. При выполнении чертежей применяют линии различного начертания и различной толщины. Сплошными толстыми линиями обозначают видимый контур, контур сечения; сплошными тонкими — размерные и выносные; штриховыми — невидимый контур;

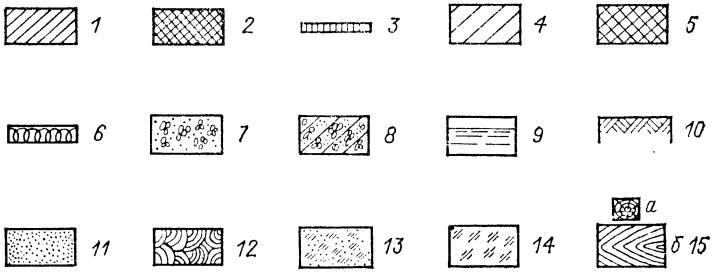


Рис. 3.1. Графическое изображение материалов на чертежах.
1 — металлы и твердые сплавы; *2* — неметаллические волокнистые и плитные материалы; *3* — сетки; *4* — кирпич строительный, искусственные и естественные камни; *5* — огнеупорный кирпич; *6* — стеклянная вата, войлок и т. п.; *7* — бетон неармированный; *8* — бетон армированный; *9* — жидкости; *10* — грунт; *11* — песок, штукатурка; *12* — глина (как конструктивный материал); *13* — засыпка; *14* — прозрачные материалы; *15* — дерево (*а* — поперек, *б* — вдоль волокон).

штрихпунктирными — оси и центральные линии; разомкнутыми — линии сечений.

Обозначения материалов и арматуры. Для того чтобы облегчить чтение чертежей и исключить необходимость применения пояснительных надписей, на чертежах трубопроводов и гидравлических сетей применяют условные обозначения, соответствующие стандартам ЕСКД.

Материалы, из которых изготовлено оборудование или устройство, показывают на чертежах, применяя определенные условные обозначения (рис. 3.1). В сечениях линии штриховки для обозначения данного материала проводят под углом к горизонтальной линии на чертеже с наклоном влево или вправо. Для всех сечений одной детали этот наклон должен быть одинаковым. Если на одном чертеже показаны металлы и кирпич, то расстояние между линиями штриховки металла должно быть меньше, чем для штриховки, обозначающей кирпич. Применяют также дополнительные обозначения, не приведенные на рис. 3.1. Для редко встречающихся материалов обозначения не применяют, но оговаривают это пояснением на чертеже.

Условные графические обозначения некоторых элементов и арматуры трубопроводов и гидравлических сетей показаны на рис. 3.2.

Обозначения резьб. На чертежах резьбу изображают сплошными основными линиями по наружному диаметру и сплошными тонкими линиями по внутреннему диаметру. Длину резьбы дают, как правило, без сбега. Резьбу, показываемую как невидимую, изображают штриховыми линиями одной толщины по наружному и по внутреннему диаметрам.

Для соединения труб и арматуры трубопроводов применяют трубную резьбу, которую обозначают «Труб.» с указанием внутреннего диаметра (в дюймах), например «Труб. 1». На болтах, гайках и шпильках применяют метрическую резьбу, которую обозначают буквой М, рядом пишут численное значение наружного диаметра резьбы в миллиметрах (например, М24). Для метрических резьб с мелким шагом указывают величину шага (например, М24×1,5).

Обозначение сварных швов. Сварные швы изображают: видимый шов — сплошной линией, невидимый — штриховкой. Видимую оди-

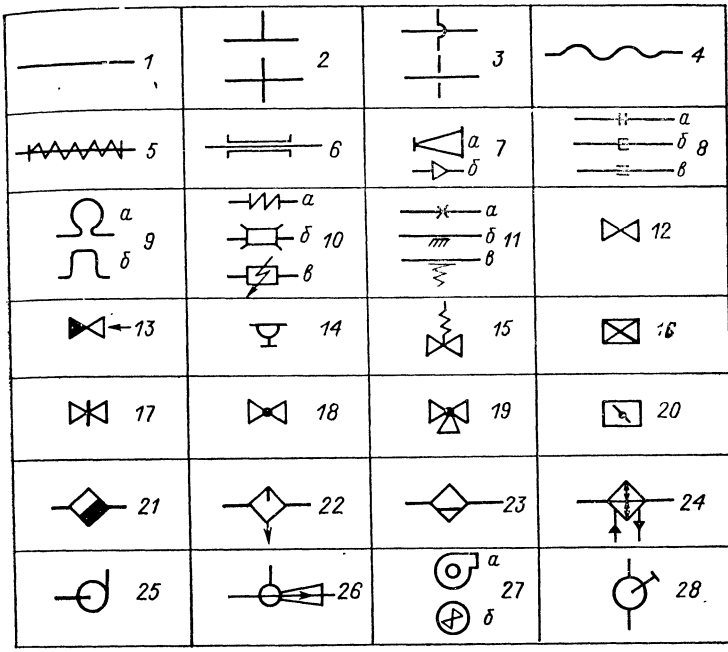


Рис. 3.2. Условные обозначения элементов и арматуры трубопроводов и гидравлических сетей.

1 — трубопровод; *2* — соединение трубопроводов; *3* — пересечение трубопроводов; *4* — трубопровод гибкий, шланг; *5* — изолированный участок; *6* — трубопровод в футляре; *7* — переход (*а* — фланцевый, *б* — с изменением диаметра трубы); *8* — соединение труб (*а* — фланцевое, *б* — резьбовое штуцерное, *в* — резьбовое муфтовое); *9* — компенсатор (*а* — лирообразный, *б* — П-образный); *10* — вставка (*а* — амортизационная, *б* — звукоизолирующая, *в* — электроизолирующая); *11* — опора (*а* — неподвижная, *б* — скользящая, *в* — подвижная упругая); *12* — запорный вентиль; *13* — обратный клапан; *14* — воздушный клапан (вантуз); *15* — предохранительный клапан; *16* — дроссельный клапан; *17* — задвижка; *18* — проходной кран; *19* — трехходовой кран; *20* — поворотный затвор; *21* — конденсатоотводчик; *22* — сепаратор (водоотделитель); *23* — влаго(масло)отделитель; *24* — теплообменник; *25* — насос центробежный; *26* — инжектор, эжектор, элеватор; *27* — вентилятор (*а* — радиальный, *б* — осевой); *28* — ручной насос.

ночную сварную точку независимо от способа сварки изображают знаком «+». От изображения шва или одиночной точки проводят линию — выноску, заканчивающуюся односторонней стрелкой. На полке стрелки указываются необходимые условные обозначения.

Нанесение размеров на чертежах. Для обозначения на чертежах размеров проводят выносные линии, определяющие границы измеряемого прямолинейного отрезка, и размерную линию между выносными линиями. Выносные линии наносят перпендикулярно к линии отрезка, размер которого обозначается, а размерную линию — параллельно этому отрезку. Выносными линиями угла или длины окружности являются продолжения радиусов, определяющих рассматриваемый угол или часть окружности. Размерные линии ограничивают стрелками,

а при очень малых размерах — засечками или точками. Размерные линии можно также наносить между линиями видимого контура.

Размеры на чертежах указывают, как правило, в миллиметрах без обозначения единицы измерения. Если размеры даны в сантиметрах или метрах, то к размерным числам добавляют обозначение единицы измерения (см, м). Углы дают в градусах, а при точных определениях указывают также минуты и секунды (например, 18° 30′ 45″). Перед размерным числом радиуса окружности пишут букву R, а перед размерным числом диаметра — знак ⌀. Над размерным числом дуги окружности ставят знак ⌒. Квадрат обозначают цифрами (например, 25×25) или знаком □ (например □ 25).

Размеры повторяющихся элементов изделия (например, диаметр расположенных в один ряд отверстий) обозначают на чертеже один раз, но указывают количество этих элементов. Если повторяющиеся элементы расположены равномерно по длине изделия, то размер между крайними элементами (отверстиями) показывают в виде произведения количества элементов на размер между соседними элементами.

Размер фасок под углом 45° обозначают как произведение размера катета фаски на угол (например, 3×45°).

Чертежи газоснабжения. Рабочие чертежи расположения газопроводов, средств измерений и оборудования включают: планы и разрезы, виды и схемы. По давлению и назначению газопроводы обозначают: общего назначения — ГО, низкого давления (до 0,05 кгс/см²) — Г1, среднего давления (более 0,05 до 3 кгс/см²) — Г2, высокого давления (более 3 до 6 кгс/см²) — Г3, высокого давления (более 6 до 12 кгс/см²) — Г4, продувочные — Г5 (см. раздел 6.1), трубопровод на разрежение — Г6.

При диаметре до 100 мм газопровод изображают одной линией, а при диаметре более 100 мм — двумя линиями. Переход с одного диаметра на другой обозначают треугольником, основание которого расположено в сторону большего диаметра.

Диаметр и толщину стенки газопровода указывают на полке выноски (для водогазопроводных труб — условный диаметр $D_у$, для электросварных труб — наружный диаметр $D_н$). Условное графическое изображение арматуры (запорной, регулирующей, предохранительной) и оборудования должно соответствовать ГОСТ. Масштаб схем газопроводов должен быть 1 : 100 или 1 : 200, узлов схем — 1 : 10 или 1 : 50.

Глава 4
УСТРОЙСТВО И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОТЛОВ

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОТЛАХ

Элементы котла. Котел — устройство, в котором для получения пара или нагрева воды с давлением выше атмосферного, потребляемых вне этого устройства, используется теплота, выделяющаяся при сгорании топлива, а также теплота отходящих газов. В котел могут входить

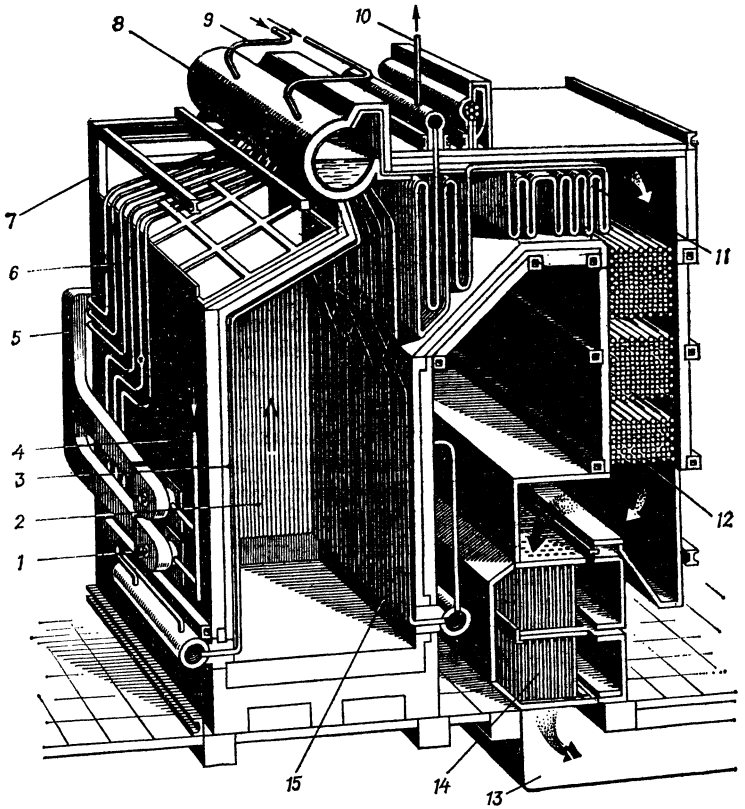


Рис. 4.1. Пример компоновки элементов котла.

1 — газомазутная горелка; *2* — боковой экран; *3* — фронтовой экран; *4* — газопровод; *5* — воздухопровод; *6* — опускные трубы; *7* — каркас; *8* — барабан котла; *9* — подвод воды; *10* — выход пара из пароперегревателя; *11* — пароперегреватель; *12* — змеевиковый экономайзер; *13* — газоход; *14* — трубчатый воздухоподогреватель; *15* — задний экран.

полностью или частично: топка, поверхности нагрева, пароперегреватель, экономайзер, воздухоподогреватель, каркас с лестницами и площадками для обслуживания, обмуровка, газоходы, арматура и гарнитура. Пример компоновки элементов котла приведен на рис. 4.1.

Топка предназначена для сжигания в ней топлива и передачи части полученной при этом теплоты нагреваемому теплоносителю через поверхности нагрева, обращенные в топку. Из топки продукты сгорания поступают в газоходы котла, где происходит дальнейший теплообмен

между газами и нагреваемым теплоносителем, проходящим через котельный пучок.

По конструктивным особенностям топки делят на слоевые, предназначенные для сжигания твердого топлива, и камерные — для сжигания пылевидного (мелко раздробленного) твердого, жидкого и газового топлива. В слоевых топках твердое топливо сжигают на колосниковой решетке. Пространство под колосниковой решеткой называется поддувалом. В некоторых типах котлов под колосниковой решеткой расположен зольник (шлаковый бункер).

По расположению относительно поверхностей нагрева различают внутренние, нижние и выносные топки. Внутренними называют топки, как правило, небольших размеров, окруженные со всех сторон поверхностями нагрева (например, топки жаротрубных котлов). Нижние (или внешние) топки расположены под котлами, ниже поверхностей нагрева; такие топки устраивают в горизонтально-водотрубных и вертикально-цилиндрических котлах. Выносные топки применяют при сжигании дров, торфа и располагают их впереди котла.

В камерных топках отсутствуют колосниковые решетки. Топочный объем представляет собой камеру, часто имеющую форму, близкую к параллелепипеду. Размеры и устройство топок котлов, переводимых на газовое топливо, а также расположение механизмов подачи твердого топлива в тех случаях, когда оно является резервным, в значительной мере определяет выбор типа и места расположения горелок. При этом производятся и необходимые конструктивные изменения в топках. В котлах, предназначенных только для сжигания газового топлива, формы топок и конструкция и установка горелок определяются общей компоновкой котла.

В котлах большой тепловой мощности топки бывают: вихревые камерные с многократной циркуляцией топливо-воздушной смеси, которая достигается специальной формой стен топки, компоновкой горелок и способом подачи топлива и воздуха; циклонные камерные, в которых основная масса топлива сжигается во вращающемся топливо-воздушном потоке; факельно-слоевые — в которых часть твердого топлива сжигается в слое, а мелкие фракции и газы — в струе воздуха над слоем.

Поверхности нагрева — элементы котла, в которых происходит передача теплоты от факела и продуктов сго-

рания теплоносителю (вода, пар, воздух). Различают радиационную поверхность, получающую теплоту в основном излучением, и конвективную поверхность, получающую теплоту в основном конвекцией. Площади поверхностей нагрева котлов, экономайзеров, воздухоподогревателей измеряют в квадратных метрах.

Радиационными поверхностями являются экраны, расположенные на стенках топки и ограждающие эти стенки от воздействия высоких температур. В зависимости от расположения в топке различают экраны: фронтовые, боковые, задние, потолочные. Двухсветными называют экраны в виде ряда труб, расположенных в топочном пространстве и обогреваемых с двух сторон (например, котлы ТВГ).

Газоходы — каналы, образованные обмуровкой котла, шамотными или чугунными перегородками и предназначенные для направления продуктов сгорания топлива и размещения поверхностей нагрева.

Котельный пучок — группа труб конвективной поверхности нагрева, вваренных или ввальцованных в общие коллекторы или барабаны. Изготавливаются в основном из труб диаметром $51 \times 2{,}5$ мм.

Внутренняя часть парового котла (барабана), заполненного водой, называется водяным объемом, а часть, заполненная паром, называется паровым объемом. Поверхность кипящей воды называется зеркалом испарения. Зеркало испарения при работе котла не должно выходить за пределы установленного верхнего и нижнего уровня.

Пароперегреватель — устройство (поверхность нагрева) для повышения температуры пара выше температуры насыщения пара, получаемого в паровом пространстве котла. Необходимость перегрева пара может быть вызвана требованиями производства или транспорта пара на значительные расстояния от котельной.

Пароперегреватели представляют собой группы стальных змеевиков, изготавливаемых из труб диаметром 28—42 мм с толщиной стенки 3 мм. Располагают пароперегреватель чаще всего вертикально за первыми рядами кипятильных труб. Концы змеевиков присоединены к двум коллекторам, из которых один — входной (для насыщенного пара), а другой — выходной (для перегретого пара).

К хвостовым поверхностям нагрева относятся экономайзеры и воздухоподогреватели, в которых используется теплота отходящих газов. Экономайзер — устройство для

подогрева воды, а воздухоподогреватель — для подогрева воздуха до поступления его в горелку.

По принципу действия экономайзеры бывают поверхностные и контактные; последние получили распространение недавно. В таких экономайзерах нагрев воды происходит при непосредственном соприкосновении ее с продуктами сгорания. В этом случае конденсируется часть содержащихся в них водяных паров и выделяющаяся при этом теплота идет на нагрев воды.

По материалу изготовления поверхностные экономайзеры бывают чугунные и стальные. По расположению относительно котлов различают экономайзеры индивидуальные, предназначенные для одного котла и являющиеся элементами котла, и групповые, установленные для группы котлов или всех котлов котельной. Индивидуальные экономайзеры предпочтительнее, так как их работа лучше согласуется с работой котла и экономическая эффективность выше, чем у групповых экономайзеров.

Воздухоподогреватель — устройство для подогрева воздуха за счет теплоты продуктов сгорания. Устанавливают воздухоподогреватели обычно за экономайзерами. Они имеют поверхность нагрева большую, чем экономайзеры, так как работают при более низком перепаде температур греющей и нагреваемой среды и при меньшем значении коэффициента теплопередачи.

Для поддержания всех элементов и деталей котла, обмуровки, площадок для обслуживания крупных котлов устраивают каркас, представляющий собой металлическую конструкцию из колонн, балок и связей. Колонны каркаса опирают на фундаменты и крепят с помощью опорных болтов. Каркас должен быть прочным, чтобы воспринять нагрузку металла котла, обмуровки, воды, а также быть жестким, чтобы обеспечить устойчивость всей системы. Все части каркаса располагают вне обмуровки; температура их не должна превышать 70 °С. Части, находящиеся в зоне высоких температур, предохраняют от перегрева листовым асбестом или огнеупорной массой (торкретом).

Обмуровкой называется внешнее защитное ограждение котла. Для котлов малой и средней мощности применяют следующие виды обмуровки: тяжелую самонесущую, легкую натрубную, облегченную накаркасную, облегченную одновременно накаркасную и натрубную.

Секционные и другие котлы старых конструкций имеют тяжелую самонесущую обмуровку, состоящую из двух слоев: внутреннего, выкладываемого из огнеупорного кирпича и называемого футеровкой, и внешнего — из красного кирпича. В футеровке топки, для восприятия температурных расширений, предусматривают швы шириной 4—5 мм, заполняемые шнуровым асбестом. Наружные швы обмуровки расшивают цементным раствором, а всю поверхность окрашивают известковой краской. Масляная краска для этого не рекомендуется, так как при ее нанесении могут оказаться скрытыми небольшие трещины и неплотности в обмуровке.

Конфигурация обмуровки зависит от конструкции котлов и должна соответствовать указаниям, изложенным в инструкции по монтажу завода-изготовителя. В кладке предусматривают окна для наблюдения за горением, каналы для ручных запальников, лючки для обдувочных устройств.

В чугунных котлах делают лючки для периодической механической прочистки межсекционных каналов, а в котлах, не имеющих лобовых секций — лаз в топку с тыльной стороны. Для уменьшения присоса воздуха и потерь теплоты через обмуровку между секциями и кладкой во время монтажа делают «рубашку» из асбестового листа толщиной 10 мм.

Обмуровка современных котлов малой и средней мощности бывает: легкая натрубная (закрепляемая к поверхностям нагрева), облегченная накаркасная (закрепляемая к каркасу котла) и облегченная натрубно-накаркасная. Легкую натрубную обмуровку прикрепляют непосредственно к поверхностям нагрева котла. Выполняется она из жароупорных бетонов, теплоизоляционных штучных изделий и уплотнительных обмазок. Облегченная накаркасная обмуровка прикрепляется к каркасу котла. Делается из щитов (панелей), штучных изделий или монолитными участками из жароупорных и теплоизоляционных бетонов. Снаружи защищена уплотнительной обмазкой или металлической обшивкой. Облегченную накаркасно-натрубную обмуровку выполняют из штучных огнеупорных и теплоизоляционных изделий и защищают стальной обшивкой.

Этот вид обмуровки применяют на котлах малой мощности, выпускаемых в блочном исполнении с обмуровкой и обшивкой.

Температура наружной поверхности обмуровки не должна превышать 55 °С, а в местах, часто посещаемых обслуживающим персоналом котельной, — 45 °С.

Классификация котлов. Котлы различают по следующим признакам: по назначению — энергетические, отопительные, отопительно-производственные (см. раздел 5.1); по материалу конструкции — чугунные и стальные; по характеру вырабатываемого теплоносителя — водогрейные и паровые; по параметрам теплоносителя — низкого давления, т. е. с избыточным давлением до 0,7 кгс/см^2 или с температурой нагрева воды до 115 °С и с параметрами выше указанных; по устройству и расположению топки; по аэродинамическому режиму топки — с разрежением и наддувом; по перемещению продуктов сгорания и воды — газотрубные (жаротрубные и с дымогарными трубами), в которых газы движутся внутри труб, водотрубные, в которых вода или пароводяная смесь движется внутри труб, водотрубно-газотрубные; по конструктивным особенностям — цилиндрические, горизонтально-водотрубные, вертикально-водотрубные с одним или несколькими барабанами; по характеру циркуляции рабочего тела в котле — с естественной или принудительной циркуляцией и прямоточные; по транспортабельности — стационарные и передвижные (с ходовой частью).

Нагрев воды в котельных, где установлены только паровые котлы, производят в водоподогревателях (часто называемых бойлерами) за счет теплоты пара, поступающего из котла. Котел, в котором водоподогреватель размещен в паровом пространстве или включен в схему естественной циркуляции воды в котле, называют котлом-бойлером.

Паровой или водогрейный котел, в котором в качестве источника теплоты используются горячие газы технологического процесса, называют котлом-утилизатором (например, котлы, устанавливаемые за мартеновскими и другими печами, газогенераторами).

Аэродинамический режим топки зависит от условий перемещения продуктов сгорания в газоходах, которые делят на следующие группы:

— естественная тяга — когда сопротивление газового тракта преодолевается за счет разности плотности атмосферного воздуха и отходящих газов в дымовой трубе;

— уравновешенная тяга — когда давление в топке или начале газохода поддерживается близким к атмосферному

совместной работой дымососа и дутьевого вентилятора. К этой же группе можно отнести котлы с инжекционными горелками, считая, что последние выполняют ту же роль, что и дутьевой вентилятор;

— наддув — когда сопротивление газового тракта преодолевается работой дутьевого вентилятора, создающего избыточное давление в топке и газоходах котла.

По принятой в настоящее время маркировке паровые стационарные котлы в соответствии со схемой циркуляции в них теплоносителя имеют следующие обозначения: Е — с естественной циркуляцией; Еп — с естественной циркуляцией и промежуточным перегревом пара; Пр — с принудительной циркуляцией; Пп — прямоточный с промежуточным перегревом пара; Кп — с комбинированной циркуляцией и промежуточным перегревом пара.

К обозначению типа котла добавляют: паропроизводительность, т/ч; давление пара, кгс/см^2; индекс топки (Г — газ, М — мазут). Если котел работает под наддувом, добавляется буква Н. Примеры обозначений: Е-10-14Г, Е-25-24ГМ.

Если в котле имеется пароперегреватель, то указывают температуру перегрева пара (например, ДКВР-10-13-250).

Водогрейные котлы теплопроизводительностью от 4 до 180 Гкал/ч обозначают буквами КВ. В условном обозначении котла указываются: вид сжигаемого топлива, теплопроизводительность, Гкал/ч, температура нагрева воды, °С. Например, КВ-Г-10-150 или КВ-ГМ-10-150. При сжигании твердого топлива указывают тип топки К (камерная) или С (слоевая). Например, КВ-ТС-10-150. Автоматизированные котлы отмечают буквой А, используемое топливо — буквами Г (газ), М (мазут), ЛЖ (легкое жидкое топливо); добавление газа — с (среднее), н (низкое).

Паровые котлы обозначаются буквой П. Например, паровой автоматизированный котел паропроизводительностью 500 кг/ч имеет обозначение КПА-500Г или КПА-500Ж.

Основные термины и определения. Общее количество теплоты, вырабатываемой в котле за 1 ч, характеризует его теплопроизводительность $Q_к$, Гкал/ч, а количество выработанного пара — паропроизводительность $D_к$, т/ч. Теплопроизводительность представляет собой произведение количества сожженного газа $V_г$, м^3/ч, на теплоту его

сгорания $Q_н$, ккал/м³, и на коэффициент полезного действия брутто $\eta_{бр}$ (см. раздел 7.6)

$$Q_к = V_г Q_н \eta_{бр}.$$

Теплопроизводительность, отнесенную к 1 м² поверхности нагрева котла H, называют теплосъемом или тепловым напряжением, а паропроизводительность, отнесенную к 1 м² поверхности нагрева, — паросъемом:

$$q_у = Q_к/H \quad \text{или} \quad d_у = D_к/H.$$

Номинальная производительность — наибольшая производительность, которую котел должен обеспечивать в длительной эксплуатации при номинальных значениях параметров с учетом допускаемых отклонений, указанных в паспорте. Номинальное давление пара — наибольшее допустимое давление за пароперегревателем, а при его отсутствии — перед паропроводом к потребителю при номинальной паропроизводительности. Номинальная температура питательной воды — температура, которая должна обеспечиваться перед входом в экономайзер, а при его отсутствии — в барабан котла при номинальной производительности.

Рабочее давление пара — давление пара непосредственно за пароперегревателем или, при его отсутствии, на выходе из котла при расчетных режимах. Рабочее давление воды — максимально допустимое давление воды на выходе из водогрейного котла при нормальном протекании рабочего процесса. Минимальное рабочее давление воды — минимально допустимое давление воды на выходе из котла, при котором обеспечивается номинальное значение недогрева до кипения.

Из общих определений и понятий, характеризующих работу котла, следует еще отметить тепловое напряжение топочного объема q_V — отношение количества выделившейся в топке за 1 ч теплоты $Q_т$, ккал/ч, к объему топки $V_т$, м³:

$$q_V = Q_т/V_т.$$

Передача теплоты в котлах. Нагрев воды продуктами сгорания в экранных трубах, котельных пучках, поверхностных экономайзерах и нагрев воздуха в воздухоподогревателях, а также нагрев воды паром или водой в теплообменных аппаратах происходит при совместном действии трех основных форм распространения теплоты.

От горячих газов теплота передается излучением и конвекцией наружной поверхности разделительной стенки (труб или чугунных секций). Далее тепловой поток проходит через стенку к внутренней поверхности разделительной стенки (теплопроводность); от внутренних поверхностей теплота передается воде, движущейся с достаточно большой скоростью и хорошо перемешиваемой.

Наиболее интенсивной является передача теплоты поверхностям нагрева, расположенным в топке или обращенным в топку, за счет излучения от факела и раскаленной обмуровки. Существенное значение при этом имеет размещение горелок по высоте и в плане топки, а также форма факела.

Излучающая способность факела зависит от качества подготовки газовоздушной (мазутовоздушной) смеси в горелке, состава продуктов сгорания и температуры факела. Если в топку поступает неоднородная смесь, в факеле продолжается процесс смешения и горения; из-за недостатка кислорода в факеле образуются сажистые светящиеся частицы при термическом распаде углеводородов.

Излучающая способность газов различна. Кислород, азот, сухой воздух не обладают способностью излучать и поглощать энергию (их называют прозрачными газами), а диоксид углерода, сернистый газ и водяной пар (непрозрачные газы) обладают такой способностью. Степень черноты (см. раздел 1.5) несветящегося газового факела составляет 0,4, светящегося 0,65, а мазутного 0,75—0,8.

Большое значение для передачи теплоты излучением имеет температура факела. Так, например, при повышении его абсолютной температуры на 10% количество излучаемой теплоты увеличится в $1{,}1^4 = 1{,}46$ раза.

Улучшению передачи теплоты в топке способствуют вторичные излучатели — устройства, выполненные из огнеупорных материалов: раскаленные решетки, рассекатели, горки из битого кирпича, а также поверхности огнеупорного кирпича, уложенного на поду топки. Ухудшается теплообмен в топке при наличии на поверхностях нагрева сажи или слоя из очень мелких частиц минерального происхождения, имеющих низкую теплопроводность. Вносятся эти частицы в топку вместе с воздухом.

Передача теплоты от продуктов сгорания поверхностям нагрева в газоходах происходит в основном за счет конвекции. Поэтому такие поверхности нагрева называют

конвективными. Передача теплоты конвекцией зависит от скорости движения, взаимного направления движения и свойств греющей и нагреваемой среды, формы и размеров каналов, состояния поверхностей нагрева и других условий. Интенсивность передачи теплоты конвекцией растет с увеличением скорости потока; лучше передается теплота конвекцией при поперечном, а не продольном движении газов относительно нагреваемых труб. Поэтому одним из теплотехнических недостатков чугунных котлов является продольное омывание газами межсекционных газоходов.

Теплообмен в газоходах, отнесенный к 1 м^2 площади поверхности нагрева, в 10—12 раз менее эффективен, чем в топке. Поэтому общая площадь конвективной поверхности в несколько раз больше радиационной.

Большое влияние на процесс передачи теплоты оказывают отложения накипи на внутренней стороне поверхностей нагрева и сажи, которая откладывается с наружной, газовой стороны. Наличие накипи и сажи ухудшает использование теплоты отходящих газов и при отсутствии экономайзеров и воздухоподогревателей значительная часть ее уходит в атмосферу. Кроме того, эти отложения затрудняют движение воды и отходящих газов, т. е. повышают сопротивление котла по водяному и газовому трактам.

Содержащиеся в воде примеси при определенных условиях откладываются в виде слоя накипи или выпадают в осадок в виде рыхлой массы — шлама. Накипь в зависимости от состава солей жесткости может быть: плотной и трудно удаляемой, при повышенном содержании солей кремния; рыхлой, при значительном содержании сульфата кальция; легко удаляемой, при наличии в воде карбоната кальция и магния.

Коэффициенты теплопроводности накипи и сажи во много раз ниже, чем у стали и чугуна. Так, для разных видов накипи $\lambda_н$ составляет, ккал/(ч·м·°С): силикатная 0,2; сульфатная 2,0; карбонатная 5,0, а для накипи, загрязненной маслом, всего лишь 0,1. Коэффициент теплопроводности сажи $\lambda_с$ примерно в 400 раз ниже, чем у стали.

В местах, где имеются отложения накипи и подверженных воздействию высоких температур газового факела, резко возрастает температура металла, что может явиться причиной деформации и разрыва экранных труб и секций чугунных котлов.

Ухудшение теплопередачи приводит к повышению температуры отходящих газов и, следовательно, к снижению эффективности использования топлива. Можно считать, что слой накипи 2 мм приводит к перерасходу 4%, а 4 мм — 7,5—9% топлива.

Естественная циркуляция. Одним из условий нормальной передачи теплоты в котле является непрерывное движение воды и пароводяной смеси. Такое движение называется циркуляцией, а пути движения воды и пароводяной смеси — циркуляционными контурами. Циркуляция воды называется естественной, если она происходит за счет разности плотности воды или воды и пара на отдельных участках циркуляционного контура, и искусственной, осуществляемой с помощью предназначенных для этого насосов.

Водогрейные котлы, к которым присоединены небольшие системы отопления, могут работать при естественной циркуляции. В опускных (обратных) стояках системы, по которым движется охлажденная в нагревательных приборах вода, плотность ее больше, чем в подающем стояке, где вода имеет более высокую температуру и соответственно меньшую плотность. Эта разность плотностей воды и создает естественное (гравитационное) давление в системе, вызывающее циркуляцию воды через котел.

В наиболее простых по конструкции жаротрубных котлах, работающих в паровом режиме, где вода и пар находятся в одной емкости, внутренняя циркуляция воды происходит благодаря различной плотности пароводяных слоев вблизи поверхностей нагрева и воды более холодных зон в котле. Чтобы усилить циркуляцию воды, например, в одножаротрубных котлах, жаровую трубу смещают относительно барабана котла.

Для сбора пара в чугунных котлах, работающих в паровом режиме, служат паросборники, располагаемые над котлом; в жаротрубных и вертикально-цилиндрических котлах пар собирается в верхней части котла, в горизонтально-водотрубных и вертикально-водотрубных котлах — в верхних барабанах. Устройства для подачи питательной воды расположены ниже зеркала испарения.

В общем случае циркуляционный контур включает в себя: верхний барабан (паросборник), из которого производится отбор пара; опускные трубы, по которым вода поступает из барабана в нижний коллектор; подъем-

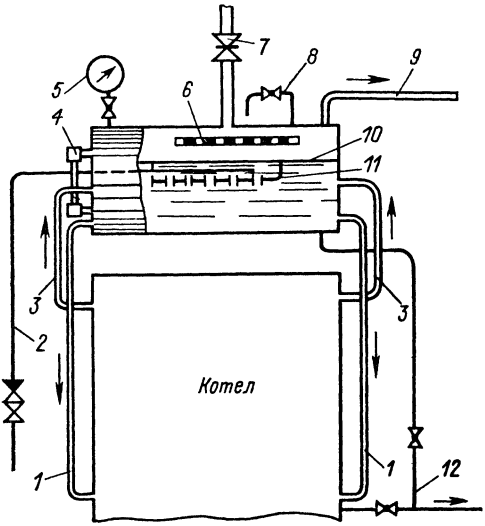


Рис. 4.2. Схема трубопроводов чугунного парового котла.
1 — опускные циркуляционные трубы; *2* — питательная линия; *3* — подъемные трубы; *4* — указатель уровня воды; *5* — манометр; *6* — сепаратор; *7* — парозапорная задвижка; *8* — воздушный кран; *9* — паропровод к предохранительному устройству; *10* — зеркало испарения; *11* — водораспределительное корыто; *12* — продувочная линия.

ные трубы, по которым под действием циркуляционного напора пароводяная смесь поднимается в барабан.

Парообразование происходит в подъемных трубах, которые подвергаются наиболее сильному воздействию горячих газов. Опускные (циркуляционные) трубы, наоборот, или располагают в последних газоходах, где температура продуктов сгорания более низкая, или выносят за пределы обмуровки, или защищают от нагрева тепловой изоляцией.

В качестве примера расположение опускных труб показано на рис. 4.1, а на рис. 4.2 показана схема циркуляции воды в чугунном котле, работающем в паровом режиме. Паросборник соединен с котлом опускными и подъемными трубами. По опускным трубам происходит движение воды из паросборника в нижнюю часть котла, а нагретая до более высокой температуры вода, частично превращенная в пар, поднимается в паросборник. Из паросборника, пройдя через сепаратор и парозапорный вентиль, по паропроводу пар поступает к месту его потребления.

Для надежной циркуляции и безопасной работы паровых котлов необходимо, чтобы во все подъемные трубы контура поступало достаточное количество воды и было подведено соответствующее количество теплоты. При недостаточном поступлении воды или слабом обогреве отдельные трубы могут оказаться частично заполненными пароводяной смесью и в них образуется, как говорят, свободный уровень. На участке выше свободного уровня может произойти пережог трубы.

В подъемных, или кипятильных, трубах, имеющих малый уклон, может происходить расслоение пароводяной смеси, при этом в верхней части по сечению трубы будет собираться пар, а в нижней части — вода. Опасность такого расслоения заключается в перегреве верхних частей труб, где ухудшаются условия теплопередачи (уменьшается коэффициент теплопередачи). В нижней части, при малых скоростях воды осаждается шлам, который также ухудшает условия теплопередачи. Такие трубы подлежат более частой очистке от шлама и накипи.

Причиной нарушения циркуляции в контуре может явиться подсасывание пара в опускные трубы, если места их присоединения к верхнему барабану прикрыты слоем воды толщиной менее 50—100 мм (при упуске воды). При этом понижаются плотность и давление столба жидкости в опускных трубах, что уменьшает циркуляционный напор.

Искусственная циркуляция. В отопительных котельных, где естественного давления недостаточно для перемещения воды в системе отопления и в котле, устанавливают сетевые (циркуляционные) насосы.

Количество проходящей через циркуляционный контур воды по массе всегда больше количества образовавшегося в этом контуре пара. Отношение количества воды, циркулирующей в единицу времени через контур, к количеству образовавшегося за это же время пара называется кратностью циркуляции.

В прямоточных паровых котлах отсутствуют барабаны, коллекторы, опускные трубы. Вода от места ее поступления в котел и до места выхода перегретого пара проходит «прямым током», при этом количество образовавшегося пара точно соответствует количеству подаваемой воды, т. е. кратность циркуляции равна единице. Особенностью этих котлов являются необходимость питания их абсолютно чистой водой, полностью освобожденной от хими-

ческих примесей, а также трудность регулирования режима работы.

Сепарирующее устройство. Пар, поступающий с большой скоростью из воды в барабан котла, выносит капельки воды, содержащие растворы солей и загрязнения. Для снижения влажности пара путем отделения (сепарации) капелек в паровом пространстве размещают различного типа сепарирующие устройства: перфорированные листы, отбойные и распределительные щитки, направляющие и гофрированные жалюзи, циклоны.

Во всех сепарационных устройствах, имеющих плоскую форму, частицы воды отделяются от пара за счет изменения направления и скорости потока. В циклонном (цилиндрической формы) сепараторе при закручивании потока происходит сепарация за счет центробежной силы, отбрасывающей капли на стенки сепаратора. Поток пара ударяется о поверхность, на которой за счет слияния мельчайших частиц влаги образуется сплошная водяная пленка. Пленка достаточно прочна и непрерывно стекает в водяное пространство барабана котла.

4.2. УСТРОЙСТВО КОТЛОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

4.2.1. СЕКЦИОННЫЕ КОТЛЫ

Секционные чугунные и стальные котлы применяют в котельных, снабжающих горячей водой или паром небольшие группы зданий или мелкие предприятия, когда они по каким-либо причинам не могут быть присоединены к централизованным системам теплоснабжения. Существенным достоинством таких котлов является простота устройства и обслуживания, возможность наибольшего приближения площади поверхности нагрева к требуемой по расчету путем набора соответствующего количества секций, а также возможность замены отдельных секций при выходе их из строя.

Чугунные и стальные секционные водогрейные котлы работают при давлении воды в системе не более 6 кгс/см^2. Допускается нагрев в них воды до 115 °С при рабочем давлении в системе не ниже 3,5 кгс/см^2. Если котлы работают в паровом режиме (с паросборником), избыточное давление не должно превышать 0,7 кгс/см^2.

Чугунные секционные котлы. Секции чугунных котлов собирают на ниппелях и скрепляют между собой стяж-

ными болтами. Секции имеют ребра (приливы), при совмещении которых в собранном котле образуются межсекционные каналы — газоходы.

В настоящее время в эксплуатации находится значительное количество котлов старых и новых конструкций. В некоторых котельных находятся в эксплуатации наиболее старые по времени своего изготовления котлы Стреля и Стребеля большой и малой модели. Секции этих котлов имеют О-образную форму с внутренними топками небольшой высоты и предназначены для сжигания каменного угля высокого качества или антрацита, горение которых происходит главным образом в слое на колосниковой решетке.

Первые секционные котлы с внешними топками, предназначенные для сжигания твердого топлива с большим выходом летучих, были разработаны Н. Ревокатовым (котлы НРч). Отличительной их особенностью явилась Г-образная форма секций, которые собирают в два ряда в виде «шатра» или в один ряд. Секции устанавливают на кирпичное основание, а колосниковую решетку укладывают на балки. Высота топки должна исключить возможность соприкосновения газового факела с поверхностью нагрева. Снаружи секции защищены обмуровкой, причем между секциями и кладкой прокладывают слой асбеста. Последующие конструкции чугунных котлов сохранили основные принципы котлов НРч.

Секции различных типов и модификаций, т. е. видоизменений, котлов одного и того же типа различаются между собой формой и геометрическими размерами, расстоянием между ниппельными отверстиями, количеством ребер-приливов, которыми секции примыкают друг к другу. У некоторых типов котлов имеются три вида секций — передние (лобовые), задние и средние или два вида — крайние и средние.

Другие типы котлов состоят из секций одного вида, а крайние (передняя и задняя) секции заменены обмуровкой.

Продукты сгорания в котлах поднимаются к верхней части топки и по межсекционным газоходам опускаются вниз и далее направляются к сборному газоходу котельной и дымовой трубе. Котел «Тула-3» отличается тем, что газы в нем проходят по двум последовательным газоходам, сначала вниз, а затем вверх, и отводятся в верхней части котла.

Особенностью котла «Минск-1» является наличие в каждой секции двух каналов — по воде и отходящим газам. При насосной циркуляции воды в системе вода входит и выходит через отводы, присоединенные к верхним ниппелям. На стяжных болтах устанавливают (через секцию) шайбы-заглушки для того, чтобы вся вода проходила последовательно через все секции. В верхних шайбах срезаны верхние части для удаления воздуха, а в нижних — нижние части для удаления воды и шлама.

Если в газовом тракте котельной обеспечено хорошее разрежение, то вдоль пакета секций укладывают чугунные перегородки, создающие горизонтальные газоходы, чтобы направить газы перпендикулярно к движению воды в секциях. Газы из топки направляются по межсекционным каналам, далее по двум общим газоходам к фронту котла и оттуда по внутрисекционным горизонтальным газоходам к сборному каналу.

Усложнение формы секций котлов различных типов или усложнение движения продуктов сгорания, принятое, например, в котле «Минск-1», вызвано стремлением улучшить передачу теплоты от газов нагреваемой воде, т. е. увеличить теплосъем с 1 м^2 поверхности нагрева.

Площадь поверхности нагрева котла равна сумме произведений числа секций (средних и крайних) на площадь поверхности нагрева одной соответствующей секции. Расчетную теплопроизводительность котлов определяют умножением площади поверхности нагрева, м^2, на теплосъем с 1 м^2, Мкал/(м^2·ч). Для чугунных котлов старых конструкций теплосъем составляет 9—12 Мкал/(м^2·ч). Сведения по площадям поверхности нагрева и теплосъемам в котлах различных типов приведены в справочной и другой литературе по котлам.

Для чугунных котлов применяют также и другой показатель поверхности нагрева — условный квадратный метр (УКМ), соответствующий поверхности нагрева, которая при работе с ручными топками на грохоченном антраците и тепловом напряжении зеркала горения 500 Мкал/(м^2·ч) дает 10 Мкал/ч теплоты при КПД не ниже 70%. В последнее время введено новое понятие теплового измерителя чугунных котлов — условная поверхность нагрева (УПН), и номинальную производительность котлов определяют теплотехническими испытаниями, проводимыми по специальным методикам.

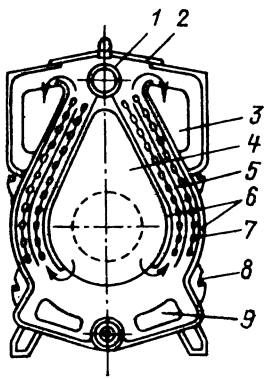


Рис. 4.3. Котел «Факел» .
1 — ниппель; *2* — крышка; *3* — газоход; *4* — топка; *5* — каналы; *6* — ребра секций; *7* — завихрители; *8* — стяжной болт; *9* — зольник (для удаления золы при работе на твердом топливе).

Фактическая теплопроизводительность котлов в значительной мере зависит от чистоты поверхностей межсекционных газоходов и внутрисекционных водяных каналов, а также от плотности примыкания ребер секций. При наличии зазоров между секциями газы будут проходить к сборному газоходу по пути наименьшего сопротивления, что приведет к ухудшению передачи теплоты от газов поверхностям нагрева. Для возможности периодической очистки вертикальных межсекционных и горизонтальных газоходов в верхней части котлов, а также в кладке с фронта котлов предусматривают крышки (лючки) и лазы.

Чугунными котлами, предназначенными для сжигания газового топлива, являются котлы типа «Факел» и «Братск-1Г». Котлы типа «Факел» отличаются от котлов с Г-образными секциями эллипсовидной формы и имеют внутреннюю топку (рис. 4.3). Секции котла двух типов — средние и крайние. Устанавливают котлы на основание с металлическими пластинами. Котлы обеспечивают высокий теплосъем с 1 м^2, достигаемый благодаря усложнению пути движения продуктов сгорания и наличию специальных приливов на секциях для турбулизации (завихрения) потока газов.

Продукты сгорания поступают в межсекционные каналы из нижней части топки, поднимаются по ним вверх, далее по горизонтальным газоходам к прямоугольному металлическому патрубку и сборному газоходу.

Подпитка котлов «Факел» должна осуществляться химически очищенной водой, а количество подпиточной воды не должно превышать 15% от общего ее количества в системе отопления. Непосредственный водоразбор из системы и частая подпитка при эксплуатации этих котлов запрещается. Место врезки трубопровода подпиточной воды должно находиться не ближе 2 м от котла.

Котел «Братск-1Г» представляет собой блочную конструкцию, в которую входят: 30 чугунных секций, со-

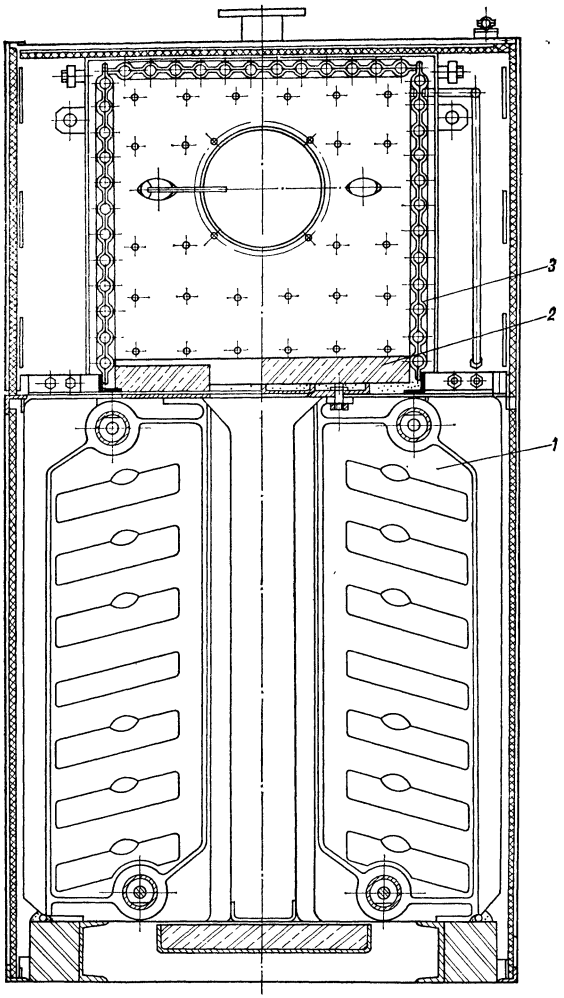


Рис. 4.4. Котел «Братск-1Г».
1 — чугунные секции; *2* — чугунная плита; *3* — водяные камеры топки.

бранных в два пакета (рис. 4.4); прямоугольная топка, расположенная над чугунными секциями и образованная водяными камерами; газогорелочное устройство Л1-Н; рама; теплоизоляционный кожух; взрывной клапан с защитным коробом; клапан газохода.

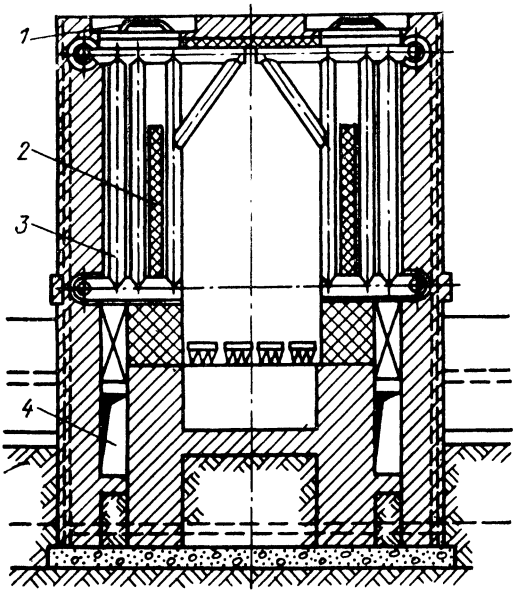


Рис. 4.5. Котел водогрейный НР-18.

1 — крышка лючка для чистки; *2* — перегородка из огнеупорного кирпича; *3* — секция; *4* — горизонтальный газоход.

В ниппелях между секциями, как и в котлах «Минск-1», в чередующемся порядке установлены шайбы для создания последовательного движения воды в секциях. В передней водяной камере топки имеется круглая амбразура для установки газогорелочного блока, патрубки для гляделки и контрольного электрода, патрубок для отвода горячей воды из котла. В задней камере имеется проем для установки взрывного предохранительного клапана.

Продукты сгорания из топки, обогнув чугунную плиту, отделяющую топку от пакетов, направляются по межсекционному пространству к фронту котла, откуда двумя потоками поступают в газоходы, образованные чугунными секциями. Далее продукты сгорания, пройдя газовый клапан котла, направляются в сборный газоход. КПД котла 91,5 %; теплопроизводительность, Гкал/ч: при «большом горении» 0,83; при «малом горении» 0,34.

Стальные секционные котлы. К этой группе относятся котлы НР-17, НР-18, котел конструкции Надточия,

НИИСТУ-5. Их изготавливают отдельными пакетами, сваренными из стальных труб. Между собой секции соединяют также сваркой.

В котлах НР газоходы образованы перегородкой из огнеупорного кирпича, отделяющей конвективную часть от топки, и боковыми стенками обмуровки (рис. 4.5). В котле Надточия на крайние трубы секций наварены стальные полосы — плавники, что увеличивает поверхность нагрева. Топка в этом котле, в отличие от котлов НР, внутренняя. В котлах НИИСТУ-5 трубы, из которых изготовлены секции, также имеют ребра, образующие газоходы.

4.2.2. ЖАРОТРУБНЫЕ И КОМБИНИРОВАННЫЕ КОТЛЫ

Жаротрубные котлы. Представляют собой горизонтально расположенные цилиндрические барабаны большого диаметра с одной или двумя внутренними жаровыми трубами. Передние части жаровых труб являются топками. Продукты сгорания направляются к задней поворотной камере, проходят вдоль правой стороны котла до фронтовой стенки, опускаются в канал и вдоль левой стороны котла направляются в сборный газоход. Газоходы

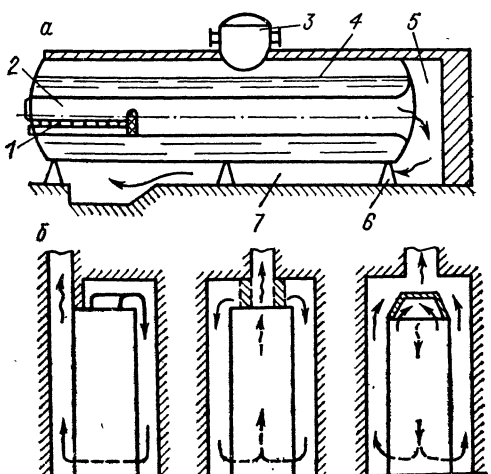


Рис. 4.6. Двухжаротрубный котел.
а — схема котла; *б* — варианты устройства газоходов. *1* — колосниковая решетка; *2* — жаровая труба; *3* — паросборник; *4* — зеркало испарения; *5* — задняя поворотная камера; *6* — опора; *7* — газоход.

в этих котлах устраивают и по другим схемам (рис. 4.6). Применяют жаротрубные котлы в качестве водогрейных и паровых.

Эти котлы благодаря значительному объему воды обладают при работе запасом теплоты и поэтому особенно удобны в котельных с переменным расходом пара или горячей воды (например, в банях). Вместе с тем большое количество находящейся под давлением воды и значительные диаметры барабанов делают жаротрубные котлы крайне взрывоопасными при нарушении прочности, возникающем из-за упуска воды, наличия коррозии, температурных деформаций и других причин.

Диаметр цилиндрического корпуса наиболее крупного жаротрубного котла составляет 2,5 м, длина 11 м. В паровом режиме котлы с одной жаровой трубой работают с избыточным давлением 0,7 кгс/см^2, а с двумя жаровыми трубами — 8 кгс/см^2; площадь поверхности нагрева котлов с одной жаровой трубой—15—70 м^2, с двумя жаровыми трубами—50—120 м^2.

Чтобы избежать разрушения кирпичной кладки из-за удлинения котла при его нагревании, ближайшую к поворотной камере чугунную опору делают неподвижной, а другие — подвижными. Учитывая возможность деформации жаровых труб, их поверхности придают волнообразную форму или делают отбортовку у всех звеньев, из которых изготовлены трубы, и прокладывают в стыках между звеньями специальные кольца. В котле имеются люк для возможности очистки внутренних поверхностей от накипи, лазы и газоходы для очистки наружных поверхностей барабана котла.

При работе котлов в качестве паровых высота боковых газоходов уменьшается таким образом, чтобы горячие газы оказывались ниже уровня воды в котле (зеркала испарения). Наивысший уровень газоходов, называемый огневой линией, должен быть на 0,1 м ниже допустимого наинизшего уровня воды. При несоблюдении этого требования может произойти прогорание барабана котла.

Комбинированные котлы. Так называют котлы, имеющие укороченную жаровую трубу и расположенные за ней дымогарные трубы. К ним относятся паровые котлы старых конструкций: локомобильный и паровозного типа, котлы оборотного типа, в которых дымогарные трубы расположены над жаровой трубой, и выпускаемые в настоящее время жаротрубно-водотрубные котлы неболь-

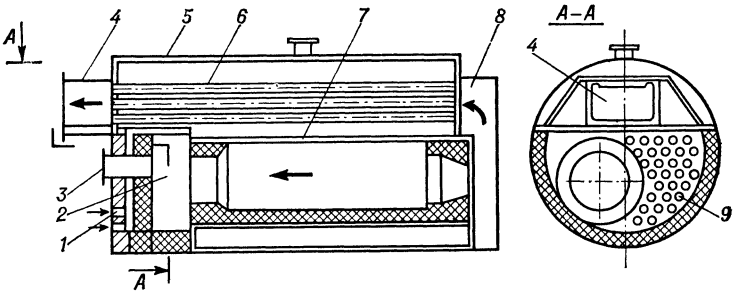


Рис. 4.7. Котел «Кивиыли».

1 — поступление холодного воздуха; *2* — поворотная камера; *3* — взрывной клапан; *4* — патрубок отходящих газов; *5* — корпус котла; *6* — верхний пучок дымогарных труб; *7* — жаровая труба; *8* — передняя камера; *9* — боковой пучок дымогарных труб.

шой паропроизводительности типа «Кивиыли», КВ, а также котлы АПВ-2 и АВ-2.

Котел «Кивиыли» состоит из жаровой трубы, в которой сгорает топливо (котлы выпускаются также для работы на жидком и твердом топливе), и двух газотрубных пучков (рис. 4.7). По одному пучку отходящие газы, пройдя жаровую трубу, возвращаются к передней газовой коробке, а затем по верхнему пучку направляются к выходной коробке. Котлы имеют 5 типоразмеров (I, II, III, IV, V) с площадью поверхности нагрева от 18 до 80 м^2 и паропроизводительностью от 0,3 до 1,25 т/ч. Рабочее давление пара 0,7 кгс/см^2, нагрев воды при водогрейном режиме до 115 °С.

Котлы КВ (100, 200, 300) состоят из цилиндрического стального корпуса и съемной жаровой трубы. Передняя часть жаровой трубы является топкой, а в задней части расположены кипятильные трубы, образующие конвективный пучок. К верхней части корпуса приварен полуцилиндрический паросборник, сообщающийся с паровым пространством через отверстия в корпусе. Дымовая камера с трубой крепится к заднему днищу жаровой трубы. Поверхность нагрева котлов 6; 10; 15 м^2.

Автоматизированные котлы АПВ-2 и АВ-2 состоят из цилиндрического барабана с отбортованными днищами, жаровой трубы и газотрубных пучков. Продукты сгорания проходят по жаровой трубе, далее по пучку труб, расположенному в нижней части барабана, к передней камере и по двум пучкам труб, находящимся по обе стороны

жаровой трубы,—в выходную камеру, присоединенную к заднему днищу барабана. Удаляются газы через патрубок в верхней части выходной камеры. Производительность котлов АПВ-2 12 т/ч насыщенного пара, водогрейных котлов АВ-2 7 Гкал/ч.

4.2.3. ВЕРТИКАЛЬНО-ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ КОТЛЫ

К этой группе относятся котлы: Шухова, Шухова — Сарафа, ВТКБ, ВГД, ВК-1, ТМЗ, ММЗ и др. Котлы состоят из двух концентрических цилиндров, соединенных между собой в нижней части уторным кольцом желобчатой или плоской формы. Сверху оба цилиндра имеют сферические днища. Пространство между цилиндрами до определенного уровня заполнено водой, а верхняя часть наружного цилиндра образует паровое пространство (рис. 4.8).

Большое распространение получили котлы ММЗ. Во внутреннем цилиндре котла над топкой расположены трубы, называемые кипятильными, по которым проходит вода. Эти трубы имеют небольшой уклон для лучшей циркуляции воды и отвода образующихся пузырьков пара. Наличие перекрывающего свода и перекрывающей полукрышки обеспечивает хорошее омывание кипятильных труб продуктами сгорания. В наружном цилиндре имеются лаз и крышка для чистки котла и кипятильных труб. Дымовая труба устанавливается непосредственно над котлом. Котлы обмуровки не имеют, но покрыты теплоизоляционной мастикой.

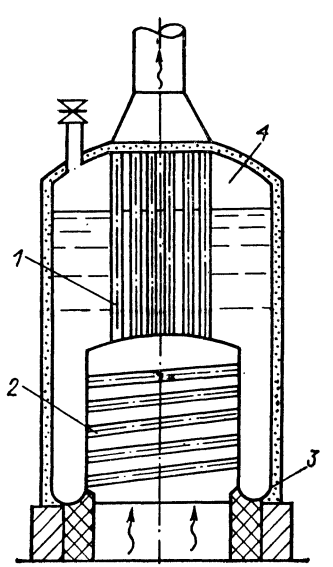


Рис. 4.8. Вертикально-цилиндрический котел (типа ВГД).

1 — дымогарные трубы; *2* — кипятильные трубы; *3* — уторное кольцо; *4* — паровое пространство.

Другие котлы перечисленных выше типов различаются в основном наличием и расположением водотрубных и дымогарных пучков. Некоторые из этих котлов имеют

внутреннюю, а некоторые внешнюю топку. Котлы компактны, характеризуются небольшим сопротивлением по ходу газов. Вместе с тем существенным недостатком этих котлов является более высокая температура отходящих газов, чем у котлов других типов.

В последние годы выпуск и применение вертикально-цилиндрических котлов ограничены в связи с конструктивной ненадежностью уторного кольца плоской, как в рассмотренном котле, или желобчатой формы. В нижней части пространства между корпусом и внутренним цилиндром скапливается много шлама, что приводит к ухудшению теплопередачи в этом месте и нарушению прочности металла.

Если котел установлен на кирпичную кладку, то устраивают внешнюю топку цилиндрической формы. При этом нижнюю часть котла с внутренней стороны защищают футеровкой.

4.2.4. ВОДОТРУБНЫЕ КОТЛЫ

Горизонтально-водотрубные котлы. Эти котлы относятся к старым, ранее выпускавшимся конструкциям, встречающимся в эксплуатации и в настоящее время. Наиболее распространенными котлами этого типа отечественного производства являются котлы В. Г. Шухова и котлы, конструктивно видоизмененные впоследствии А. И. Берлиным (Шухова — Берлина).

Котел Шухова (рис. 4.9, *а*) состоит из отдельных секций, включающих в себя продольный барабан и две батареи кипятильных труб, в каждую из которых входит 28 труб диаметром 76 мм. Кипятильные трубы объединены передней и задней камерами (секционными головками), в которых есть люки для внутренней очистки труб. На-

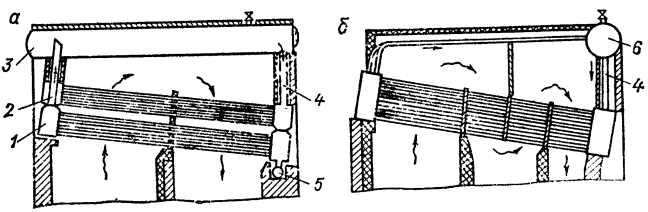


Рис. 4.9. Схема котлов Шухова (*а*) и Шухова—Берлина (*б*).
1 — секционная головка; *2* — подъемная труба; *3* — барабан; *4* — опускная труба; *5* — грязевик; *6* — поперечный барабан.

ружные поверхности труб очищают через дверцы, имеющиеся в передней и задней стенках котла. Секции установлены под углом к горизонту, что способствует лучшему движению пароводяной смеси в кипятильных трубах. Отходящие газы проходят по двум газоходам, пересекая кипятильные трубы в поперечном направлении. Барабан-паросборник соединен с задней (нижней) камерой опускной или циркуляционной трубой и с передней камерой — трубой, по которой пароводяная смесь из кипятильных труб поступает в барабан. Барабаны отдельных секций соединены с общим паросборником котла, а задние камеры — с общим на котел грязевиком.

Питательная вода поступает в водяное пространство барабана. Циркуляционный контур воды в отдельных секциях следующий: барабан — опускные трубы — кипятильные трубы — отводные (подъемные) трубы — барабан. Для предохранения от перегрева и обеспечения надежной циркуляции секционные головки и опускные трубы должны быть защищены от непосредственного воздействия отходящих газов. В котле Шухова — Берлина (рис. 4.9, *б*) длинный продольный паросборник заменен коротким поперечным, к которому присоединены головки отдельных батарей. Увеличено число газоходов, очистку которых можно производить сбоку котла. Кроме поперечных перегородок, изменяющих направление отходящих газов, в газоходах имеются и продольные перегородки, обеспечивающие равномерное распределение газов.

Вертикально-водотрубные котлы. Эти котлы различают по количеству барабанов и по конфигурации присоединяемых к ним труб — с прямыми и гнутыми трубами. В отопительно-производственных котельных еще находятся в эксплуатации ранее выпускавшиеся котлы типа КРШ, ВВД и ТВД. Наиболее широкое распространение получили котлы ДКВ и ДКВР (двухбарабанные котлы водотрубные реконструированные). В последние годы появились вертикально-водотрубные котлы Е-1/9-1Г (ММЗ-1Г) и типа ДЕ, предназначенные для работы на газовом топливе.

Котлы КРШ и ВВД (ТВД). Котлы состоят из: двух барабанов (верхнего и нижнего), расположенных параллельно фронтовой стенке котла; конвективного пучка труб, присоединенных к барабанам; боковых и фронтового экранов В котлах ВВД (ТВД) барабаны расположены в одной плоскости один над другим, а в котлах

КРШ оси барабанов смещены относительно друг друга и конвективный пучок расположен с небольшим наклоном.

Конвективные пучки труб в котлах отделены от топки перегородкой из шамотного кирпича. Пучок разделен на три газохода, образованные вертикальными перегородками из торкретной массы с добавлением 10% глиноземистого цемента и 5% жидкого стекла. Перегородки формируют при монтаже котла, для чего между трубами закладывают фанеру, которая затем постепенно выгорает.

Котлы КРШ и ВВД имеют паропроизводительность 2; 4 и 6,5 т/ч; давление пара 13 кгс/см² (в котлах КРШ-2-8 до 8 кгс/см²). В случаях, когда необходима выработка перегретого пара, в котлах устанавливают пароперегреватели.

Котлы ДКВР производительностью 2,5; 4 и 6,5 т/ч имеют одинаковую конструктивную схему. Котлы состоят из двух барабанов диаметром 1000 мм, расположенных по продольной оси котла, т. е. перпендикулярно к его фронту, боковых топочных экранов и кипятильного пучка (конвективной части) из труб диаметром 51 мм (рис. 4.10). Верхний барабан длиннее нижнего, и к нему присоединены трубы боковых экранов и кипятильные трубы. Нижние концы экранных труб присоединены к коллекторам диаметром 219 мм, а нижние концы кипятильных труб — к нижнему барабану. Уменьшенная длина нижнего барабана позволяет иметь свободное пространство в топке, которое используется для размещения топочного устройства для любого вида топлива.

В верхний и нижний барабаны экранные и кипятильные трубы ввальцованы, а с коллекторами трубы соединены сваркой. В барабанах имеются лазы, что обеспечивает доступность их внутренних полостей. В коллекторах также имеются торцевые люки, через которые можно удалять накипь и шлам, скапливающиеся в коллекторе. Для очистки наружных поверхностей кипятильных труб предусмотрен обдувочный аппарат, в который подается насыщенный или перегретый пар или сжатый воздух.

Верхний барабан соединен с коллекторами экранных труб двумя опускными трубами диаметром 127 мм, которые размещены в передней стенке обмуровки котла. Одновременно эти трубы служат опорами для выступающей части верхнего барабана. Нижний барабан соединен с коллекторами экранных труб перепускными трубами диаметром 76 мм.

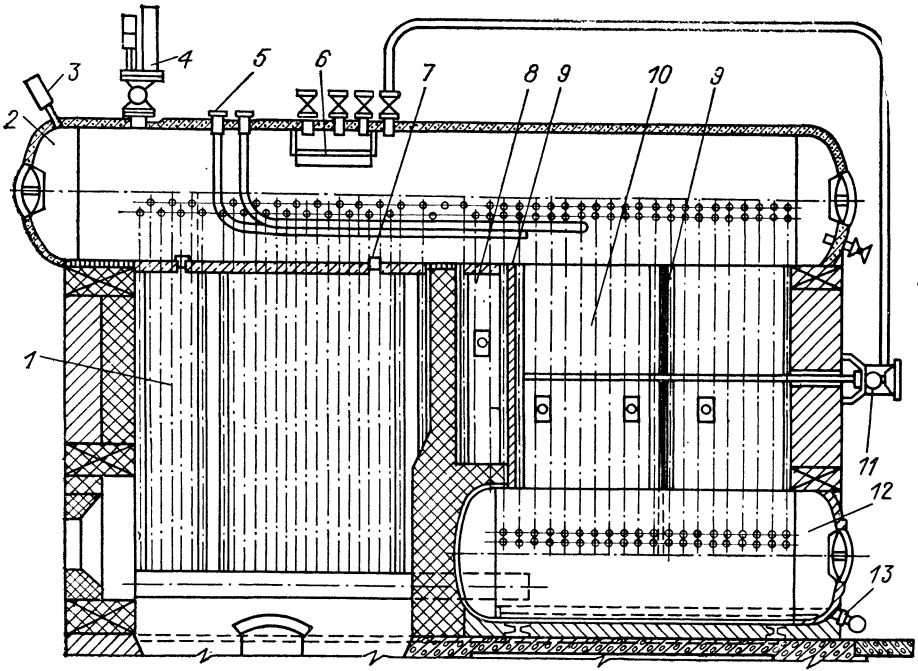


Рис. 4.10. Котел ДКВР-6,5-13.

1 — экранные трубы; *2* — верхний барабан; *3* — манометр; *4* — предохранительные клапаны; *5* — трубы питательной воды; *6* — сепаратор пара; *7* — предохранительная пробка (легкоплавкая); *8* — камера догорания; *9* — перегородки; *10* — конвективные трубы; *11* — обдувочное устройство: *12* — нижний барабан; *13* — продувочный трубопровод.

Кипятильный пучок разделен на две части; опускными трубами являются последние по ходу газов трубы, подъемными — трубы, ближе расположенные к топке. Если котел имеет пароперегреватель, то часть кипятильных труб первого газохода не устанавливают, а на их месте размещают пароперегреватель.

В верхнем барабане расположены трубы для подвода питательной воды и сепарационное устройство, состоящее из жалюзи и дырчатого листа. Верхний барабан оборудован предохранительными клапанами и указателями уровня воды. Уровень воды в котлах должен совпадать с горизонтальной осью барабана (с отклонениями от нее в пределах 80 мм). Нижний барабан является шламоотстойником и оборудован перфорированной трубой для периодической продувки.

Отходящие газы из топки, через окно в правой стороне разделительной стенки поступают в камеру, называемую камерой догорания. Эта камера предназначена для того, чтобы избежать затягивания пламени в кипятильный пучок, а также для уменьшения уноса и химической неполноты сгорания при работе на твердом топливе. Далее отходящие газы проходят через два конвективных пучка и направляются в экономайзер.

В котлах ДКВР-10-39 и ДКВР-20-13 верхний барабан такой же длины, как и нижний и не попадает в пределы топки. Это повышает надежность работы котла, так как защита от излучения факела части барабана, обращенной в топку, весьма затруднительна. Потолок топочной камеры перекрыт верхними удлиненными концами боковых экранов, замкнутых двумя верхними коллекторами. Для улучшения сепарации пара и уменьшения продувки котел снабжен выносными трубами — циклонами, к которым подключены фронтовой и боковой экраны. Подпитка циклонов ведется из нижнего барабана.

В обозначении типа котла цифры соответствуют паропроизводительности (на твердом топливе), т/ч, и давлению, кгс/см^2. Если в котле имеется пароперегреватель, указывается также и температура перегрева пара. При работе на газовом топливе паропроизводительность котлов увеличивается на 50% (в ДКВР-20 на 40%).

Котлы Е-1/9-1Г и Е-1,0-9-2Г состоят из двух барабанов, расположенных по одной вертикальной плоскости конвективного пучка труб, топочных боковых и потолочного экранов, изготовленных из труб диаметром 51 мм. Экраны

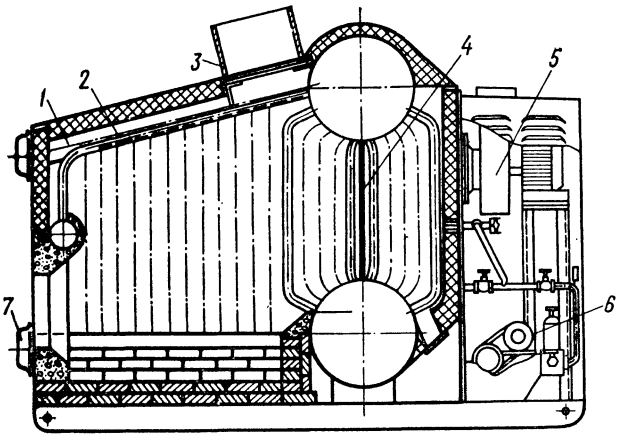


Рис. 4.11. Котел типа Е-1,0-9-2Г.

1 и *7* — коллекторы боковых экранов; *2* — потолочный экран; *3* — предохранительный взрывной клапан; *4* — перегородка из жаростойкой стали; *5* — тяговое устройство; *6* — система питания.

включены в циркуляционный контур котла посредством четырех боковых и одного фронтового коллектора.

Конвективный пучок котла Е-1/9-1Г разделен на газоходы двумя перегородками из жаростойкой стали. Обмуровка котлов состоит из легковесных огнеупорных плит, прилегающих непосредственно к трубам и покрытых газоуплотнительной обмазкой, и асбовермикулитовых или совелитовых плит, защищенных стальной обшивкой.

Котлы работают на твердом, жидком и газовом топливе. При этом их оборудуют соответственно колосниковой решеткой, мазутной форсункой или газовой горелкой типа Г-1,0. Могут быть использованы горелки других типов. Котлы имеют индивидуальные дутьевые вентиляторы среднего давления Ц-13-50-2 и индивидуальные дымососы Д-3,5.

Котел Е-1,0-9-2Г (рис. 4.11) оборудован горелкой Г-1,0-К, вентилятором ВД-2,7 левого вращения, дымососом Д-3,5 и системой управления КСУ-2П-1Г.

Особенностью устройства котлов ДЕ является расположение конвективного пучка не за топкой, а рядом с топкой, если смотреть со стороны фронта котла (рис. 4.12). Котлы имеют 5 модификаций: 4; 6,5; 10; 16; 25 т/ч. В котлах различной производительности длина топки различная, а ширина и высота топки неизменны. Экраны расположены вдоль всех поверхностей топки. Обращенные

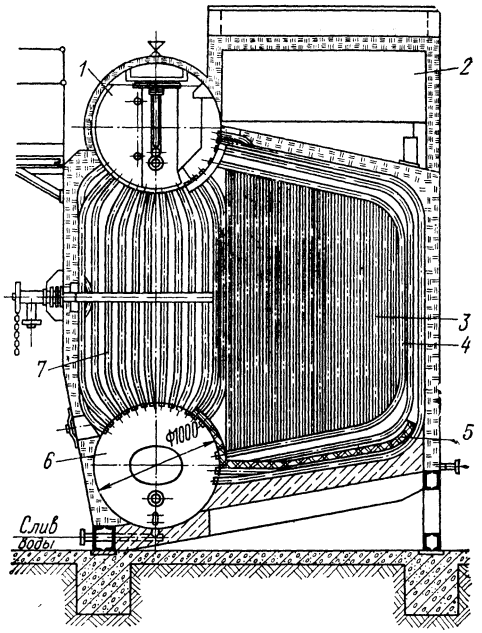


Рис. 4.12. Котел типа ДЕ.
1 — верхний барабан; *2* — горизонтальный газоход; *3* — топочная камера; *4* — правый боковой экран; *5* — слой огнеупорного кирпича; *6* — нижний барабан; *7* — котельный пучок.

в топку части барабанов защищены от перегрева фасонным, шамотным кирпичом и шамотобетонной обмазкой.

Конвективный пучок состоит из коридорно расставленных вертикальных труб, ввальцованных в барабаны. От топки конвективный пучок отделен газоплотной перегородкой из труб, поставленных вплотную и сваренных между собой. В задней части стенки имеется окно для выхода продуктов сгорания из топки. В котлах ДЕ-4, -6,5 и -10 конвективный пучок разделен тремя перегородками; в котле ДЕ-16 одна ступенчатая продольная перегородка; котел ДЕ-25 перегородок в конвективном пучке не имеет.

4.2.5. ГАЗОВЫЕ (ГАЗОМАЗУТНЫЕ) КОТЛЫ

Котлы теплофикационные водогрейные газовые ТВГ-4Р и ТВГ-8М выпускаются с расчетной теплопроизводительностью 4,3 и 8,3 Гкал/ч. Производственные ма-

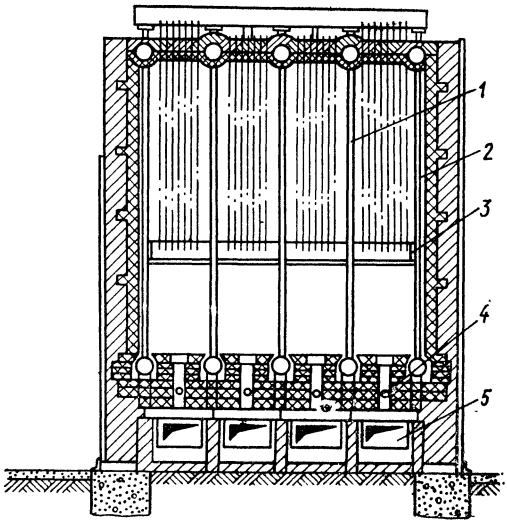


Рис. 4.13. Котел типа ТВГ-8М.
1 — двухсветный экран; *2* — боковой экран; *3* — коллектор фронтовой части экрана; *4* — подовая горелка; *5* — воздушный канал.

стерские некоторых теплоснабжающих организаций выпускают котлы ТВГ-1,5. Особенностью котлов является развитая радиационная поверхность. В котлах ТВГ-4Р и ТВГ-8М эта поверхность состоит из пяти секций-экранов и потолочно-фронтовых экранов. Три средних экрана, облучаемые с двух сторон, делят топку на четыре отсека шириной по 740 мм (рис. 4.13).

Конвективная поверхность, состоящая из трубчатых змеевиков диаметром 28 мм, вваренных в вертикальные коллекторы, расположена за разделительной перегородкой. Отходящие газы поступают в конвективный газоход через проем высотой 800 мм над разделительной стенкой. Температура отходящих газов за котлом 190—210 °С.

Для осмотра и ремонта экранов и топки в фронтовой стенке котла между топочными экранами предусмотрены лазы. Для этой же цели могут быть использованы два взрывных клапана, расположенные в задней стенке конвективного газохода.

Вода проходит последовательно через конвективную часть, потолочно-фронтовой экран, топочные экраны и выходит в верхней части последнего экрана. Верхние

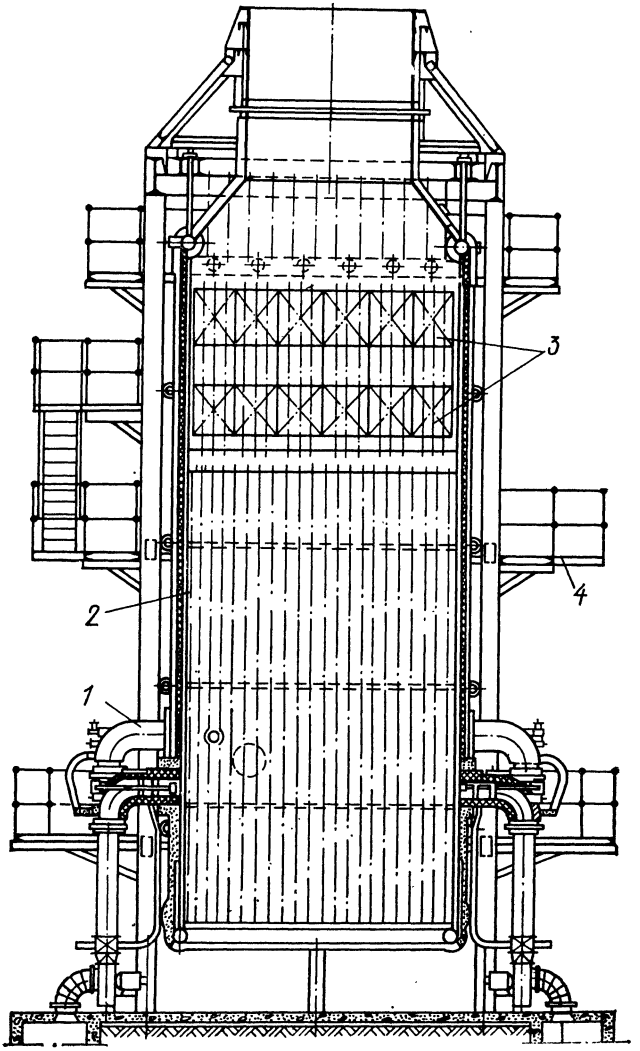


Рис. 4.14. Котел ПТВМ-50.

1 — горелка; *2* — экранные трубы; *3* — конвективные поверхности нагрева; *4* — рабочая площадка.

коллекторы экранов разделены на две части, и вода по трубам одной половины каждой из секций проходит сверху вниз, а по трубам другой половины поднимается. Между собой секции-экраны соединены с помощью перепускных труб, проходящих вне котла. Расчетная температура нагрева воды 150 °С.

Котлы пиковые теплофикационные водогрейные газомазутные ПТВМ-50 и ПТВМ-100 башенного типа имеют расчетную теплопроизводительность соответственно 50 и 100 Гкал/ч. На рис. 4.14 показан котел типа ПТВМ-50. Топка котла имеет вид прямоугольной шахты, в верхней части которой расположены конвективные поверхности нагрева, составленные из пакетов трубчатых змеевиков. Экранные поверхности котлов ПТВМ изготавливают из труб диаметром 60 мм, а змеевики конвективных поверхностей — из труб диаметром 28 мм. Нагреваемая вода входит в котел и выходит из него через нижние коллекторы экранов.

Котлы имеют облегченную обмуровку толщиной примерно 110 мм, состоящую из слоя шамотобетона по металлической сетке, слоя минеральной ваты, магнезиальной штукатурки и тонкого слоя газонепроницаемой обмазки. Крепится обмуровка к трубам котла, к которым приварены специальные шпильки.

Котел ПТВМ-30М производительностью 30 Гкал/ч имеет П-образную форму. В нем отходящие газы направляются из топки в рядом расположенную шахту, где размещены конвективные поверхности нагрева.

В котлах предусмотрены две схемы движения воды для основного и пикового режимов. Расчетная температура нагрева воды 150 °С. Расчетная температура отходящих газов 160—185 °С.

Котлы ПТВМ-50 и -100 могут работать на естественной тяге. Котлы ПТВМ-30М, у которых сопротивление по ходу газов несколько выше, оборудованы дымососом.

Котлы КВ-ГМ предназначены для работы на газе и мазуте. Расчетные температуры воды: на входе в котел 70, на выходе 150 °С. По конструкции котлы подразделяются на 3 группы теплопроизводительностью 4 и 6,5; 10, 20 и 30; 50 и 100 Гкал/ч.

Котлы КВ-ГМ-4 и -6,5 скомпонованы в транспортабельные блоки. Топочные камеры полностью экранированы трубами диаметром 60 мм, присоединенными к верхним и нижним коллекторам. Неэкранированные поверхности

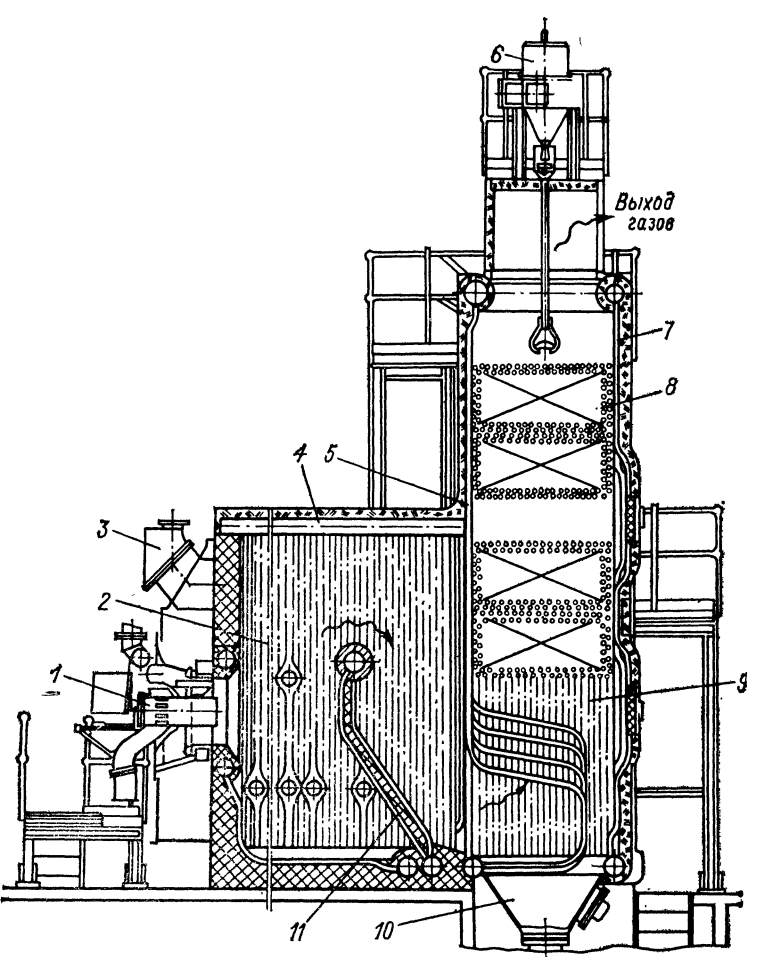


Рис. 4.15. Котел КВ-ГМ-10.

1 — горелка; *2* — боковой экран; *3* — предохранительный клапан; *4* — коллектор бокового экрана; *5* — задний экран топки; *6* — дробеочистная установка; *7* — задний экран конвективной шахты; *8* — конвективная поверхность нагрева; *9* — боковой экран конвективной шахты; *10* — бункер дробеочистки; *11* — промежуточная экранированная стенка.

передней стенки топки защищены огнеупорной кладкой. Обмуровка топки облегченная (шамотобетон, минераловатные плиты, магнезиальная обмазка) и крепится к трубам экранов. Задняя стена топки выполнена из огнеупорного кирпича.

За топкой находится конвективная шахта, в которой расположены 2 пакета, набираемые из U-образных ширм. Боковые стены и потолок конвективной камеры экранированы трубами диаметром 83 мм. Отходящие газы отводятся из нижней части шахты. Котел снабжен дробеочистной установкой, которая предназначена для очистки конвективных поверхностей от отложений при работе на мазуте.

Конструктивной особенностью котлов КВ-ГМ-10, -20, -30 является наличие в топке промежуточного двухрядного экрана, а также отвод отходящих газов из верхней зоны конвективной камеры (рис. 4.15). Топка имеет фронтовой и два боковых экрана; экранирован и под топки. В конвективной шахте расположены два конвективных пучка. Передняя стенка шахты, являющаяся для топки задней стенкой, цельносварная. Стены конвективной камеры экранированы. Несущего каркаса у этих котлов, как и у котлов КВ-ГМ-4 и -6,5, нет. Нагрузка массы котлов передается через нижние коллекторы на приваренные к ним опоры.

В котлах КВ-ГМ-50 и -100 топки и конвективные шахты представляют собой единую конструкцию П-образной формы. Газы отводятся из нижней части конвективной шахты. В отличие от других эти котлы подняты над уровнем земли и опираются на специальные колонны (порталы).

Котлы Е-1-9Г и Е-0,4-9Г (обозначаемые также МЗК-7Г и МЗК-8Г) представляют собой автоматизированные агрегаты паропроизводительностью соответственно 1 и 0,4 т/ч. Котлы состоят из верхнего и нижнего кольцевых коллекторов, соединенных между собой прямыми вертикальными трубами диаметром 38 мм, расположенными по концентрическим окружностям в шахматном порядке (рис. 4.16). Внутренний ряд труб образует экранную поверхность цилиндрической топочной камеры. В промежутках между экранными трубами приварены стальные полосы-мембраны, которые вместе с трубами образуют плотную топочную камеру.

В кольцевых коллекторах, представляющих собой штампованные решетки, имеются съемные крышки для осмотра, очистки и ремонта экранных и конвективных труб. Для наблюдения за горением газа на боковой поверхности котла имеется гляделка.

Котел работает под наддувом. Воздух нагнетается в кольцевой канал, образованный внутренней жаростой-

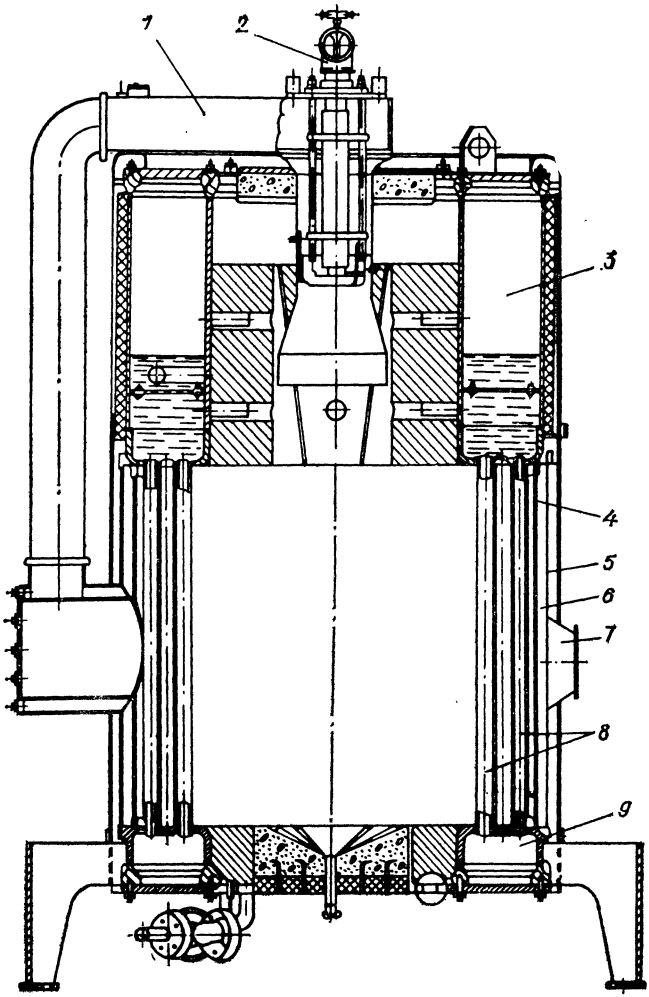


Рис. 4.16. Котел Е-1-9Г (МЗК-7Г).

1 — воздушный регистр; *2* — горелка; *3* — верхний коллектор; *4* — внутренняя обшивка; *5* — наружная обшивка; *6* — воздушный канал; *7* — патрубок для присоединения вентилятора; *8* — поверхности нагрева; *9* — нижний коллектор.

кой и наружной обшивками. Нагретый воздух проходит по воздуховоду и через воздушный регистр поступает в горелку, направленную сверху вниз. Воздушный регистр имеет поворотную заслонку, управляемую электромагнитным исполнительным механизмом.

Труба питательного трубопровода расположена в верхнем коллекторе над пароraспределительной решеткой. Вода подается поршневым насосом, а в качестве резервного насоса предусмотрен паровой инжектор. Питательный насос работает от электродвигателя, приводящего в движение вентилятор, чем обеспечивается взаимосвязь этих устройств. Парозапорный вентиль и предохранительный клапан установлены на верхней крышке котла. Для продувки котла в нижней крышке имеются два патрубка, соединенные со спускными вентилями.

Во внутреннем ряду труб имеется место, где установлены гладкие трубы, не закрытые мембранами. Расстояние между трубами обеспечивает проход отходящих газов. Далее газы разделяются на два потока, а на противоположной входу стороне соединяются и направляются в дымовую трубу. В котле МЗК-8Г газовый поток не разделяется.

Котел КПА-500Г — котел автоматизированный с принудительной циркуляцией, паропроизводительностью 0,5 т/ч и давлением пара 9 кгс/см^2. Каждый котел укомплектован водоумягчительной установкой, баком конденсата и дозатором, предназначенным для дозировки химических реагентов и подачи их в бак конденсата. Применяется на небольших предприятиях коммунально-бытового назначения.

Поверхность нагрева котла представляет собой трубчатый змеевик, состоящий из наружной и внутренней секций (рис. 4.17). К нижним виткам наружной секции приварена обечайка из листовой стали, которая внизу заварена днищем. На горизонтальных витках внутренней секции уложен тепловой экран в виде сегментов из шамотной глины, а шамотные кирпичи предохраняют днище обечайки и днище корпуса.

Горелка установлена в крышке корпуса, и факел ее направлен сверху вниз. Продукты сгорания из топочной камеры проходят между секциями вверх, затем между наружной секцией и стенками корпуса опускаются вниз к патрубку уходящих газов. Воздух для горения подается вентилятором в кольцевое пространство, образованное корпусом и кожухом котла. Такая подача воздуха позво-

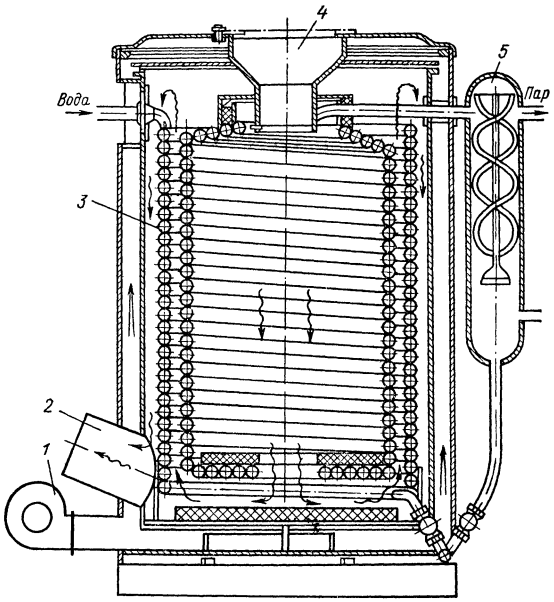


Рис. 4.17. Котел КПА-500Г.
1 — вентилятор; *2* — патрубок отходящих газов; *3* — поверхность нагрева; *4* — место установки горелки; *5* — сепаратор.

ляет отказаться от наружной обмуровки котла, снижает потери теплоты в окружающую среду и обеспечивает подачу к горелке подогретого воздуха.

Вода из бака конденсата подается поршневым насосом в наружную секцию. Выходящий из змеевика пар проходит через сепаратор — устройство, в котором от пара отделяются капельки воды и твердые частицы нерастворенных соединений. Сепаратор — цилиндрический корпус, внутри которого расположен двухзаходный шнек. Пар проходит по одному из заходов шнека вниз и по другому заходу направляется вверх к вентилю отбора пара.

4.2.6. ЭКОНОМАЙЗЕРЫ И ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛИ

Поверхностные экономайзеры. Вода, подогреваемая в экономайзерах, используется, как правило, для питания котлов (обозначаются буквой «П»). В некоторых случаях экономайзеры используются для нагрева воды,

идущей в систему отопления и горячего водоснабжения (обозначаются буквой «Т» — теплофикационный).

Чугунные экономайзеры собирают из ребристых труб, длиной 2 и 3 м, соединенных между собой чугунными калачами (коленами). Несколько горизонтальных рядов труб (до восьми) образуют группу, а группы собирают в одну или две колонны, разделенные металлической перегородкой. Экономайзер собирают в каркасе с глухими стенками, состоящими из теплоизоляционных плит, обшитых металлическими листами и съемными щитами.

Стальные экономайзеры состоят из змеевиков длиной 1820 мм, изготовленных из труб диаметром 28—38 мм с толщиной стенки 3 или 4 мм. Число рядов змеевиков в отдельном пакете достигает 25, а высота — 1,5 м.

По схеме присоединения и степени нагрева воды различают экономайзеры «кипящего» и «некипящего» типа. Чугунные экономайзеры компонуют с котлами, давление в которых не превышает 24 кгс/см^2. Эти экономайзеры бывают только «некипящего» типа. Стальные экономайзеры бывают «некипящего» и «кипящего» типа.

Температура воды на входе в чугунный экономайзер должна быть на 5—10 °С выше температуры точки росы отходящих газов, а на выходе из экономайзера — не менее чем на 40 °С ниже температуры насыщенного пара при групповом и на 20 °С при индивидуальном экономайзере. Температура воды на входе в стальной экономайзер должна быть не ниже 65 °С при сжигании природного газа.

Индивидуальные чугунные экономайзеры, как правило, являются неотключаемыми по воде и газу; в отключаемых экономайзерах на входе воды предусматривают автоматические регуляторы, обеспечивающие непрерывное питание котлов. Групповые чугунные экономайзеры должны быть отключаемыми по воде и газу, т. е. должны иметь обводную линию питания котлов водой и обводной газоход.

Контактные экономайзеры. За последние годы разработаны и все шире начали применять в котельных контактные экономайзеры, позволяющие снизить расход топлива на 10%. К таким установкам относятся ЭК-Б, типа Промэнерго, КТАН, АЭ, ВУГ-1 (водонагреватель утилизационный газовый).

Контактные теплообменные аппараты с активным насадком КТАН состоят из следующих частей: прямоуголь-

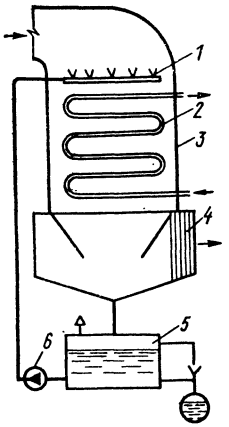


Рис. 4.18. Экономайзер типа КТАН.

1 — водораспределитель; *2* — пучок труб; *3* — корпус; *4* — сепаратор; *5* — бак рециркуляционной воды; *6* — насос.

ного корпуса, выполненного из листовой стали, системы орошения из центробежных форсунок, пучка труб, в котором протекает нагреваемая вода, сепарационного устройства, бака и насоса рециркуляционной воды (рис. 4.18). Пучок труб предназначен для создания развитой поверхности контакта орошающей воды и продуктов сгорания и одновременно является поверхностью нагрева, что интенсифицирует процесс теплообмена.

При сжигании природного газа с коэффициентом избытка воздуха за котлом до 1,5 (см. гл. 7) температура воды на выходе из активного насадка не должна превышать 50 °С. После отделения капель воды в сепарационном устройстве в отходящие газы добавляется 10—30% горячих газов, пропускаемых помимо экономайзера, для «подсушки» отходящих газов. Агрегаты экономайзерные АЭ состоят из контактной части, промежуточного теплообменника, водяного объема и трубчатого водораспределителя (рис. 4.19). Для интенсификации теплообмена в контактной части расположен рабочий насадок из керамических колец. Унос капель из контактной части предотвращается слоем каплеуловителя.

Промежуточный водяной теплообменник состоит из восьми секций, расположенных по обе стороны водяного объема и соединенных между собой калачами. Между контактной камерой и водяным объемом расположен декарбонизатор с насадком из керамических колец. В водяном объеме имеются переливной, дренажный и подпиточный штуцеры, а также труба для подачи воздуха и шаровой кран для регулирования уровня воды. В нижней части водяного объема имеется штуцер для присоединения гидрозатвора.

Работает агрегат следующим образом. Вода стекает по насадку и нагревается при непосредственном контакте с газами, проходит через насадок декарбонизатора и попадает в водяной объем. Из водяного объема вода через гидрозатвор насосом подается в промежуточный теплооб-

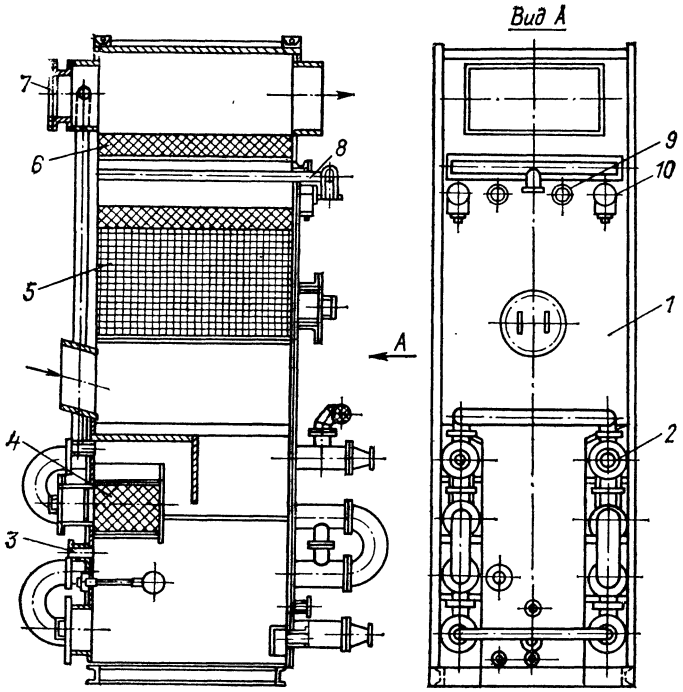


Рис. 4.19. Агрегат экономайзерный типа АЭ.
1 — контактная часть; *2* — теплообменник; *3* — труба для подвода воздуха; *4* — декарбонизатор; *5* — рабочий насадок; *6* — каплеулавливающий насадок; *7* — предохранительный клапан; *8* — водораспределитель; *9* — гляделка; *10* — электролампа.

менник, а затем вновь в водораспределитель. Водопроводная вода, нагретая в теплообменнике, направляется потребителю.

Воздухоподогреватели. В воздухоподогревателях, применяемых в котельных, теплообмен между продуктами сгорания и воздухом происходит через разделяющие их стенки поверхностей нагрева. Эти поверхности выполнены из чугунных ребристых плит, овально-ребристых и овально-зубчатых труб, стальных листов-пластин и стальных труб.

Наиболее распространенные трубчатые воздухоподогреватели состоят из отдельных секций, в которых тонкостенные трубы диаметром 40—50 мм приварены или завальцованы в плоские трубные доски. Газы проходят по трубам, как правило, сверху вниз, а воздух — попе-

речным потоком между труб, расположенных в шахматном порядке. Две—четыре секции устанавливают вертикально на определенном расстоянии друг от друга и соединяют перепускными коробами. Воздух поступает в нижнюю секцию и переходит в следующую вышележащую секцию.

Во избежание конденсации водяных паров, содержащихся в продуктах сгорания, температура воздуха, поступающего в воздухоподогреватель, должна быть на 5—10 °С выше температуры точки росы продуктов сгорания, а при сжигании высокосернистых мазутов — не ниже 80 °С. Для этого холодный воздух до поступления его в воздухоподогреватель предварительно подогревают паром или смешивают с некоторым количеством нагретого в воздухоподогревателе воздуха, который подводят к всасывающему патрубку дутьевого вентилятора.

4.2.7. ОБУСТРОЙСТВО И ТРУБОПРОВОДЫ КОТЛОВ

Гарнитура. Гарнитура котлов включает в себя: фронтальную плиту, к которой крепится горелка и отдельные узлы систем автоматики; дверки лазов и люков, предназначенных для периодического контроля состояния топок и газоходов с запорами-щеколдами; гляделки и лючки с крышками; шиберы (заслонки) для регулирования тяги и дутья; отводы и тройники для присоединения трубопроводов. В котлах, предназначенных для сжигания твердого топлива, в гарнитуру входят также колосниковая решетка, загрузочные, шуровочные, поддувальные (зольные) дверки.

Обдувочные аппараты. Назначение аппаратов — очистка поверхностей нагрева от загрязнений и сажи во время эксплуатации котла. Аппараты бывают стационарные различной конструкции и переносные (в котлах малой производительности). Очистка производится насыщенным паром или сжатым воздухом, которые подаются в обдувочные трубы, имеющие отверстия, — сопла.

Легкоплавкие предохранительные пробки. Такие пробки установлены на котлах ДКВР и предназначены для предупреждения повреждений котла из-за упуска воды. Они имеют форму конуса с наружной винтовой нарезкой. Сквозное отверстие в пробке заливается легкоплавящимся свинцово-оловянистым сплавом (90% свинца и 10% олова), температура плавления которого 260—310 °С.

Пробки ввертывают в нижнюю часть верхних барабанов со стороны топочного пространства. Если пробка перестанет охлаждаться водой, а снизу будет продолжаться ее подогрев продуктами сгорания, заполнение пробки начнет плавиться и через образовавшееся отверстие будет выходить пар.

Легкоплавкие пробки проверяют при промывке или очистке парового котла. В случае обнаружения хотя бы незначительного оплавления сплава пробку заливают снова. Независимо от состояния пробку перезаливают через каждые три месяца беспрерывной работы котла. На вновь залитую пробку ставят клеймо, указывающее время заливки. В журнале отмечают время заливки и состояние пробки.

Питательные и паровые трубопроводы. На питательном трубопроводе, у места его присоединения к паровому котлу, должны быть водозапорный вентиль (задвижка) и обратный клапан. На котлах с избыточным давлением пара до 39 кгс/см^2 запорный вентиль устанавливают между котлом и обратным клапаном, что позволяет производить осмотр клапана и небольшой ремонт, не останавливая котла, предварительно закрыв запорный вентиль.

Питательный трубопровод должен иметь кран для выпуска воздуха из верхних точек и дренажи для спуска воды из нижних точек трубопровода. У паровых котлов с централизованным питанием на каждом питательном трубопроводе при применении бесфланцевой арматуры устанавливают не менее двух запорных вентилей (задвижек), между которыми располагают дренажное устройство с диаметром прохода не менее 20 мм, сообщающееся с атмосферой.

На питательных линиях паровых котлов должна быть предусмотрена регулирующая арматура. Автоматически действующая питательная арматура должна иметь дистанционный привод для регулирования подачи воды с рабочего места оператора.

Между паровым котлом и присоединенным к нему паропроводом устанавливают парозапорный вентиль, возможно ближе к котлу. При наличии пароперегревателя парозапорный вентиль помещают за ним. У паровых котлов с избыточным давлением выше 39 кгс/см^2 на каждом паропроводе от котла до общего паропровода котельной устанавливают не менее двух паровых вентилей (задвижек)

с дренажными устройствами (диаметром не менее 20 мм) между ними, сообщающимися с атмосферой. У котлов паропроизводительностью 4 т/ч и более главный запорный орган должен иметь дистанционный привод для управления этим органом с рабочего места машиниста.

Парозапорный вентиль устанавливают так, чтобы пар из котла поступал под золотник (направление движения пара должно совпадать с направлением стрелки на корпусе вентиля). Такая установка обеспечивает ряд преимуществ: вентиль легко открыть, так как этому способствует давление пара в котле; неработающий котел надежно отключается от паропровода, поскольку золотник дополнительно прижимается к седлу давлением пара в паропроводе; при закрытом вентиле золотник не отрывается от шпинделя; закрыв вентиль и отключившись от паропровода, можно заменить набивку сальника без остановки котла.

На всех участках паропровода, которые могут быть отключены запорными устройствами, устраивают дренажи для отвода конденсата. На каждом дренажном трубопроводе устанавливают запорный вентиль, а при давлении более 8 кгс/см^2 — по два запорных вентиля или один запорный и один регулирующий.

У каждого водогрейного котла устанавливают по одному запорному органу (вентиль или задвижка) на подводящем и отводящем трубопроводе. На котле должно быть предусмотрено устройство, обеспечивающее возможность выпуска воздуха при заполнении котла водой.

Спускные и продувочные трубопроводы. На каждом котле, пароперегревателе, водяном экономайзере должны быть трубопроводы для продувки и полного спуска воды, выпуска воздуха при растопке, удаления конденсата из паропроводов, а у котлов паропроизводительностью более 1 т/ч — для отбора проб воды и пара и ввода присадок в котловую воду.

Для каждого типа котлов в зависимости от условий эксплуатации установлены предельные концентрации растворенных в котловой воде солей. Повышенное содержание солей приводит к вспениванию и уносу воды в паропровод. Местные скопления накипи и шлама могут привести к нарушению циркуляции в котле, к язвенной подшламовой коррозии сварных стыков и образованию сквозных свищей. Наличие в котловой воде солей также способствует загрязнению пара и заносу пароперегревателя, арматуры и паропроводов.

Для борьбы с этими явлениями на котлах должна проводиться продувка, т. е. удаление солей и шлама с частью котловой воды. Режимы продувки должны быть определены организацией, проводившей наладку работы установок водоподготовки, и указаны в режимной карте этих установок.

Продувочные трубопроводы должны быть присоединены в самых нижних точках соответствующих барабанов, камер и корпусов котлов. При периодической продувке продувочные линии котлов могут быть присоединены к общей продувочной магистрали, а при непрерывной продувке каждый котел должен иметь отдельную продувочную линию. Установка запорной арматуры на общих продувочных или спускных магистралях запрещена.

На котлах с давлением более 39 кгс/см^2 должны быть устройства, управляемые с рабочего места машиниста, для сброса воды из верхних барабанов при опасном переполнении их выше верхнего допустимого уровня. Это устройство должно исключать возможность спуска воды ниже нижнего уровня. У котлов с давлением более 8 кгс/см^2 на каждой продувочной линии должно быть установлено по два запорных устройства, из которых одно может быть регулирующим.

Применение фасонных частей, пробковых кранов, газовых сварных и чугунных труб на спускных и продувочных трубопроводах не допускается. Арматуру из ковкого чугуна разрешается применять только на котлах с давлением не более 15 кгс/см^2 и температурой пара не выше 300 °С.

На водогрейных котлах с принудительной циркуляцией теплопроизводительностью до 4 Гкал/ч, присоединенных к системе с принудительной циркуляцией воды, на отводящем трубопроводе или коллекторе горячей воды должно быть спускное устройство с запорным органом для предотвращения резкого повышения давления и температуры воды в котле при случайной остановке циркуляционных насосов.

Предохранительные устройства. Для автоматического выпуска из котла, пароперегревателя или отключаемого по воде экономайзера некоторого количества пара или воды при подъеме давления в них выше допустимых значений служат предохранительные устройства и клапаны.

На паровых котлах с давлением до 0,7 кгс/см^2 применяют выкидные устройства, конструкция одного из кото-

рых приведена на рис. 4.20. Гидравлический затвор состоит из бачка, трубы *3*, соединенной с паровым пространством котла, вставленных в нее труб *5* и *4*. Высоту трубы *4* от низа трубы *5* до бачка принимают соответствующей рабочему давлению пара плюс 0,1 кгс/см².

Работа устройства заключается в следующем. Заполняют затвор водопроводной водой до уровня контрольного крана. При повышении давления пара в котле выше допустимого предела уровень воды в трубе *3* достигнет низа трубы *5*, при этом откроется выход пару через бачок в атмосферу. После снижения давления вода вновь заполнит затвор.

В клапане самопритирающемся типа КСШ (рис. 4.21) корпусом служит труба, в верхний торец которой вварено седло. На седло садится грибок, запирающий выход пара. Грибок прижат к седлу грузом, имеющим форму опрокинутого стакана, с круго-

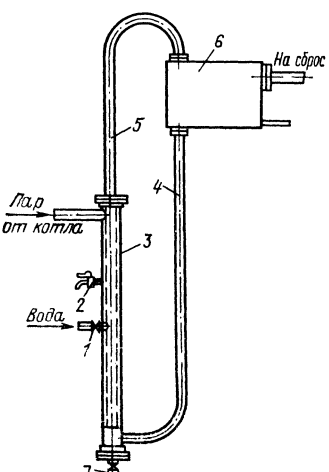


Рис. 4.20. Предохранительное устройство для паровых котлов с давлением до 0,7 кгс/см².

1 — кран водопроводной линии; *2* — контрольный кран; *3—5* — трубы затвора; *6* — выкидной бачок; *7* — спускная линия.

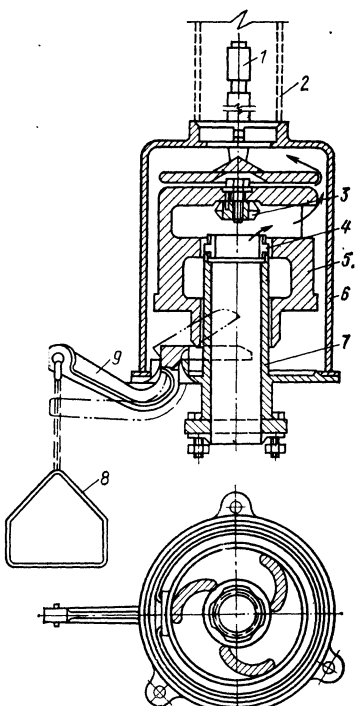


Рис. 4.21. Самопритирающийся предохранительный кран.

1 — свисток; *2* — паросбросная труба; *3* — грибок; *4* — седло; *5* — груз-крыльчатка; *6* — колпак; *7* — корпус клапана; *8* — ручка; *9* — рычаг.

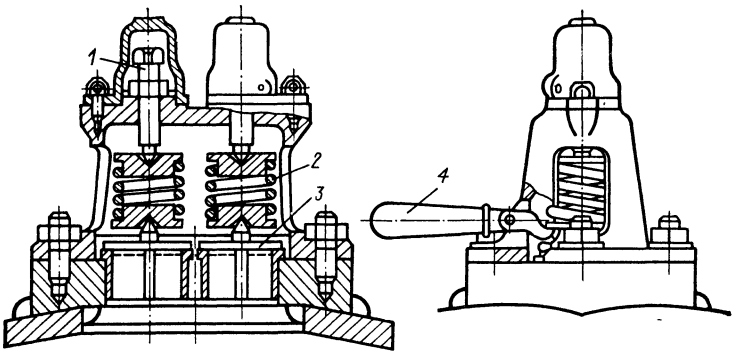


Рис. 4.22. Предохранительный пружинный клапан.
1 — нажимной винт; *2* — пружина; *3* — золотник клапана; *4* — ручка для открывания клапана.

вой щелью у дна, пересеченной тремя дугообразными лопатками.

Диск корпуса служит опорой рычага для проверки (подрыва) клапана. К рычагу прикреплена цепь с ручкой, пользоваться которой можно с уровня пола. На резиновое кольцо, уложенное на диск, насажен колпак, закрепленный болтами, в которых имеются отверстия для прохода пломбируемого шнура. К диску присоединена труба диаметром 1/2″ (на рисунке не изображена) для отвода конденсата.

При давлении пара 0,8 кгс/см^2 грибок с грузом поднимется, пар поступит в круговую щель и давление его на лопатки приведет груз во вращательное движение. После удаления через пароотводную трубу некоторого количества пара груз опускается, но продолжая вращаться по инерции, притирает грибок к седлу. О срабатывании клапана сигнализирует свисток.

В рычажном предохранительном клапане золотник клапана прижат к седлу грузом, закрепленным на рычаге. Настраивают клапан на срабатывание перемещением груза по рычагу или изменением веса груза. При давлении пара, превышающем значение, на которое отрегулирован клапан, золотник и шток приподнимутся, освобождая выход пару.

В пружинном клапане (рис. 4.22) золотник прижат пружиной. Настраивают клапан на срабатывание путем сжатия пружины с помощью нажимного винта. Для пе-

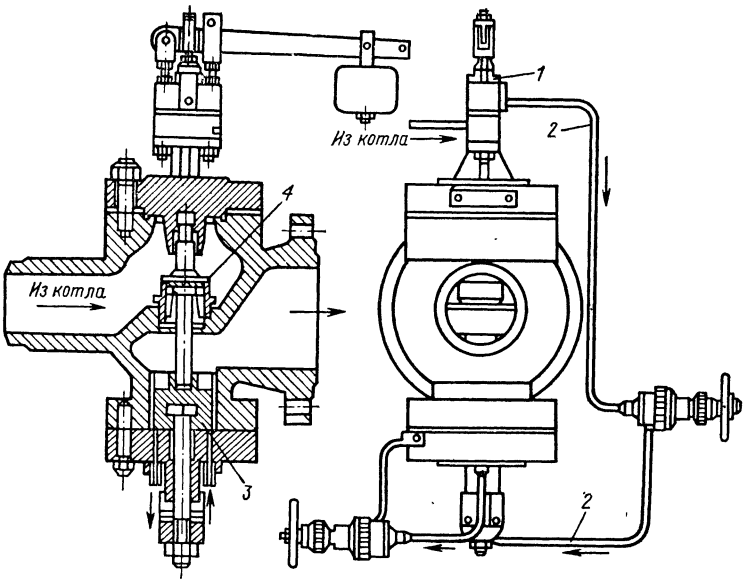


Рис. 4.23. Предохранительный импульсный клапан.
1 — вспомогательный рычажный клапан; *2* — пароперепускные трубки; *3* — поршень; *4* — золотник основного клапана.

риодической проверки работоспособности клапан снабжен соответствующим устройством с ручкой. Достоинством пружинных клапанов является то, что они меньше подвержены прикипанию, т. е. слипанию золотника и седла.

На каждом паровом котле производительностью более 100 кг/ч устанавливают не менее двух предохранительных клапанов, причем один из них контрольный. Рычажный контрольный клапан должен быть закрыт металлическим кожухом и опломбирован. Проверяют его с помощью цепочки, проходящей через кожух.

Диаметры предохранительных клапанов, устанавливаемых на котлах, определяют расчетом в зависимости от максимальной паро(тепло)производительности, максимального допустимого давления и других условий. Каждый клапан должен иметь отводную трубу, выходящую за пределы помещения, чтобы обеспечить свободный отвод среды и предохранить обслуживающий персонал от ожогов. Если срабатывание клапана не слышно с рабочего места машиниста, то контрольные клапаны должны иметь звуковое сигнальное устройство.

На паровых котлах давлением выше 39 кгс/см² устанавливают только импульсные клапаны — на выходном коллекторе неотключаемого пароперегревателя или на паропроводе до главного запорного органа. Пример конструкции импульсного клапана непрямого действия приведен на рис. 4.23. Клапан состоит из двух частей: основного клапана и рычажного. Золотник основного клапана в нормальных условиях прижат давлением пара из котла. Пар из котла подведен также к рычажному клапану. Если давление пара превышает допустимый предел, рычажный клапан приподнимается и пар через этот клапан и пароперепускную трубку поступает под поршень основного клапана. Поршень приподнимается и приподнимает золотник основного клапана, обеспечивая сброс пара и снижение давления.

Клапаны паровых котлов и пароперегревателей в зависимости от рабочего давления в котле $p_р$ должны быть отрегулированы на давление, не превышающее следующих значений:

Номинальное избыточное давление, кгс/см²	Давление открытия клапана, кгс/см² контрольного	рабочего
До 13	$p_р + 0{,}2$	$p_р + 0{,}3$
От 13 до 60	$1{,}03p_р$	$1{,}05p_р$
От 60 до 140	$1{,}05p_р$	$1{,}08p_р$

На отключаемом по воде экономайзере устанавливают не менее двух предохранительных клапанов: на входе воды в экономайзер (между запорным органом и экономайзером), отрегулированный на давление не ниже $1{,}25p_р$; на выходе (перед запорным органом) на давление не ниже $1{,}1p_р$.

Предохранительные клапаны должны быть установлены на патрубках, присоединенных непосредственно к барабану котла или паропроводу, без промежуточных отключающих устройств. Отбор пара из патрубка, на котором расположены предохранительные клапаны, запрещается.

На каждом водогрейном котле устанавливают два предохранительных клапана. Один из клапанов разрешается заменять обводной линией с обратным клапаном, пропускающим воду из котла в обвод запорному органу на линии горячей воды. Предохранительные клапаны должны быть отрегулированы на открытие при давлении не выше $1{,}08p_р$.

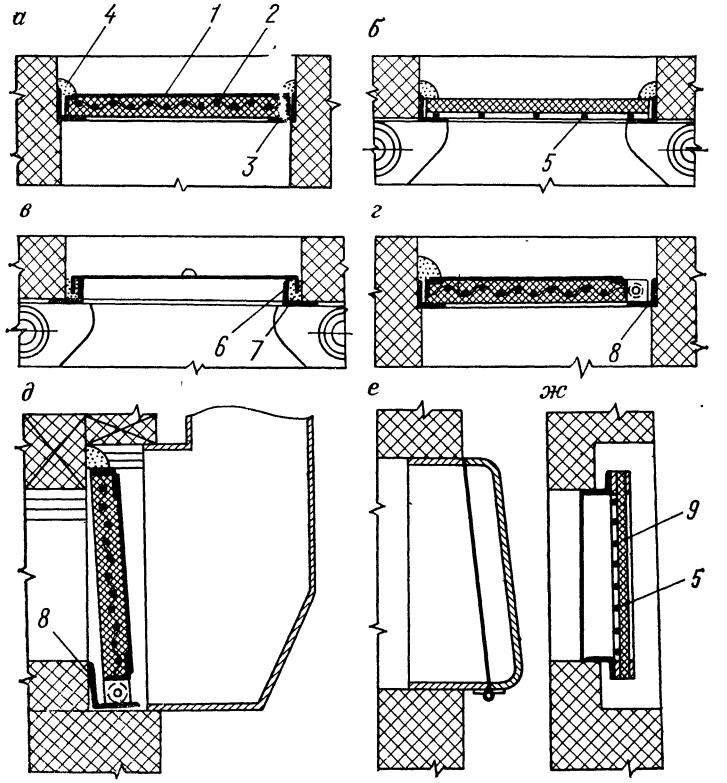


Рис. 4.24. Предохранительные взрывные клапаны.

а и *б* — сбросной; *в* — сбросной с песочным затвором; *г* — откидной горизонтальный; *д* — откидной вертикальный с защитным кожухом; *е* — откидной чугунный; *ж* — разрывной вертикальный.

1 — сбросная пластина; *2* — металлическая армирующая сетка; *3* — опорные элементы; *4* — огнеупорная глина; *5* — поддерживающая решетка; *6* — лоток; *7* — мелкозернистый песок; *8* — рама; *9* — разрывная мембрана.

Наличие на котлах и газоходах предохранительных взрывных клапанов является одним из основных требований работы на газовом топливе. Эти клапаны предназначены для восприятия давления газов, возникающего при взрыве газовоздушной смеси, и предохранения обмуровки котлов и кладки газоходов от разрушения. Клапан должен «сработать», т. е. дать газам выход в атмосферу, прежде, чем они разрушат обмуровку или кладку.

В момент взрыва смеси природного газа и воздуха в замкнутом объеме давление газов за счет их теплового

расширения может достигнуть 8 кгс/см². При наличии легко и быстро открывающихся проемов это давление будет снижено и предотвратит возможные разрушения, опасные для персонала котельной.

Конструкции клапанов различных типов приведены на рис. 4.24. Наиболее часто применяют мембраны разрывного действия из листового асбеста толщиной 2—3 мм, закрепленного по краям в раме из уголков. Со стороны газохода расположена металлическая сетка с ячейками не менее 40×40 мм. Применяют также асбестовые мембраны толщиной 5—6 мм с обязательной прорезкой на них крест-накрест канавок глубиной 2—3 мм.

Недостатком дешевых и простых в изготовлении асбестовых мембран является возможность их разрушения во время эксплуатации из-за перегрева, пульсации в топке и газоходах. Кроме того, эти мембраны, жестко зажатые по периметру, не обеспечивают полного выброса асбеста и полного освобождения живого сечения отверстия при срабатывании.

Клапаны сбросного типа — пластины, опирающиеся на выступающие элементы котла или обмуровки. Пластины изготавливают из смеси огнеупорной глины и асбестовой крошки, нанесенных на металлическую сетку, или из листового асбеста толщиной 8—10 мм. По периметру пластину уплотняют мятой огнеупорной глиной. К сбросным относятся клапаны с песочным затвором.

Клапаны откидного типа — чугунные футерованные крышки или плиты, изготовленные из смеси огнеупорной глины с асбестом, армированные металлической сеткой и соединенные с рамой петлями. Применяют на горизонтальных и вертикальных газоходах.

Поверхность клапана должна совпадать с внутренней поверхностью кладки, в противном случае взрывная волна раньше достигнет кладки и разрушит ее, а удаленно расположенный клапан (например, установленный в патрубке) может остаться целым. В котлах, предназначенных для сжигания газового топлива, установка взрывных клапанов предусмотрена конструкцией котла.

Взрывные клапаны разрешается не устанавливать на котлах одноходовых по отходящим газам (например, котлы ПТВМ-50 и -100), если труба расположена непосредственно над котлом, а также на котлах паропроизводительностью более 60 т/ч, на котлах, работающих с наддувом и в газоходах перед экономайзером и за ним.

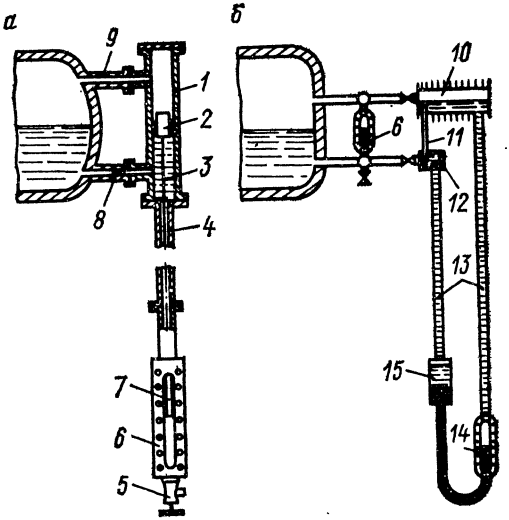


Рис. 4.25. Сниженные указатели уровня воды.

а — поплавковый механический; *б* — гидравлический.
1 — сосуд; *2* — поплавок; *3* — трос; *4*, *8* и *9* — соединительные трубы; *5* — вентиль; *6* — указатель уровня; *7* — стержень; *10* — конденсационный сосуд; *11* — дренажная трубка; *12* — грязевик; *13* — спускные трубки; *14* — указательное стекло; *15* — резервуар с тяжелой жидкостью.

Если клапан необходимо установить в зоне возможного пребывания обслуживающего персонала, то вокруг него устраивают легкое защитное устройство.

Для котлов паропроизводительностью менее 10 т/ч места расположения, количество и размеры взрывных клапанов определяет проектная организация. Обычно суммарную площадь клапанов принимают из расчета не менее 0,025 м^2 на каждый кубометр объема топки и газохода, а площадь одного клапана — не менее 0,15 м^2. В котлах паропроизводительностью от 10 до 60 т/ч клапаны общей площадью не менее 0,2 м^2 устанавливают в обмуровке котла над топкой, а на последнем газоходе котла, экономайзере и золоуловителе (в котлах, переведенных с твердого на газовое топливо) — не менее двух клапанов с минимальной общей площадью 0,4 м^2.

Указатели уровня воды. Все паровые котлы должны быть оборудованы приборами, показывающими уровень воды в котле. К этим приборам относятся водоуказательные (водомерные) приборы, сниженные указатели уровня и пробные краны. Указателей уровня воды на

котле должно быть не менее двух, чтобы в случае неожиданного отказа одного из них можно было продолжить работу котла.

Указатели уровня присоединяют к днищу барабана на уровне парового и водяного пространства при помощи двух фланцев с паровым и водяным кранами. На приборе должны быть неподвижные металлические указатели допустимых уровней воды: нижнего, расположенного не менее чем на 25 мм выше нижней кромки стекла, и верхнего — не менее чем на 25 мм ниже верхней кромки. Нормальный уровень воды указывается заводом-изготовителем котла. Соединительная трубка водяного крана должна иметь уклон в сторону котла и быть покрыта тепловой изоляцией.

В указателях уровня на котлах с рабочим давлением до 39 кгс/см^2 применяют плоские прозрачные с рифленой поверхностью или гладкие с двух сторон стекла (пластины). На котлах с давлением более 39 кгс/см^2 можно применять приборы с гладкими стеклами и слюдяными прокладками, предохраняющими стекла от воздействия пара и воды. Такие стекла следует освещать электрическими лампами низкого напряжения, установленными для лучшей видимости за стеклом.

На котлах с давлением пара до 0,7 кгс/см^2 разрешается устанавливать указатели уровня с цилиндрическими стеклами при наличии устройства, предохраняющего персонал котельной от осколков в случаях разрыва стекла. Высота стекла должна соответствовать возможным колебаниям уровня воды.

Если место установки водоуказательного прибора находится на высоте более 6 м от места постоянного нахождения машиниста или если по каким-либо причинам водомерное стекло плохо просматривается, допускается либо взамен, либо дополнительно к ним устанавливать сниженные указатели уровня (рис. 4.25).

В поплавковом указателе уровня имеется полый поплавок, соединенный тросом со стержнем, расположенным в водоуказателе. По перемещению стержня, в соответствии с перемещением поплавка, судят об уровне воды в барабане.

Принцип действия гидравлического указателя заключается в следующем. Одна из двух сообщающихся между собой трубок всегда заполнена водой, так как, благодаря наличию дренажной трубки, в конденсационном сосуде

поддерживается постоянный уровень воды. Уровень воды в другой части U-образного прибора меняется в соответствии с изменением положения зеркала испарения в барабане котла. Нижняя часть прибора заполнена тяжелой не смешивающейся с водой жидкостью. Изменение уровня воды в барабане вызывает изменение уровней тяжелой жидкости в водоуказательной колонке.

На котлах с давлением менее 0,7 кгс/см^2 допускается установка взамен одного из указателей уровня двух пробных кранов на высоте допустимых верхнего и нижнего уровня воды. О наличии пара или воды на высоте расположения кранов можно судить по характеру выходящих струй: пар выходит широкой струей голубого цвета; вода на выходе из крана при падении давления до атмосферного также переходит в парообразное состояние, но струя ее более узкая и имеет белый цвет.

Глава 5
ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОТЕЛЬНЫХ

5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОТЕЛЬНЫХ

Краткая характеристика котельных. Котельная установка — совокупность котла и вспомогательного оборудования, включающего в себя: топливное хозяйство (в газифицированных котельных — систему газоснабжения); дутьевые вентиляторы и воздуховоды; дымососы, сборные газоходы и дымовую трубу; оборудование водоподготовки; насосы различного назначения; теплообменные аппараты; установки утилизации теплоты отходящих газов; редукционно-охладительные установки; баки различного назначения (питательные, конденсационные, баки-аккумуляторы горячей воды); устройства продувки котлов; системы автоматического регулирования и безопасности сжигания топлива; тепловой щит или пульт управления; трубопроводы и установленную на них арматуру; устройства вентиляции.

По назначению котельные делят на следующие группы: энергетические — вырабатывающие пар для паровых двигателей и турбин; отопительные — предназначенные для теплоснабжения систем отопления, вентиляции, горячего водоснабжения жилых, общественных и других зданий; производственные — обеспечивающие паром и горячей водой технологические процессы промышленных предприятий; производственно-отопительные — обеспечивающие паром и горячей водой различных потребителей. В зависимости от вида вырабатываемого теплоносителя котельные делят на водогрейные, паровые и пароводогрейные. В зависимости от размещения котельные делят на отдельно стоящие, пристроенные к зданиям другого назначения, встроенные в здания другого назначения.

По надежности теплоснабжения потребителей делят на две категории: первой категории — потребители, нарушение теплоснабжения которых связано с опасностью для жизни людей или с повреждением технологического оборудования, массовым браком продукции; второй категории — все остальные потребители.

По надежности отпуска теплоэнергии котельные делят на две категории: первой категории — котельные, являющиеся единственным источником системы теплоснабжения и обеспечивающие потребителей первой категории, не имеющих индивидуальных резервных источников теплоты; второй категории — все остальные котельные.

В газифицированной котельной система газоснабжения включает в себя: наружные и внутренние газопроводы; установки для снижения и регулирования давления газа; узел учета расхода газа; газовые или газомазутные горелки с относящимися к ним топочными устройствами; тягодутьевые машины и газовоздушные тракты.

Если резервным (или аварийным) топливом является топочный мазут, то устраивается мазутное хозяйство, в которое входят: емкости для хранения мазута и насос для подачи его к горелкам, мазутоподогреватели (с паро- и конденсатопроводами), фильтры для очистки, мазутные форсунки и паропроводы к ним.

Если резервным является твердое топливо и при этом сохранены нетронутыми устройства подачи его в топку, расположенные с фронта котла, то колосниковую решетку покрывают асбестовым картоном толщиной 5 мм, на который насыпают слой боя огнеупорного кирпича

высотой 200 мм. При работе на газе окна пневматических забрасывателей и шуровочные отверстия должны быть заложены огнеупорным кирпичом.

Устройства системы водоподготовки предназначены для очистки воды от механических примесей, от солей жесткости, образующих накипь на внутренних сторонах поверхностей нагрева котла, а также для удаления из воды растворенных в ней газов, вызывающих коррозию металла.

Насосы и инжекторы, применяемые в котельных, предназначены для подачи питательной воды в котлы, для подпитки системы теплоснабжения, обеспечения циркуляции воды в системе и для других целей.

Котлы и котельное оборудование должны быть оснащены необходимым количеством соответствующего типа проверенных и исправно действующих предохранительных устройств, запорной и регулирующей арматуры. В котельных должны быть средства автоматизации и измерений (контрольно-измерительные приборы): расхода газа, пара, воды; состава газа или газовоздушных смесей; температуры и давления газа, пара, воды; температуры и состава отходящих газов; разрежения в топке; сигнализаторы различного назначения.

Тепловые схемы котельных. Выбор типа и количества котлов, а также тепловой схемы зависит от расчетной тепловой нагрузки котельной, вида и параметров вырабатываемого теплоносителя (пара, горячей воды), качества исходной воды, схемы тепловых сетей, связывающих котельную с потребителями пара или горячей воды.

Расчетная тепловая нагрузка котельной — потребность в теплоэнергии (пара, горячей воды), которую должна обеспечить котельная. Тепловая нагрузка складывается из расходов теплоты у потребителей на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и производственные нужды с учетом потерь теплоты в тепловых сетях и расходов на собственные нужды котельной.

Тепловые сети, связывающие котельные с потребителями, бывают двух типов: закрытые (замкнутые) и открытые (разомкнутые). При закрытой схеме вода (или пар) отдает свою теплоту в теплообменниках местных систем и полностью возвращается в котельную. При открытой схеме вода (пар) частично, а в редких случаях полностью, отбирается в местных установках (непосредственный водоразбор). Схема тепловой сети определяет производитель-

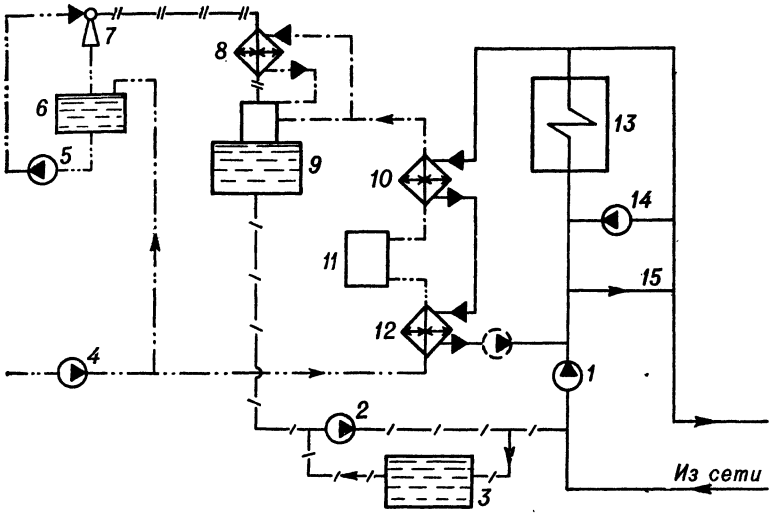


Рис. 5.1. Принципиальная тепловая схема водогрейной котельной.
1 — сетевой насос; *2* — подпиточный насос; *3* — бак подпиточной воды; *4* — насос исходной воды; *5* — насос подачи воды к эжектору; *6* — расходный бак эжектора; *7* — водоструйный эжектор; *8* — охладитель выпара; *9* — вакуумный деаэратор; *10* — подогреватель химически очищенной воды; *11* — фильтр; *12* — подогреватель исходной воды; *13* — котел; *14* — рециркуляционный насос; *15* — линия перепуска.

ность оборудования водоподготовки, вместимость баков-аккумуляторов и другие условия теплоснабжения.

В тепловой схеме котельной различают воду: исходную, поступающую из городского водопровода или другого источника водоснабжения; химически очищенную — прошедшую через установки водоподготовки; котловую — заполняющую водяной объем парового котла; питательную — подаваемую в паровые котлы; подпиточную — подаваемую в тепловую сеть для восполнения утечек в системе теплоснабжения или расхода воды в системах с непосредственным водоразбором; конденсатную — образовавшуюся из пара в пароводяных теплообменниках или возвращающуюся из установок, где теплоносителем является пар; продувочную — содержащую шлам и растворы солей.

На рис. 5.1 в качестве примера приведена принципиальная тепловая схема водогрейной котельной с расчетной температурой горячей воды 150—70 °С. Исходная вода, поступающая из водопровода или другого источника водо-

снабжения, подаваемая насосом *4*, проходит через подогреватель *12*, фильтры химводоочистки и после умягчения через второй подогреватель *10*, где нагревается до 75—80 °С. Далее вода поступает в колонку вакуумного деаэратора. Вакуум в деаэраторе поддерживается за счет отсасывания из колонки деаэратора паровоздушной смеси с помощью водоструйного эжектора. Рабочей жидкостью эжектора, создающей разрежение, служит вода, подаваемая насосом *5* из бака эжекторной установки. Пароводяная смесь, удаляемая из деаэраторной головки, проходит через теплообменник — охладитель выпара. В этом теплообменнике происходит конденсация паров воды, и конденсат стекает обратно в колонку деаэратора. Деаэрированная вода самотеком поступает к подпиточному насосу, который подает ее во всасывающий коллектор сетевых насосов или в бак подпиточной воды.

Установленный на обратной линии сетевой (циркуляционный) насос обеспечивает поступление питательной воды в котел и далее в систему теплоснабжения. Обратная и подающая линии соединены между собой перемычками — перепускной и рециркуляционной. Через первую из них при всех режимах работы, кроме максимально зимнего, перепускается часть воды из обратной в подающую линию для поддержания заданной температуры.

Рециркуляционная перемычка служит для подачи в обратную линию тепловой сети части горячей воды для поддержания ее температуры перед стальными котлами не ниже температуры точки росы (62—65 °С), так как температура обратной воды часто бывает ниже указанной. Это предохраняет от конденсации водяных паров, содержащихся в отходящих газах, способствующей коррозии металла.

Подогрев в теплообменниках *10* и *12* химически очищенной и исходной воды осуществляется водой, поступающей из котлов. Во многих случаях насос, установленный за теплообменниками (показан штриховой линией), используется также и в качестве рециркуляционного.

Если отопительная котельная оборудована паровыми котлами, то горячую воду для системы теплоснабжения получают в поверхностных пароводяных подогревателях. Пароводяные водоподогреватели чаще всего бывают отдельно стоящие, но в некоторых случаях применяются подогреватели, включенные в циркуляционный контур котла, надстроенные над котлами или встроенные в котлы.

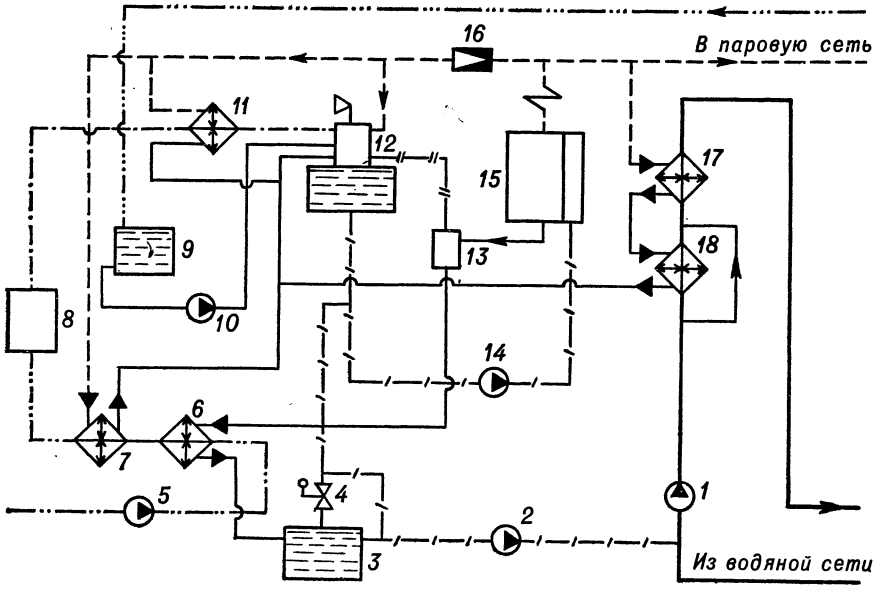


Рис. 5.2. Принципиальная тепловая схема паровой котельной.

1 — сетевой насос; *2* — подпиточный насос; *3* — бак подпиточной воды; *4* — регулятор подпора; *5* — насос исходной воды; *6* — охладитель воды непрерывной продувки (подогреватель исходной воды); *7* — пароводяной подогреватель исходной воды; *8* — фильтр; *9* — конденсатный бак; *10* — конденсатный насос; *11* — подогреватель химически очищенной воды; *12* — атмосферный деаэратор; *13* — сепаратор пара непрерывной продувки; *14* — питательный насос; *15* — паровой котел; *16* — редукционно-охладительная установка; *17* — подогреватель сетевой воды; *18* — охладитель конденсата.

На рис. 5.2 показана принципиальная тепловая схема производственно-отопительной котельной с паровыми котлами, снабжающими паром и горячей водой закрытые двухтрубные водяные и паровые системы теплоснабжения. Для дегазации питательной воды котлов и подпиточной воды тепловой сети предусмотрен один деаэратор. Схема предусматривает нагрев исходной и химически очищенной воды в пароводяных подогревателях *7* и *11*. Продувочная вода от всех котлов поступает в сепаратор пара непрерывной продувки, в котором поддерживается такое же давление, как и в деаэраторе. Пар из сепаратора отводится в паровое пространство деаэратора, а горячая вода поступает в водоводяной подогреватель *6* для предварительного нагрева исходной воды. Далее продувочная вода сбрасывается в канализацию или поступает в бак подпиточной воды.

Конденсат паровой сети, возвращенный от потребителей, подается насосом *10* из конденсатного бака в деаэратор. В деаэратор поступает химически очищенная вода и конденсат пароводяного подогревателя химически очищенной воды. Сетевая вода подогревается последовательно в охладителе конденсата *18* и в пароводяном подогревателе *17*.

Во многих случаях в паровых котельных для приготовления горячей воды устанавливают и водогрейные котлы, которые подностью обеспечивают потребность в горячей воде или являются пиковыми. Котлы устанавливают за пароводяным подогревателем по ходу воды в качестве второй ступени подогрева. Если пароводогрейная котельная обслуживает открытую схему теплоснабжения, в котельной предусматривают установку двух деаэраторов — для питательной и подпиточной воды. Для выравнивания режима приготовления горячей воды, а также для ограничения и выравнивания давления в системах горячего и холодного водоснабжения предусматривают установку баков-аккумуляторов.

5.2. ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Общие сведения. Качество используемой в котельной воды должно обеспечивать работу котлов, теплоиспользующего оборудования и тепловых сетей без отложений накипи и шлама, без коррозионных повреждений и получение пара и горячей воды с содержанием в них вредных

примесей, не превышающим допустимых норм. Поэтому исходная вода (даже если она поступает из систем водоснабжения) должна быть подвергнута в котельных обработке в водоподготовительных установках.

Качество химически очищенной, котловой, питательной, подпиточной и сетевой воды, конденсата и пара должно соответствовать определенным требованиям по щелочности, жесткости, допустимому содержанию кислорода, диоксида углерода, масла и других примесей. Масло, попадающее в котловую воду, образует пленку на поверхностях нагрева или пропитывает накипь. Теплопроводность масла еще ниже, чем у накипи. Кроме того, совместно со взвешенными веществами и солями жесткости масло образует массу, которая может явиться причиной закупорки труб и нарушения циркуляции.

Допустимое содержание вредных примесей в воде зависит от типа котла, его рабочего давления, наличия пароперегревателя или экономайзера, температуры нагрева воды, а также от вида топлива. К воде, используемой в котлах, работающих на мазуте и газе, предъявляются более высокие требования по сравнению с работающими на твердом топливе в связи с повышенной температурой в топке и возможным перегревом отдельных зон поверхностей нагрева.

Постоянную проверку качества воды должна выполнять химическая лаборатория предприятия или центральная лаборатория эксплуатирующей организации, объединяющей несколько котельных (например, ПОКиТС — предприятие объединенных котельных и тепловых сетей), тресты Теплоэнерго.

Осветление воды. Для очистки (осветления) воды от взвешенных частиц (песка, глины, остатков растений) применяют резервуары-отстойники больших размеров или осветлительные фильтры, заполненные кварцевым песком или мраморной крошкой, дробленым антрацитом, керамзитом. Для более полной очистки от органических и взвешенных частиц, солей железа и кремния применяют коагуляцию. При коагуляции к воде добавляют сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3$ или сернокислое железо $FeSO_4$, которые образуют с примесями воды хлопья, выпадающие в осадок.

Периодичность промывки фильтра осветленной водой устанавливается наладочной организацией. Вода поступает из бака, установленного на 10—15 м выше уровня

нижнего днища фильтра, и подается в направлении, обратном движению фильтруемой воды. Эффективность промывки повышается, если одновременно с водой в фильтр поступает воздух под давлением до 2 кгс/см^2.

Умягчение воды. Умягчением называется удаление из воды образующих накипь соединений кальция и магния. Применяют докотловую и внутрикотловую обработку воды. Наиболее распространенным в отопительно-производственных котельных является катионитовый метод докотловой обработки, при котором воду пропускают через специальные фильтры, заполненные природным минералом — глауконитом, а наиболее часто — раздробленным каменным углем или антрацитом, обработанными серной кислотой (сульфоуглем), полистирольным синтетическим катионитом.

Сущность метода катионирования заключается в способности катионита извлекать из воды ионы кальция Ca^{2+} и магния Mg^{2+}, а взамен отдавать воде ионы натрия Na^+ или водорода H^+, содержащиеся в катионите; в зависимости от этого различают методы Na-катионирования, H-катионирования и комбинированного Na- и H-катионирования. Образуемые при Na-катионировании соли легко растворяются и не способны к образованию накипи. При H-катионировании образуются угольная, серная и соляная кислоты, которые накипи не дают.

Катионитовые фильтры представляют собой металлические емкости цилиндрической формы, в которых на бетонной подушке расположено дренажное устройство и слой катионитового материала. Высота слоя катионита в зависимости от жесткости исходной воды может достигать 3—4 м.

Дренажное устройство состоит из коллектора с системой дренажных труб, к которым приварены патрубки с навернутыми колпачками. Колпачки, изготовленные из пластмассы или фарфора, имеют на своих гранях щели шириной 0,3 мм. Вода поступает в верхнюю часть фильтра, проходит через слой катионита и отводится через дренажное устройство в питательный бак.

В процессе умягчения катионирующий материал насыщается кальцием и магнием и теряет свою способность к обмену с солями жесткости. Для восстановления (регенерации) обменной способности через фильтр пропускают раствор поваренной соли или серной кислоты в зависимости от вида применяемого фильтрующего ма-

териала. Регенерация состоит из трех операций: взрыхления фильтрующего материала восходящим потоком воды, собственно регенерации катионита и отмывки его умягченной водой. Регенерацию в зависимости от качества воды проводят 2—3 раза в сутки. Во время регенерации, которая занимает около 2 ч, воду пропускают через резервный фильтр. Ревизию фильтра следует проводить не реже 1 раза в год, а ремонт с выгрузкой фильтрующего материала — не реже 1 раза в 2 года.

Внутрикотловая обработка воды. При химическом способе внутрикотловой обработки в питательную воду паровых котлов добавляют антинакипины — вещества, способствующие образованию шлама, удаляемого из котла с продувочной водой. Применяют этот способ в неэкранированных котлах без пароперегревателей, имеющих достаточные объемы нижних барабанов, из которых может быть обеспечен отвод образующегося шлама.

В качестве осадительных веществ используют в основном едкий натр, или каустическую соду $NaOH$, кальцинированную соду Na_2CO_3, тринатрийфосфат Na_3PO_4. Вводят раствор в питательную воду или непосредственно в барабан котла. Важнейшим условием успешной обработки воды является строгое соблюдение в растворе дозировки веществ, чтобы избежать при их избытке кристаллизации и образования отложений в трубопроводах или вспенивания и уноса воды.

Режимом работы паровых котлов и тепловой схемой котельной предусматривается возможность периодической или непрерывной продувки в зависимости от содержания шлама в котловой воде. При внутрикотловой обработке воды продувка является обязательной, а продолжительность и периодичность продувки определяются лаборантом в соответствии с инструкцией по обслуживанию установок водоподготовки.

Противонакипные магнитные установки. В котельных с секционными чугунными и стальными котлами применяют противонакипную магнитную обработку воды. Принцип действия такой установки (ПМУ-1) заключается в следующем. Питательная вода со скоростью 0,5—2,5 м/с проходит установленное вертикально противонакипное устройство, представляющее собой колонку высотой 6,5 м и состоящую из отдельных секций. В каждой секции имеются магнитопровод, цилиндрические магниты и полюсные наконечники, создающие магнитное поле.

Растворенные в воде соли внутри котла не осаждаются на поверхностях нагрева, а выпадают в виде шлама. Периодическое изменение направления воды и резкое уменьшение скорости в шламоотделителе способствуют выпадению шлама в осадок. Осветленная вода поступает в питательный бак, а накопившийся шлам сбрасывается в канализацию. Пропускная способность ПМУ-1 около 3 м³/ч.

Деаэрация воды. Процесс выделения растворенных в воде кислорода, диоксида углерода и других газов называется деаэрацией или дегазацией, а устройства, в которых происходит выделение газов, — деаэраторами. В котельных применяют деаэраторы атмосферные, работающие при абсолютном давлении около 1,2 кгс/см² и температуре кипения воды 102—105 °С, а также вакуумные, давление в которых ниже атмосферного (температура кипения около 70 °С). По способу подачи воды деаэраторы делят на струйные и пленочные.

В деаэраторах типа ДСА (деаэраторы смешивающие атмосферные) деаэраторную колонку располагают над сборным баком. Химически очищенная вода с температурой 60—80 °С подается в верхнюю часть деаэратора и сливается струями через отверстия в тарелках. В нижнюю часть колонки через парораспределительный коллектор поступает пар, который проходит в верхнюю часть колонки, омывает при этом струи воды и нагревает ее до температуры насыщения (104—106 °С). Конденсат сетевых водоподогревателей с температурой, превышающей температуру насыщения, соответствующую давлению в деаэраторе, подводится на вторую тарелку. Выпар, т. е. избыточный пар, содержащий кислород и диоксид углерода, удаляется из верхней части деаэратора. Деаэрированная вода сливается в сборный бак, а оттуда поступает к питательному насосу.

Для использования теплоты выпара, выходящего из деаэрационной колонки, устанавливают поверхностные теплообменники — охладители выпара, в которых нагревается часть умягченной воды. Трубки в охладителях выпара должны быть латунными, так как стальные трубки быстро выходят из строя из-за усиленной коррозии.

Нормальный процесс деаэрации обеспечивается непрерывным поддержанием соответствия между количеством пара и деаэрируемой воды.

Более полное удаление газов обеспечивается в деаэраторах с барботажным устройством. При этом дегазация

Таблица 5.1

Среднесуточные допустимые значения показателей качества питательной воды

Наименование показателей	Абсолютное давление, кгс/см²		
	до 14	24	40
Содержание взвешенных частиц, мг/кг	5	5	Не допускается
Общая жесткость, мкг-экв/кг	15	10	5
Содержание соединений железа (в пересчете на Fe), мкг/кг	300	100	50
Содержание соединений меди (в пересчете на Cu), мкг/кг	Не нормируется		10
Содержание растворенного кислорода, мкг/кг	30	20	20
Значение pH (при $t = 25$ °C)	8,5—9,5		
Содержание свободной углекислоты (диоксида углерода), мкг/кг	Не допускается		
Содержание нитритов (в пересчете на NO_2), мкг/кг	Не нормируется		20
Содержание масла, мг/кг	3	3	0,5

происходит в основном в барботажном устройстве, расположенном внутри бака-аккумулятора. В барботажное устройство пар поступает по самостоятельной трубе и нагревает воду до кипения. Не сконденсировавшийся в барботажном устройстве пар, а также выделившиеся в нем газы направляются в колонку.

В котельных с водогрейными котлами при отсутствии пара применяют вакуумную деаэрацию, основанную на самовскипании воды, нагретой до температуры, превышающей температуру насыщения при данном давлении. В качестве греющей среды используется горячая вода из котлов. Для создания вакуума в деаэраторе применяют водоструйные и пароструйные эжекторы или вакуумные насосы.

Очистка конденсата. В конденсате отработавшего и возвращенного в котельную пара возможно содержание нефтепродуктов. Для очистки конденсат пропускают через маслоловушки и механические фильтры (кварцевые, гравийные, коксовые и др.). Затем пропускают через фильтры,

загруженные мелкозернистым активированным углем (березовым, торфяным).

Требования к воде, пару, конденсату. Действующие нормативы определяют допустимое содержание примесей в воде, паре, конденсате. Ниже приводятся требования к питательной и подпиточной воде.

Показатели качества питательной воды паровых секционных котлов производительностью до 0,7 т/ч не должны превышать следующих значений: жесткость — 200 мкг-экв/кг, кислород — 100 мкг/кг, диоксид углерода — 10 мг/кг, сульфат натрия — 2 мг/кг, pH — 7. Основные требования к питательной воде котлов с давлением до 40 кгс/см^2 приведены в табл. 5.1.

Допустимое содержание вредных примесей в подпиточной воде составляет: взвешенные вещества — 5 мг/кг, карбонатная жесткость — 0,7 мг-экв/кг, свободная углекислота должна отсутствовать; pH — 6,5—8,5; растворенный кислород — 0,1 мг/кг при нагреве воды до 100 °С и 0,05 при нагреве от 101 до 200 °С.

5.3. ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Водоподогреватели. Основным оборудованием теплоподготовительных установок являются водоподогреватели (часто называемые бойлерами). Применяют водоподогреватели для нагрева в котельных с паровыми котлами воды, подаваемой в тепловые сети, водопроводной воды, поступающей в водоподготовительные установки, и для других целей, а также для подогрева воды в тепловых пунктах потребителей.

Водоподогреватели различают: по греющему теплоносителю (пароводяные и водоводяные), по расположению (горизонтальные, вертикальные), по устройству (трубчатые, кожуховые), по числу ходов нагреваемой воды (одноходовые, многоходовые), по емкости нагреваемой воды (скоростные, емкостные), по количеству секций (однокорпусные, многокорпусные или секционные), по характеру нагрузок (основные, пиковые), по взаимному направлению греющей и нагреваемой среды (прямоточные и противоточные). Водоводогрейные подогреватели применяют в водогрейных котельных и в тепловых пунктах систем теплоснабжения. Емкостные подогреватели устанавливают на объектах с неравномерным потреблением воды (например, в душевых).

Для изготовления поверхностей нагрева водоподогревателей чаще всего применяют латунные трубы. Высокая стоимость латунных труб оправдана большей устойчивостью против коррозии и более длительным сроком их службы. Наружная поверхность корпуса водоподогревателей, как и других теплообменных аппаратов, должна быть покрыта тепловой изоляцией, если температура греющей среды в них превышает 60 °С. Водоподогреватели должны быть оснащены термометрами и манометрами для контроля температуры и давления воды, пара. Для контроля за уровнем конденсата в корпусах пароводяных подогревателей предусматривают указатели уровня.

Редукционно-охладительные установки. Применяют для снижения давления (редуцирования) и температуры перегретого пара и превращения перегретого пара в насыщенный. Установки состоят из редукционного клапана, охладителя пара, трубопровода редуцированного пара с предохранительными устройствами и приборов регулирования давления и температуры. В редукционном клапане происходит первое снижение давления пара, а дальнейшее снижение давления и температуры происходит в пароохладителе, куда под давлением впрыскивается вода. Существуют также только редукционные установки или только охладительные установки.

Системы питания котлов. Для перемещения воды по всем трубопроводам тепловой схемы котельной и в тепловых сетях применяют центробежные насосы, приводимые в действие электродвигателями. На питательных линиях паровых котлов, чтобы обеспечить надежность их работы, устанавливают не менее двух насосов с различными источниками питания: один от электрического привода, а другой — паровой (поршневой) насос.

Центробежные насосы в зависимости от числа рабочих колес бывают одноступенчатые и многоступенчатые. Насосы нагнетают воду и повышают ее давление (напор), благодаря центробежной силе, возникающей при вращении колес. В одноступенчатом насосе рабочее колесо, на котором имеются изогнутые лопатки, помещено в кожух улиткообразной формы. Вода поступает через приемный патрубок в центр рабочего колеса, при вращении которого она отбрасывается к стенкам корпуса и подается к выходному патрубку. Для котлов высокого давления применяют многоступенчатые питательные насосы, в которых имеются 3—12 рабочих колес (ступеней). Насосы, у кото-

рых вал рабочего колеса опирается на подшипники только одним концом, называются консольными. Вал многоступенчатого насоса опирается на два подшипника, охлаждаемые водой.

Паровые прямодействующие насосы состоят из паровой и водяной частей. Паровая часть включает в себя: два цилиндра; два поршня с поршневыми штоками; золотниковые коробки, в которые поступает пар, с золотниками. Золотники связаны штоком и передаточным механизмом со штоками поршней. Водяная часть включает в себя: два водяных цилиндра, плунжеры, клапанные коробки с всасывающим и нагнетательным клапанами. Штоки плунжеров связаны со штоками поршней.

При поступлении пара через золотники происходит возвратно-поступательное движение поршней, что приводит к такому же перемещению плунжера. При этом происходит всасывание воды через всасывающий клапан и нагнетание воды через нагнетательный.

Давление, создаваемое питательным насосом, должно обеспечить поступление воды в котел при давлении, соответствующем полному открытию рабочего предохранительного клапана, установленного на котле, с учетом всех сопротивлений в питательном трубопроводе за насосом. Перед каждым питательным насосом и за ним должны быть запорные органы. На напорном трубопроводе центробежного насоса устанавливают обратный клапан.

Система питания котлов помимо насосов включает баки конденсата и питательные емкости, а также питательные трубопроводы; в котельных малой паропроизводительности — баки конденсата и баки-аккумуляторы деаэраторов. Питательные емкости располагают на 5—8 м выше уровня питательных насосов, чтобы последние всегда находились «под заливом».

В водогрейных котельных устанавливают не менее двух подпиточных и не менее двух циркуляционных насосов (в системах с принудительной циркуляцией). Давление перед подпиточными насосами и за ними, а также давление за циркуляционным насосом, не должно быть меньше давления, которое соответствует температуре воды в данном месте, чтобы избежать ее вскипания.

В качестве резервного источника питания котлов с давлением не более 4 кгс/см^2 и паропроизводительностью не более 1 т/ч разрешается использовать водопровод, если давление в нем у места присоединения к котлу пре-

вышает рабочее давление в котле не менее чем на 1,5 кгс/см².

Для питания паровых котлов с давлением не более 4 кгс/см² и паропроизводительностью не более 150 кг/ч, а также для небольших отопительных котельных допускается применение насосов с ручным приводом. Периодичность подпитки зависит от местных условий: протяженности и плотности трубопроводов, плотности отключающей и регулирующей арматуры систем отопления и трубопроводов котельной.

Инжекторы. Применяют для питания паровых котлов небольшой мощности водой с температурой не выше 40 °С.

В инжекторах различных конструкций (а также в водоструйных насосах — элеваторах, применяемых в системах отопления) используется кинетическая энергия струи пара (или воды), выходящей с большой скоростью из сопла. Вокруг сопла создается разрежение, и вода засасывается в инжектор. Далее вода поступает в смесительный конус, где пар перемешивается с водой и конденсируется, нагревая при этом воду. Высота засасывания воды не более 2 м.

Расход пара на работу инжектора составляет около 8% от паропроизводительности котла, однако теплота пара почти полностью расходуется на нагрев воды и возвращается в котел.

5.4. ОТВОД ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ. ПОДАЧА ВОЗДУХА

Естественная тяга. Работа котлов определяется условиями поступления воздуха к газовым горелкам и отвода продуктов сгорания в атмосферу. В зависимости от конструкции горелок воздух может поступать в топку при наличии в ней разрежения, т. е. давления ниже атмосферного, или подаваться дутьевым вентилятором.

Поддержание в топке давления ниже атмосферного обеспечивает поступление всего необходимого для горения газа воздуха при использовании горелок диффузионного типа или только вторичного воздуха при использовании инжекционных горелок низкого давления. Кроме того, разрежение в топке исключает возможность выхода продуктов сгорания в помещение котельной через неплотности в обмуровке, запальные отверстия, гляделки.

При недостаточном разрежении в топку будет поступать воздуха меньше необходимого его объема, что может

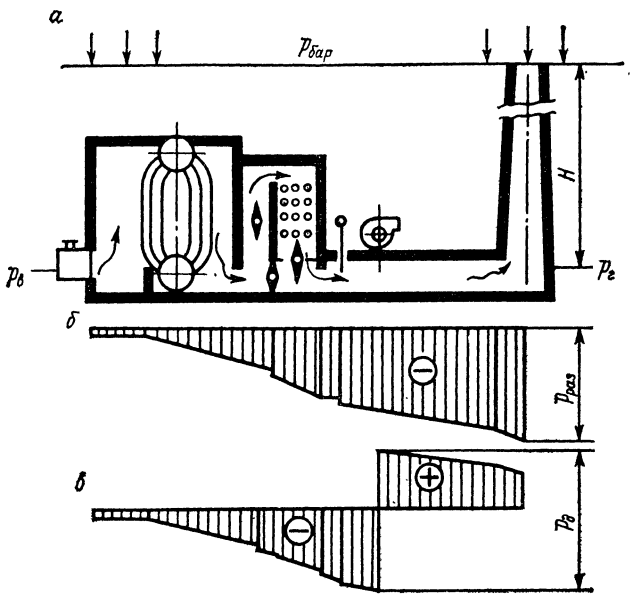


Рис. 5.3. Изменение разрежения в газовом тракте.
а — схема газового тракта; *б* и *в* — эпюры разрежения при естественной тяге ($p_{раз}$) и при работе дымососа ($p_д$).

явиться причиной химической неполноты сгорания и выброса продуктов сгорания в котельную. Избыточное разрежение приводит к поступлению в топку и в газоходы котла через неплотности в обмуровке излишнего количества воздуха. В ряде случаев избыточное разрежение является причиной отрыва или срыва пламени горелок, что приводит к неполноте сгорания газа, или к заполнению топки и газоходов газовоздушной смесью и к взрыву.

Для нормальной работы горелок в топке следует поддерживать разрежение, которое для данного котла указывается в режимной карте, составленной наладочной организацией по результатам испытаний. Исключением являются выпускаемые в последние годы котлы с наддувом, в топках которых давление выше атмосферного. Наружная обшивка таких котлов должна обеспечивать полную их герметизацию.

В котельных малой мощности при отсутствии хвостовых поверхностей нагрева разрежение в топке и перемеще-

ние отходящих газов обеспечиваются естественной тягой. В случаях, когда естественная тяга оказывается недостаточной, что определяют соответствующим расчетом, применяют искусственную (механическую) тягу.

Удаление по вертикальным каналам дымовых газов или воздуха за счет естественной тяги широко применяется в зданиях различного назначения. При соблюдении определенных условий естественная тяга обеспечивает отвод продуктов сгорания по газоходам и дымовым трубам котельных. Физическую сущность естественной тяги можно понять из рис. 5.3.

На уровне устья трубы атмосферное давление равно $p_{бар}$. На уровне расположения газовых горелок давление в дымовой трубе $p_г$ будет больше $p_{бар}$ на давление вышележащего столба горячих отходящих газов, а давление наружного воздуха $p_в$ — на давление такого же столба холодного воздуха. Так как отходящие газы имеют более высокую температуру и плотность их $\rho_{г.\,ср}$ меньше плотности воздуха $\rho_в$, то давление $p_в = p_{бар} + \rho_в H$ будет больше $p_г = p_{бар} + \rho_г H$. Тяга, создаваемая дымовой трубой, определяется ее высотой и разностью плотностей наружного воздуха и отходящих газов:

$$S_{тр} = H(\rho_в - \rho_г)\frac{p_{бар}}{760} = H\left(\frac{273}{273 + t_в}\rho_0 - \right.$$

$$\left. - \frac{273}{273 + t_{г.\,ср}}\rho_г\right)\frac{p_{бар}}{760},$$

где H — высота трубы, м; $\rho_в$ и $\rho_{г.\,ср}$ — плотность наружного воздуха при расчетной температуре и отходящих газов (по среднему значению их температуры), кг/м³; ρ_0 и $\rho_г$ — то же, при 0 °С и 760 мм рт. ст.; $t_в$ и $t_{г.\,ср}$ — расчетная температура воздуха и средняя температура отходящих газов, °С; $p_{бар}$ — атмосферное давление, мм рт. ст.

Если принять с некоторым допущением, что плотность отходящих газов при 0 °С и 760 мм рт. ст. равна плотности воздуха (1,293 кг/м³), то формула примет вид

$$S_{тр} \approx \frac{H}{2{,}15}\left(\frac{1}{273 + t_в} - \frac{1}{273 + t_{г.\,ср}}\right)p_{бар}.$$

Как видно из приведенной формулы, значение естественной тяги зависит от высоты трубы, температур наружного воздуха и отходящих газов: чем больше высота трубы, выше температура отходящих газов и чем ниже

температура наружного воздуха, тем больше естественная тяга.

Температуру отходящих газов при расчете тяги определяют как среднее арифметическое значение температуры газов на входе и выходе трубы. Температура на входе в трубу зависит от типа и количества работающих котлов, чистоты поверхностей нагрева, наличия «хвостовых» поверхностей и составляет 150—400 °С.

При равной высоте кирпичной и металлической трубы, одинаковых температурах наружного воздуха и отходящих газов у основания труб естественная тяга в металлической трубе будет меньше, так как в ней газы охлаждаются сильнее, чем в кирпичной.

Тяга должна быть больше суммы сопротивлений на отдельных участках газового тракта. Сопротивление участка газового тракта равно разности значений разрежения в конце и в начале этого участка по ходу газов. Как видно из примерного графика, приведенного на рис. 5.3, *б*, разрежение в газовом тракте при естественной тяге увеличивается от топки к трубе.

В зависимости от конструкции газовых горелок разрежение в топках поддерживают в пределах 1—3 кгс/м^2. В топках с большой высотой может иметь место явление самотяги, при котором разрежение в верхней части топки меньше, чем в нижней, и может оказаться близким к атмосферному. Поэтому контролировать разрежение во время работы котла следует именно в этой части топки. Явление самотяги оказывает влияние на движение потока газов в вертикальных газоходах: в подъемных каналах самотяга облегчает, а в опускных затрудняет движение газов.

На работу дымовой трубы могут оказывать влияние высокие строения, деревья или сооружения, расположенные выше линии, проведенной через верх трубы под углом 45° к горизонтали. Такие преграды для потока воздуха, направленного в их сторону, способствуют созданию положительного давления (ветрового подпора) в зоне расположения трубы, что будет препятствовать отводу газов.

Изменения естественной тяги возможны из-за повышения или понижения температуры отходящих газов, а также из-за колебания температуры и барометрического давления наружного воздуха. Понижение температуры отходящих газов может быть вызвано присосами в га-

зоходы холодного воздуха через неплотности в обмуровке котла и стенки газоходов. Причиной понижения температуры может также служить наличие влаги в сборном газоходе, на испарение которой расходуется теплота отходящих газов. Влага в сборный газоход может попасть при высоком стоянии грунтовых вод, при нарушении плотности в подземных водопроводно-канализационных сетях.

В отопительных котельных, особенно в осенне-весенний период, когда выработка тепла незначительна, а объем и скорость отходящих газов на выходе из дымовой трубы уменьшаются, возможны явления задувания ветром газового потока. Это также может привести к неустойчивому режиму разрежения в топке.

Искусственная тяга. Удаление отходящих газов с помощью дымососа называется искусственной тягой прямого действия. Дымососы бывают: общие — для всех котлов котельной, групповые — для отдельных групп котлов, индивидуальные — для отдельных котлов. Последние по условиям регулирования их работы при изменении производительности котла являются более желательными. Часть тракта, расположенная перед дымососом по ходу газов, находится под разрежением, а за дымососом — под избыточным давлением.

Если котлы имеют хвостовые поверхности нагрева, сопротивление по газовому тракту может достигать 100 кгс/м^2. Подбирают требуемый для данной установки дымосос по расчетному объему отходящих газов и по необходимому давлению, с учетом естественной тяги, создаваемой дымовой трубой.

В случаях, когда применение дымососов по каким-либо причинам невозможно или нежелательно, используют устройства искусственной тяги непрямого действия. К ним относятся эжекторы, состоящие из расширяющегося конуса (диффузора) и находящегося в центре этого конуса сопла. Эжектор располагают у основания трубы, а в сопло подают воздух под давлением или пар, инжектирующие отходящие газы. Экономически такие установки неоправданны.

Принудительная подача воздуха. Расчетное количество воздуха, подачу которого должен обеспечить дутьевой вентилятор, определяют по расчетному количеству газового топлива, расходу воздуха на сжигание 1 м^3 топлива и принятому коэффициенту избытка воздуха.

Давление, которое должен обеспечить вентилятор, зависит от типа горелок. В котлах с наддувом дутьевой вентилятор должен преодолеть сопротивление воздушного и газового трактов.

Дутьевые вентиляторы должны забирать воздух из верхней зоны помещения. В холодное время года при необходимости часть воздуха должна поступать к вентилятору через воздухозаборную шахту снаружи. Регулируют подачу холодного воздуха предусмотренным для этого перекидным клапаном. У дутьевых вентиляторов, не имеющих патрубков для забора воздуха, всасывающие отверстия должны быть защищены проволочными сетками с размером ячеек от 30×30 до 50×50 мм из проволоки диаметром 1,5—2 мм.

Газовые тракты. Газовый тракт включает в себя: топку, газоходы котла (экономайзера, пароперегревателя, если они имеются); сборный газоход (боров); дымовую трубу; отключающие устройства (шиберы, заслонки).

Газоходы за пределами котлов и сборные газоходы котельной могут быть подземными и наземными (кирпичные) и надземными (металлические). Применение надземных газопроводов допускается в виде исключения. Они бывают, как правило, круглого сечения и имеют компенсаторы для восприятия температурных удлинений.

Выкладывают газоходы из красного кирпича I сорта на цементном и известково-цементном растворе или изготавливают из жаростойкого бетона, а в отдельных случаях делают металлические. Стены подземных сборных каналов должны быть толщиной в 1—1,5 кирпича, а наземных в 1,5—2 кирпича; своды устраивают толщиной в 1 кирпич. Дно канала выстилают двумя рядами кирпича. Каналы прокладывают с подъемом в направлении к трубе не менее 2 см на 1 м длины. Каналы футеруют шамотным класса В полукислым и тугоплавким кирпичом толщиной в 0,5 кирпича на растворе из огнеупорной глины с шамотом или кварцевым песком. Перевязывают футеровку с кладкой через 6—7 рядов, укладывая тычком кирпичи футеровки. Стены каналов с внутренней стороны должны быть гладкими, без выступов и острых граней.

В газоходах не должно быть неплотностей, зауженных сечений, выхода газов в сборный газоход в противоток основному потоку, крутых поворотов с острыми углами, резких изменений сечения, бездействующих ответвлений,

застойных (мертвых) зон, в которых могут образовываться «газовые мешки».

Для регулирования разрежения в топках котлов небольшой производительности на прямом участке горизонтального газохода на расстоянии не ближе 250 мм от задней стенки котла устанавливают шиберы (заслонки). Управление шиберами выводится к фронту котлов, где предусмотрена возможность фиксирования их в нужном положении при регулировании тяги и имеются указатели положения «Открыто», «Закрыто». Конструкция управления шиберами должна обеспечивать легкое и плавное регулирование разрежения. В чугунных секционных котлах для этой цели применяют противовесы, которые должны соответствовать массе шибера. Трос управления должен иметь такую длину, чтобы при полном открытии шибера противовес мог находиться на полу, что исключало бы возможность полного извлечения шибера из газохода.

Шибер устанавливают в рамке соответствующего размера, которая плотно вмазывается в кладку газохода. Наружная щель рамки, через которую выдвигается полотно шибера, закрывается чехлом из кровельной стали, чтобы уменьшить присос воздуха.

Правилами безопасности предусматривается постоянное вентилирование топки с целью предотвращения скопления в ней газовоздушной смеси в периоды остановки котла. Для этого в шиберах за котлом делают отверстия диаметром не менее 50 мм. Для возможности надежного отключения в шиберах, устанавливаемых на обводных газоходах дымососов и экономайзеров, отверстия делать не следует.

Воздушные тракты. Воздушные тракты, по которым поступает воздух к некоторым типам горелок, или воздушные тракты вентиляции котельной включают в себя: воздухозаборные устройства, магистральные и распределительные воздуховоды, воздухоподогреватели, воздуховыпускные устройства, регулирующие и отключающие устройства.

Воздухоприемные устройства в системах с механическим побуждением располагают на высоте не менее 2 м от уровня земли или над кровлей здания, в местах, где нет технологических выбросов и воздух не содержит вредных примесей.

Воздуховоды для перемещения воздуха с температурой менее 80 °С и относительной влажностью более 60% изго-

тавливают из оцинкованной тонколистовой стали. Для этой цели применяют также бетонные и железобетонные блоки, трубы и короба из влагостойких строительных материалов. Надземные воздуховоды изготавливают, как правило, из стали. При диаметре воздуховода от 440 до 1025 мм толщина стали должна быть равна соответственно 0,57—1 мм. Воздуховоды не должны иметь поперечных стыковых соединений в толще пересекаемых ими стен, перегородок, перекрытий зданий. Зазоры между воздуховодом и пересекаемой конструкцией должны быть заделаны несгораемым материалом.

Отдельные звенья металлических воздуховодов и фасонные части к ним соединяют с помощью фланцев, изготовленных из полосовой или угловой стали и скрепленных болтами. В качестве прокладок между фланцами применяют пряди смоляного каната или шнурового асбеста. Для защиты от коррозии стальные воздуховоды окрашивают масляной краской или антикоррозионным покрытием.

Воздуховоды закрепляют с помощью подвесок, хомутов и кронштейнов, заделанных в балки перекрытия или стены. Участки воздуховодов, примыкающие к вентилятору, необходимо крепить таким образом, чтобы нагрузка от них не передавалась на вентилятор. Присоединяют воздуховоды к вентилятору через мягкие вставки (виброизоляционные патрубки).

Устройство вентиляторов. Машины, применяемые для перемещения воздуха или продуктов сгорания, называются вентиляторами. По принципу работы вентиляторы делятся на радиальные (центробежные) и осевые. По условиям применения вентиляторы бывают: обычного исполнения (для перемещения чистого или малозапыленного воздуха); антикоррозионного исполнения (с применением материалов, стойких против действия агрессивных газов); взрывобезопасного исполнения (с применением материалов, исключающих возможность искрения при взаимном трении или ударов его частей во время работы); пылевые (с применением материалов повышенной огнестойкости).

Радиальный вентилятор состоит из спиралеобразного кожуха (улитки), имеющего входной и выходной патрубки, ротора (рабочего колеса) и станины с валом и подшипниками. На роторе закреплены лопатки, расположенные радиально, загнутые вперед или назад. Вентиляторы с лопатками, загнутыми вперед, создают большее давление, но имеют несколько меньший КПД и вызывают боль-

ший шум, чем вентиляторы с лопатками, отогнутыми назад. Имеются вентиляторы с двумя входными патрубками (двустороннего всасывания).

Перемещение газов (воздуха) обеспечивается вращением ротора, соединенного с электрическим двигателем. Ротор должен вращаться в сторону раскручивания спирали кожуха. Воздух, пройдя входной патрубок, попадает в межлопаточные каналы и под действием центробежной силы перемещается к корпусу вентилятора и направляется к выходному патрубку.

По направлению вращения, если смотреть со стороны патрубка всасывания (в вентиляторах двустороннего всасывания — со стороны патрубка, свободного от привода), вентиляторы бывают правого вращения, когда ротор вращается по часовой стрелке, и левого вращения, когда ротор вращается против часовой стрелки (Пр или Л). Ротор соединяют с двигателем следующими способами: общим валом (исполнение 1); с помощью соединительной муфты, если частоты вращения вентилятора и двигателя совпадают (исполнение 3); через ременную передачу — если не совпадают (исполнение 6).

У радиальных вентиляторов, предназначенных для перемещения продуктов сгорания, называемых дымососами и обозначаемых буквами Д или ДН, в отличие от дутьевых вентиляторов (ВД или ВДН) увеличена толщина лопаток, а корни лопаток усилены накладками. Внутренняя поверхность улитки дымососа обложена броневыми листами, которые можно заменять по мере их износа, а подшипники имеют водяное охлаждение.

Осевой вентилятор представляет собой лопаточное колесо, насаженное на ось электродвигателя и расположенное в цилиндрическом кожухе (обечайке). Лопатки бывают симметричного и несимметричного профиля. Количество воздуха, перемещаемое вентилятором с лопатками симметричного профиля, не зависит от направления вращения колеса. Вентиляторы с лопатками несимметричного профиля имеют более высокие технические характеристики. При этом тупые кромки лопаток должны быть направлены вперед.

Осевые вентиляторы, сравнительно простые по конструкции, обеспечивают перемещение большого количества воздуха, но при низком давлении в системе. Недостатком этих вентиляторов является также значительный шум, создаваемый ими во время работы.

Крышные вентиляторы отличаются вертикальным расположением оси, имеют короткий патрубок и бывают радиального или осевого типа. Их устанавливают непосредственно на кровле (перекрытии) производственных помещений (исполнение 8).

Во время движения поток газов или воздуха преодолевает трение о стенки каналов, сопротивление движению потока на поворотах, в местах изменения сечения канала и установки шиберов и т. д. Общее сопротивление газового или воздушного тракта зависит от его длины и шероховатости внутренних поверхностей стенок, наличия поворотов, тройников, где сливаются или расходятся потоки, переходных патрубков от вентиляторов к каналам. Сопротивление тракта преодолевается давлением, создаваемым вентилятором.

Основными характеристиками тягодутьевых машин являются: полное давление, кгс/м^2; подача, м^3/ч; КПД, %; мощность электродвигателя, кВт. Полное давление, создаваемое дымососом $H_д$ или вентилятором $H_в$, равно сумме значений разрежения на входе в вентилятор и давления на выходе из него; подача соответствует объему газа (воздуха), проходящего через вентилятор за 1 ч; КПД показывает, какая часть потребляемой мощности полезно расходуется на работу вентилятора. Для современных вентиляторов КПД составляет 65—70%.

Подача и давление, которые могут быть обеспечены вентилятором, зависят от его размеров, конструктивных особенностей, частоты вращения рабочего колеса (числа полных оборотов в минуту). Основным размером вентилятора является диаметр рабочего колеса, который указывают в обозначении типа вентилятора. Например, у вентилятора ВД-12 или Д-12 диаметр рабочего колеса равен 1200 мм. Необходимый тип вентилятора и электродвигателя к нему определяют по специальным таблицам или графикам в соответствии с расчетной подачей и необходимым полным давлением.

Для регулирования подачи тягодутьевых машин применяют осевые направляющие аппараты. Устройство состоит из нескольких лопаток, поворачиваемых под различным углом с помощью общего кольца. При этом меняется поперечное сечение канала, а следовательно, и объем перемещаемой среды. Положение лопаток должно быть таким, чтобы поток газа (воздуха) до входа его в машину закручивался в направлении вращения ротора.

Устанавливают тягодутьевые машины на отдельные или общие с электродвигателями фундаменты. Для того, чтобы вибрация вентиляторов не передавалась воздуховодам, предусматривают следующие конструктивные решения: вентиляторы с воздуховодом соединяют короткими вставками из плотной прорезиненной ткани; для фланцевых соединений металлических воздуховодов применяют прокладки из резины или асбестового картона; между фундаментом и опорами вентилятора и двигателя устанавливают виброизолирующие прокладки заводского изготовления; между фундаментом и грунтом или полом котельной оставляют пространство не менее 50 мм, заполненное упругим неорганическим материалом.

5.5. ВЕНТИЛЯЦИЯ КОТЕЛЬНЫХ

Общие сведения. Устройства вентиляции должны обеспечивать организованное поступление в котельную воздуха, необходимого для горения газа, а также требуемый постоянный воздухообмен в котельном зале. Различают системы естественной вентиляции, в которых отвод воздуха осуществляется с помощью дефлекторов, и системы искусственной (механической) вентиляции, движение воздуха в которых обеспечивается вентиляторами.

Количество воздуха, которое требуется для вентилирования котельного зала, определяют расчетом исходя из избытков явной теплоты. Эта величина равна разности теплоты, поступающей в котельный зал от котлов, сборного газохода, вспомогательного оборудования и расхода теплоты на нагрев воздуха, поступающего в котельный зал, а также на потери через строительные конструкции. По действующим в настоящее время требованиям, температура внутреннего воздуха котельного зала должна быть не ниже 19 °С.

Количество воздуха, которое следует подавать за 1 ч в котельную, встроенную в жилые и общественные здания, должно быть не менее трех объемов котельного зала (по внутреннему обмеру, исключая объем котлов и оборудования), т. е. не менее трехкратного воздухообмена. Это же требование предъявляется к помещениям, соединенным с котельным залом открытым проемом, если через это помещение проложен газовый ввод.

При естественной приточной вентиляции наружный холодный воздух поступает в котельную через жалюзий-

ные решетки с неподвижными жалюзи. Устанавливают решетки за котлами, желательно на высоте не менее 4 м, в удалении от постоянных рабочих мест персонала. Скорость движения, температура и влажность воздуха в рабочем месте должны соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям.

В необходимых случаях предусматривают искусственную приточную вентиляцию с подогревом воздуха в зимнее время.

Место расположения приемного патрубка должно исключать возможность подачи в котельную воздуха, загрязненного дворовыми или кухонными запахами. Удалять воздух из помещений котельной можно через оконные фрамуги верхнего света или фонари, вытяжными шахтами незадуваемого типа, осевыми вентиляторами крышного типа. Наиболее часто для этой цели применяют дефлекторы.

Устройство искусственной вытяжки воздуха из помещения допускается только при наличии одновременного искусственного притока. Электродвигатели и пусковая аппаратура вытяжных вентиляторов, установленных в отопительных котельных, встроенных в здания, должны быть взрывозащищенными. Конструкция вентиляторов не должна допускать возможность искрообразования.

Эффективность вентиляции следует проверять после проведения наладочных работ, а в отопительных котельных — ежегодно, после начала отопительного сезона. Излишний воздухообмен приводит к ухудшению санитарно-гигиенических условий для эксплуатационного персонала (снижение температуры воздуха, повышение скорости его движения). Недостаточный приток воздуха может создать в котельной небольшое разрежение, что приведет к нарушению работы диффузионных и инжекционных горелок, неполноте сгорания газа и выбиванию продуктов сгорания из топки в котельный зал.

Дефлекторы. Устройства, предназначенные для удаления воздуха, называют дефлекторами. Применяемые в настоящее время дефлекторы типа Т состоят из патрубка с расширенной верхней частью и цилиндра, диаметр которого в 2 раза больше диаметра патрубка. Выпускают дефлекторы с патрубками диаметром от 200 до 1250 мм. Объем воздуха, удаляемого при благоприятных условиях, составляет для дефлекторов большого диаметра 10—15 тыс. $м^3/ч$.

Дефлектор работает под воздействием гравитационного и ветрового давления. Гравитационное давление (по аналогии с тягой в дымовой трубе) вызывается разностью давления наружного (холодного) и внутреннего (теплого) воздуха. При равенстве температур внутреннего и наружного воздуха гравитационное давление отсутствует. Влияние ветра заключается в том, что воздушный поток, омывая дефлектор, создает за ним зону разрежения; благодаря чему и происходит отвод воздуха из помещения, на котором установлен дефлектор.

Количество и типоразмеры дефлекторов зависят от объема удаляемого воздуха, а места расположения — от размеров (в плане) котельного зала. В связи с изменением условий воздухообмена дефлекторы отдельно стоящих и встроенных котельных должны иметь регулирующие клапаны, управление которыми должно быть выведено в зону, доступную для эксплуатационного персонала. Чтобы обеспечить однократный воздухообмен даже при отсутствии явной теплоты, один из дефлекторов должен быть без регулирующего клапана.

Глава 6
СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ КОТЕЛЬНЫХ

6.1. УСТРОЙСТВО ГАЗОПРОВОДОВ

Общие сведения. Газопроводы, входящие в систему газоснабжения населенного пункта, классифицируют по следующим признакам:

— месторасположение — уличные, внутриквартальные, дворовые, межцеховые, внутренние (расположенные внутри зданий и помещений);

— положение относительно поверхности земли — подземные, надземные, наземные (без обвалования);

— назначение в системе газоснабжения — распределительные, вводы, вводные, продувочные, сбросные, импульсные;

— давление газа, кгс/см² — низкого (до 0,05), среднего (свыше 0,05 до 3), высокого II категории (свыше 3 до 6), высокого I категории (свыше 6 до 12).

Распределительные газопроводы — наружные газопроводы, обеспечивающие подачу газа от источника газоснабжения до газопроводов-вводов, а также газопроводы высокого и среднего давления, предназначенные для подачи газа к одному объекту (промышленные предприятия, котельные и т. п.).

Вводы—газопроводы от места присоединения к распределительному газопроводу до отключающего устройства на вводе. Вводные газопроводы — участки от отключающего устройства на вводе (при установке последнего снаружи здания) до внутреннего газопровода, включая газопровод, проложенный в футляре через стену здания.

Котельные, расположенные в отдельно стоящих зданиях и в одноэтажных пристройках к производственным зданиям, могут снабжаться газом с давлением до 6 кгс/см². Котельные, встроенные в здания коммунальных и сельскохозяйственных предприятий (бани, фабрики-прачечные, хлебопекарни и др.), могут снабжаться газом с давлением до 3 кгс/см². В котельные, встроенные в жилые и общественные здания, ранее переведенные на газовое топливо, разрешена подача газа только низкого давления. Котлы в этих котельных должны быть с абсолютным давлением вырабатываемого пара не выше 1,7 кгс/см² или с температурой воды не выше 115 °С.

Схема газопроводов на территории предприятия зависит от взаимного расположения котельной и распределительного газопровода, наличия и характера других объектов, потребляющих газовое топливо.

Требования к трубам газопроводов и устанавливаемой на них арматуре изложены в СНиП 2.04.08—87 (Газоснабжение).

Соединение труб газопроводов, за исключением мест установки арматуры, осуществляется сваркой. При этом прочность сварных стыков должна быть не ниже прочности металла труб. Газопроводы защищают от коррозии, возникающей у подземных вследствие электрохимического взаимодействия металла с почвой (почвенная коррозия) или действия протекающих в земле электрических токов от внешних источников, как правило, электрифицированного транспорта (блуждающие токи), а у надземных — из-за воздействия атмосферы.

Подземные газопроводы. Минимальная глубина заложения, расстояния от газопровода до зданий, подземных трубопроводов, каналов и колодцев, телефонных и электрических кабелей в плане, а также дистанция по высоте — при пересечении газопроводом подземных трубопроводов, подземных и надземных кабелей, железнодорожных и трамвайных путей, дорог — определены требованиями СНиП. Эти расстояния следует соблюдать также при ремонте или перекладке указанных сооружений.

Запорные устройства подземных газопроводов располагают в колодцах, а за ними (по ходу газа) устанавливают компенсатор, который воспринимает удлинение или укорочение газопровода при температурных колебаниях, а также облегчает замену прокладок или демонтаж запорного устройства. В качестве запорных устройств на газопроводах низкого давления применяют также гидрозатворы — стальные сосуды U-образной формы. При необходимости отключения газопровода гидрозатвор заливают жидкостью (чаще всего водой), причем давление столба жидкости должно превышать давление в газопроводе не менее чем на 200 кгс/м^2.

Для удаления скапливающейся жидкости (сконденсированных водяных паров и других веществ) в наиболее низких точках газопровода устанавливают сборники конденсата.

В ряде случаев проектом предусматривается установка над газопроводом в местах расположения сварных швов контрольных («нюхательных») трубок, в которых газ собирается при негерметичности стыка. Наличие газа в трубке определяют периодически с помощью переносного прибора или по запаху. Трубки от гидрозатворов, сборников конденсата и контрольные выводятся к поверхности земли, где они предохраняются защитным колпаком (ковером). Коверы должны быть установлены на бетонное или железобетонное основание, обеспечивающее их устойчивость и исключающее просадки.

Вдоль трассы подземного газопровода должна быть предусмотрена полоса шириной по 2 м в каждую сторону, на которой запрещено складировать материалы, возводить временные постройки. Расположение газопроводов и всех подземных устройств на них обозначается настенными указателями, которые прикрепляются к стенам ближайших зданий или к специальным ориентирным столбикам.

В местах выхода из земли, пересечения каналов, коллекторов, туннелей, а также в местах пересечения фундаментов, стен, перекрытий газопроводы прокладывают в футляре из трубы большего диаметра. Пространство между футляром и трубой заполняют просмоленной пенькой и заделывают битумом, а пространство между футляром и конструкцией заделывают цементным раствором.

Надземные и наземные газопроводы. Надземные газопроводы прокладывают по отдельно стоящим опорам, эстакадам и колоннам из несгораемых материалов (газопроводы всех давлений) или по стенам производственных зданий с помещениями категории В, Г и Д по взрывной и пожарной опасности при давлении газа до 6 кгс/см^2. Расстояние по горизонтали в свету от надземных газопроводов, проложенных по опорам, и наземных до зданий и сооружений должны быть не меньше указанных в СНиП 2.04.08—87 (Газоснабжение).

Газопровод должен лежать плотно на опорах без зазоров и должен быть прикреплен при помощи хомутов. Для изоляции от металлических опорных конструкций под газопровод укладывают прокладки из полиэтилена или другого материала, равного ему по изоляционным свойствам. Приварка хомутов к газопроводу не допускается.

В определенных местах, предусмотренных проектом, газопровод должен иметь неподвижные («мертвые») опоры. Линейные удлинения, происходящие при изменении температуры воздуха, воспринимаются имеющимися на газопроводе поворотами или специально предусмотренными компенсаторами.

Совместная прокладка газопроводов с другими трубопроводами на общих опорах допускается только при наличии соответствующего проекта и при условии обеспечения возможности осмотра и ремонта каждого из трубопроводов и установленной арматуры. Для доступа к арматуре, находящейся на высоте более 2 м, устраивают постоянную металлическую площадку с лестницей.

Внутренние газопроводы. Схема внутренних газопроводов котельной зависит от количества и расположения котлов, наличия и расположения оборудования регулирования давления и узла учета расхода газа. Газопроводы прокладывают открыто с учетом удобства их обслуживания. В местах прохода людей высота от пола до низа трубы должна быть не менее 2,2 м. Допускается крепление газо-

проводов к каркасам котлов, если расчетом установлено, что прочность каркасов для этого достаточна. После монтажа, ремонта и испытания газопроводы окрашивают в желтый цвет по всей их длине или отдельными участками, концы которых окрашивают красной краской. Длина участка и ширина полос должна соответствовать диаметру газопровода.

Ответвления к отдельным котлам допускается прокладывать в бетонном полу. Борозда с уложенным в ней и покрытым противокоррозионной изоляцией газопроводом должна быть забетонирована. В местах входа и выхода газопровода из пола предусматривают футляры, концы которых должны выступать над полом не менее чем на 3 см.

Допускается прокладка газопроводов низкого и среднего давления через помещения, не связанные с использованием газа, при условии соединения труб газопроводов на сварке, отсутствии на газопроводах в этих помещениях арматуры и обеспечении круглосуточного доступа в эти помещения персонала, обслуживающего газовое хозяйство.

Минимальное расстояние между газопроводами и другими трубопроводами (воды, пара и др.), прокладываемыми параллельно, принимают исходя из условий удобства проведения их осмотров и ремонта. Расстояние от стенки газопровода до защищенного или незащищенного электропровода (или кабеля) при их пересечении должно быть не менее 100 мм, а при параллельной прокладке — не менее 400 мм.

Фланцы на трубах в местах установки арматуры выполняют приваренными с двусторонним швом. Фланцы должны иметь выточки для более плотного обжатия прокладок. Прокладки не должны выступать внутрь трубы и должны доходить до болтовых отверстий фланца. Головки болтов не должны выступать из гаек более чем на 0,5 диаметра болта.

Резьбовые соединения применяют при присоединении арматуры, горелок или приборов, имеющих муфты с резьбой, для образования разъемных соединений (сгонов). Резьба на трубах должна быть полной, без срезов и вмятин. Заканчивается резьба сбегом для более надежного уплотнения соединяемых изделий. Резьба муфт, контргаек и других деталей не должна иметь перекоса, а края соединяемых изделий в местах нарезки должны иметь канавки.

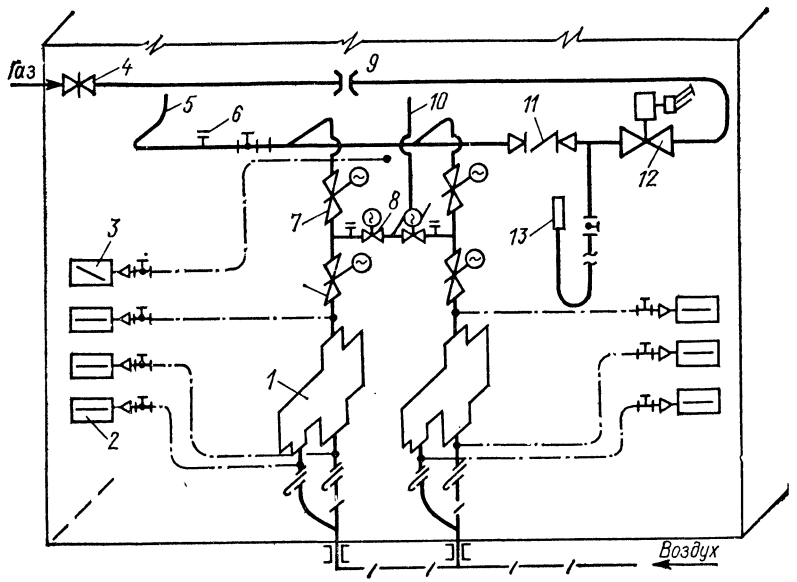


Рис. 6.1. Схема газопроводов котла.

1 — горелка с принудительной подачей воздуха; *2* — манометр; *3* — тягонапоромер; *4* — общее запорное устройство; *5* — продувочный трубопровод; *6* — штуцер с пробкой; *7* — электромагнитный клапан; *8* — клапан утечки; *9* — диафрагма для измерения расхода газа; *10* — трубопровод безопасности; *11* — устройство, регулирующее расход газа; *12* — быстродействующее запорное устройство; *13* — ручной запальник.

Описание прокладочных и уплотнительных материалов приведено в разделе 2.5.

Схемы газопроводов котлов. Подача газа к отдельным котлам осуществляется от газопровода, называемого газовым коллектором. На ответвлении от коллектора к котлу устанавливают общее на котел запорное устройство (задвижку или кран). К наиболее удаленному от ввода участку коллектора присоединен продувочный трубопровод с условным диаметром не менее 20 мм для вытеснения из газопровода воздуха перед пуском котельной и для удаления газа воздухом при длительной ее остановке. От газопровода каждого котла также предусмотрен продувочный трубопровод, присоединенный к продувочному трубопроводу коллектора. Для отбора проб на продувочном трубопроводе имеется кран с заглушкой.

Схема газопроводов котла зависит от количества и расположения горелок, способа подачи воздуха в горелки,

степени ее автоматизации и мощности. В соответствии с действующими требованиями (ГОСТ 21204—83) перед горелкой с номинальной мощностью 0,3 Гкал/ч должен быть один газовый автоматический запорный орган, перед горелкой мощностью более 0,3 до 1,7 Гкал/ч — два автоматических запорных органа, мощностью более 1,7 Гкал/ч — два автоматических запорных органа с автоматическим запорным органом утечки газа между ними и связанный с атмосферой (рис. 6.1). Орган утечки включает трубопровод безопасности при выключении запорных органов и выключает трубопровод безопасности при их включении.

На ранее смонтированных газопроводах котлов с ручным обслуживанием горелок также имеются газопроводы безопасности, присоединенные между двумя запорными устройствами перед горелкой. Штуцер с заглушкой на трубопроводе безопасности используют для периодической проверки плотности запорных устройств.

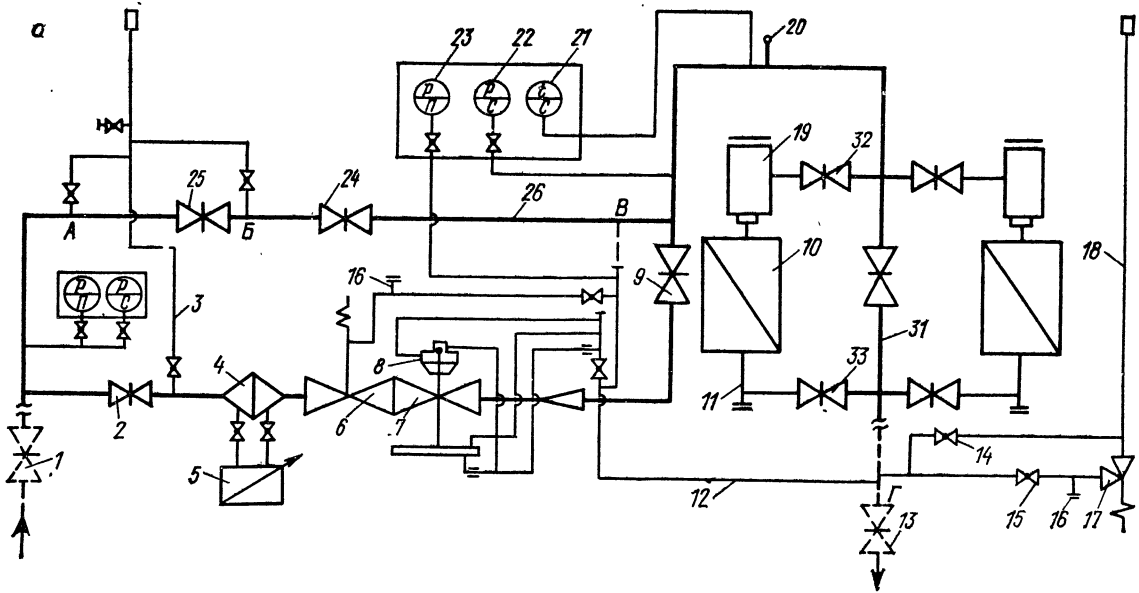
Трубопроводы продувочный и безопасности выводят на высоту не менее 1 м выше карниза крыши, в места, где обеспечено безопасное рассеивание газа. Заканчиваются трубопроводы специальным оголовком, предохраняющим от попадания в них атмосферных осадков. Допускается объединение продувочных трубопроводов с одинаковым давлением газа в общий продувочный трубопровод.

На прямом участке газопровода с соблюдением соответствующих требований (см. раздел 9.5) установлена диафрагма для измерения расхода газа на котел. Быстродействующее запорное устройство (клапан-отсекатель) обеспечивает отсечку газа при отклонении контролируемых параметров от заданных значений. Устройство, регулирующее расход газа (различного типа заслонки), обеспечивает подачу газа в соответствии с требуемым режимом работы горелок.

Перед каждой горелкой (за последним по ходу газа запорным устройством) предусмотрена установка манометров для измерения давления газа и воздуха.

6.2. НАЗНАЧЕНИЕ И ЭЛЕМЕНТЫ ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫХ ПУНКТОВ (ГРП) И ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК (ГРУ)

Снижение давления газа, поступающего из распределительного газопровода, и поддержание давления на определенном уровне, а также полное автоматическое отключе-


а
23
22
21
20
19
32
25
24
26
А
Б
В
10
9
18
16
3
31
4
8
33
11
2
6
7
14
1
5
12
15
16
17
13
Г

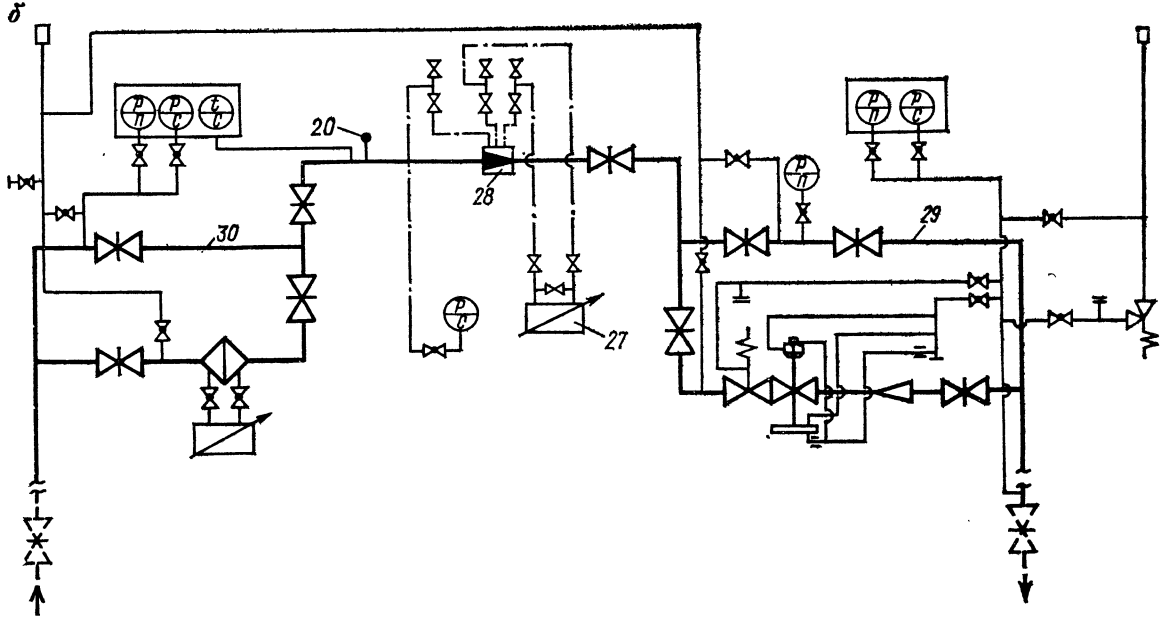


Рис. 6.2. Схема ГРП (ГРУ) с регулятором РДУК2 и измереиием расхода газа ротационными счетчиками (*а*) или сужающим устройством (*б*).

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

ние газа в необходимых случаях производятся в ГРП и ГРУ. В зависимости от значения давления газа на входном газопроводе ГРП (ГРУ) бывают высокого (свыше 3 до 12 кгс/см^2) и среднего (свыше 0,05 до 3 кгс/см^2) давления.

ГРП размещают: в отдельно стоящих зданиях; в пристройках к производственным зданиям; в помещениях, встроенных в одноэтажные производственные здания; в шкафах, устанавливаемых на несгораемой стене снаружи газифицируемого здания или на отдельно стоящих несгораемых опорах; на покрытиях газифицируемых производственных зданий; на открытых площадках, если позволяют климатические условия.

Расстояние между отдельно стоящими ГРП (включая установленные на опорах) и другими зданиями и сооружениями должны соответствовать требованиям СНиП II-89.80. Расстояние от шкафного ГРП, установленного на стене, до окна или двери по горизонтали должно быть не менее 3 м при давлении газа на входе в ГРП до 3 кгс/см^2 и 5 м при давлении до 6 кгс/см^2; расстояние по вертикали должно быть не менее 5 м.

ГРУ размещают непосредственно в помещении, где находятся газоиспользующие установки, в непосредственной близости от ввода газопровода, в освещенном и проветриваемом месте, или в смежном помещении, соединенном с ним открытым проемом.

Оборудование и устройства ГРП (ГРУ) включают в себя (рис. 6.2):

— фильтр — для очистки газа от механических примесей (пыли, окалины, грязи);

— предохранительный запорный клапан — для полного автоматического отключения подачи газа при повышении или понижении давления газа за регулятором давления сверх заданных пределов;

— регулятор давления (регулятор) — для обеспечения автоматического снижения давления газа и поддержания его значения на определенном уровне независимо от изменения расхода газа на котлы и колебаний давления на входном газопроводе;

— предохранительное сбросное устройство (ПСУ) — для сброса некоторого количества газа в атмосферу при возможных кратковременных повышениях его давления за регулятором, чтобы избежать отключения газа на котельную предохранительным запорным клапаном;

— обводной газопровод (байпас) с двумя последовательно расположенными запорными устройствами — для подачи по нему газа во время ревизии или ремонта оборудования; между запорными устройствами предусмотрен продувочный трубопровод *;

— сбросные и продувочные трубопроводы — для сброса газа в атмосферу от предохранительно-сбросных устройств и продувки газопроводов и оборудования, т. е. для освобождения их в необходимых случаях от воздуха или газа;

— средства измерений — манометры (показывающие и самопишущие) для измерения давления газа перед регулятором и за ним; термометры (показывающие и самопишущие) для измерения температуры газа;

— импульсные трубки — для соединения отдельных элементов оборудования между собой и с контролируемыми точками газопроводов, а также для присоединения средств измерений к газопроводам в контролируемых точках.

ГРП (ГРУ) могут быть двухступенчатыми, если разность между входным и выходным давлением превышает 6 кгс/см^2. В этом случае устанавливают последовательно два регулятора, а фильтр ставят только перед первым по ходу газа регулятором. В котельных с резкими колебаниями (сезонными или суточными) потребления газа предусматривают две линии регулирования.

Условный диаметр продувочного трубопровода должен быть не менее 20 мм, а сбросного — равен условному диаметру патрубка ПСУ, но не менее 20 мм.

Трубопровод от предохранительного устройства шкафного ГРП, установленного на опорах, выводят на высоту не менее 4 м от уровня земли, а при установке шкафного ГРП на стене здания — на 1 м выше его карниза.

В схемах ГРП (ГРУ), как правило, предусматривают узел учета расхода газа с газовыми счетчиками или с сужающим устройством (диафрагмой) и дифманометром-расходомером. Счетчики имеют байпас и при необходимости работы без счетчиков (ревизия, ремонт) их отключают и открывают запорное устройство на байпасе. Нормально это запорное устройство закрыто и запломбировано представителем газосбытовой организации. Отклю-

---

* Ранее между запорными устройствами требовалась установка манометра.

чение счетчиков допускается только с разрешения этой же организации.

При измерении сужающим устройством иногда прокладывают вторую линию со своим сужающим устройством, а при резко переменном расходе газа (например, в отопительных котельных) к сужающему устройству подключают два дифманометра со шкалами на соответствующие расходы газа.

6.3. РЕГУЛЯТОРЫ ДАВЛЕНИЯ

Принцип действия регуляторов. По принципу действия регуляторы бывают прямого действия без усилителей и с усилителями (пилотами) и непрямого действия. Регулятор прямого действия управляется непосредственно рабочей средой, т. е. газом. Регуляторы непрямого действия используют постороннюю энергию, осуществляющую регулирующее действие, и в зависимости от вида энергии бывают пневматические, гидравлические, электрические.

Регуляторы прямого действия без усилителей состоят из следующих основных элементов (рис. 6.3): дроссельного органа (регулирующего элемента); эластичной мембраны (чувствительного элемента); штока, связывающего дроссельный орган с мембраной; управляющего элемента, усилие которого определяет пределы регулирования дав-

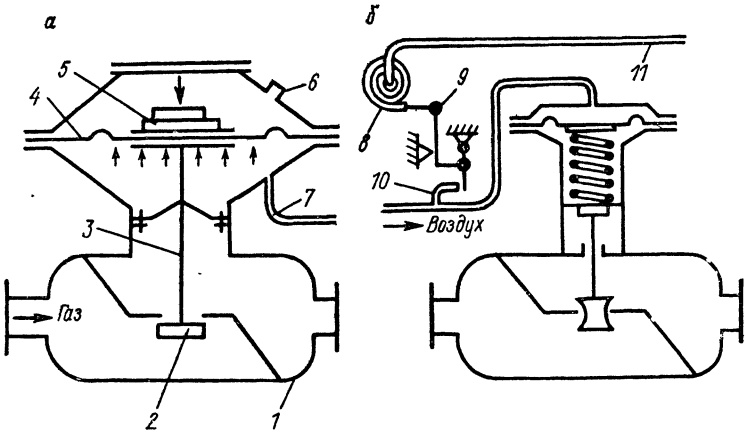


Рис. 6.3. Схемы регуляторов давления прямого (*а*) и непрямого (*б*) действия.
1 — корпус; *2* — дроссельный орган; *3* — шток; *4* — мембрана; *5* — груз (пружина); *6* — «дыхательное» отверстие; *7* и *11* — импульсные трубки; *8* — манометрическая пружина; *9* — рычажное сочленение; *10* — сопло.

ления; импульсной трубки, связывающей подмембранную полость с выходной стороной регулятора.

Дроссельный орган, в котором происходит снижение давления, представляет собой отверстие для прохода газа, перекрываемое плунжером. Плоскость, к которой прижимается плунжер клапана, называется седлом.

Регуляторы прямого действия делят на астатические и статические (пропорциональные). В астатических регуляторах управляющим элементом является груз постоянного веса. При изменении расхода газа эти регуляторы поддерживают давление в контролируемой точке $p_к$, почти точно соответствующее давлению настройки $p_н$. При этом плунжер может находиться на любом (в пределах хода) расстоянии от седла.

Регулирование давления газа происходит следующим образом. Степень открытия дроссельного органа, определяющая давление газа за регулятором, достигается установкой тарельчатых грузов определенной массы или пружины, создающей соответствующее усилие. В установившемся режиме мембрана и плунжер занимают некоторое положение. Изменение расхода газа (например, при включении или выключении части горелок) вызывает изменение давления за регулятором, которое по импульсной трубке передается в подмембранную полость. Если давление за регулятором повысилось, то мембрана, преодолевая усилие груза (пружины), а также вес плунжера и штока, приподнимется и прикроет седло; если давление газа понизилось, мембрана под действием груза опустится и приоткроет седло.

Для замедления перемещения мембраны в крышке имеется «дыхательное» отверстие диаметром 2—3 мм. При подъеме мембраны давление в надмембранной полости несколько повышается, так как скорость удаления воздуха ограничивается «дыхательным» отверстием, что противодействует резкому подъему мембраны. При снижении выходного давления резкому опусканию мембраны препятствует разрежение, образующееся в надмембранной полости из-за медленного заполнения ее воздухом.

В газовых регуляторах в качестве чувствительного элемента широко применяют мембраны, изготовленные из специальной кожи, пропитанной смесью касторового (50%) и вазелинового (50%) масел, а также из маслобензоморозостойкой протектированной листовой резины. В регуляторах небольших размеров используют мембраны из

парашютного материала или прорезиненного льняного полотна. Мембраны в большинстве конструкций регуляторов имеют форму круга, зажатого по окружности фланцами, а в центре — одним или двумя металлическими дисками. Движение мембранного привода обеспечивается за счет изменения формы гофра, т. е. изгиба мембраны. Когда усилия, действующие на мембрану с обеих сторон, равны между собой, мембрана находится в равновесии. При нарушении равенства усилий, оказываемых на мембрану, мембранный привод совершает возвратно-поступательное движение вверх или вниз и при помощи штока (или рычажного устройства) воздействует на плунжер.

В котельных, как правило, применяют регуляторы прямого действия статического типа. В них груз заменен пружиной, противодействующей силе, создаваемой выходным давлением газа на мембрану. Давление $p_к$ зависит не только от $p_н$, но и от положения плунжера относительно седла. Давление $p_к$ совпадает с $p_н$ только в случае, когда расход газа равен расходу, при котором производилась настройка.

Регуляторы прямого действия с усилителем состоят из двух узлов — клапана регулирующего и пилота. В таких регуляторах мембраны подвергаются двустороннему воздействию газа: с одной стороны давления в контролируемой точке, а с противоположной — давления газа, прошедшего через пилот. Это исключает возможность разрыва мембраны от большого одностороннего действия давления газа.

В регуляторах непрямого действия импульс давления газа передается на чувствительный элемент регулятора не непосредственно, а через промежуточное устройство. Например, в пневматическом регуляторе, схема которого приведена на рис. 6.3, *б*, в надмембранное пространство подается воздух постоянного давления, называемый командным. Давление газа через импульсную трубку приводит в действие манометрическую пружину, которая через рычажное сочленение перемещает заслонку, открывающую или закрывающую воздушное сопло. В зависимости от положения заслонки меняется давление воздуха, поступающего в надмембранное пространство, что вызывает перемещение мембраны.

Если давление за регулятором возрастает, то манометрическая пружина начинает разгибаться и отводит заслонку от сопла, через которое увеличится выход воздуха.

При этом давление воздуха над мембраной уменьшится и под действием пружины она приподнимется; одновременно приподнимется и плунжер, что приведет к уменьшению расхода газа и снижению его давления.

Каждый тип регулятора или его модификации (разновидности) характеризуются следующими данными:

— верхний (нижний) предел настройки давления — максимальное (минимальное) давление, на которое может быть настроен регулятор;

— диапазон настройки — разность между верхним и нижним пределами давления, на любое значение между которыми может быть осуществлена настройка регулятора;

— зона регулирования — разность между регулируемыми давлениями при 10 и 90% максимального расхода;

— условная пропускная способность — величина, равная расходу воды, $м^3/ч$, плотностью 1 $г/см^3$ через регулятор при номинальном ходе плунжера и перепаде давления 1 $кгс/см^2$.

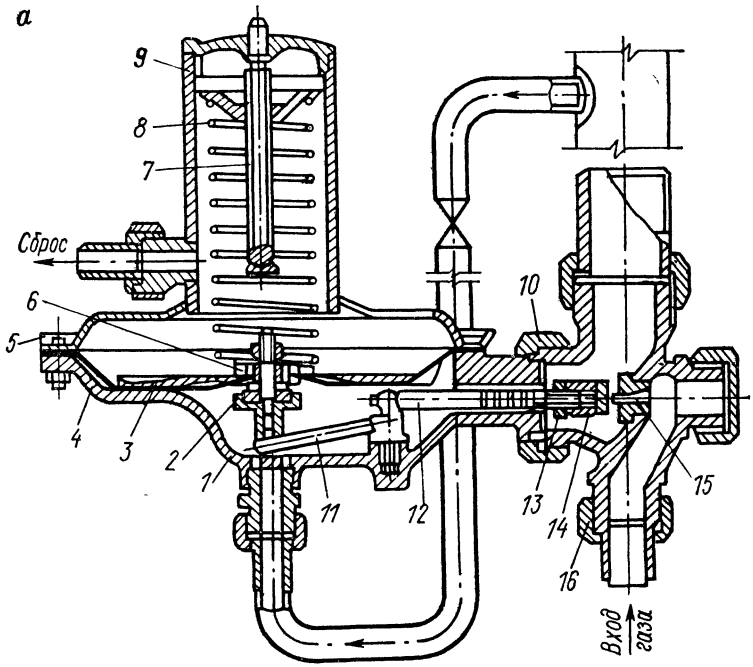
Регуляторы типа РД-32М и РД-50М. Эти регуляторы (рис. 6.4) применяют в котельных, присоединенных к газопроводам высокого или среднего давления, с относительно небольшим расходом газа низкого давления. Оба регулятора выпускают со сменными седлами и плунжерами, что позволяет подбирать пропускную способность регулятора с наибольшим приближением к требуемой (табл. 6.1). Регуляторы имеют два основных узла: мембранную камеру и чугунную крестовину.

Таблица 6.1

Максимальная пропускная способность регуляторов РД-32М и РД-50М для природного газа при прямолинейном монтаже, $м^3/ч$

Входное давление, $кгс/см^2$	Диаметр установленного седла, мм							
	РД-32М			РД-50М				
	4	6	10	8	11	15	20	25
1	13	25	45	55	112	167	270	363
3	30	55	100	117	225	375	610	—
6	53	105	—	210	382	717	—	—
12	110	—	—	390	—	—	—	—

Примечание. Выходное давление в пределах, $кгс/см^2$: 0,009—0,02 или 0,02—0,035.



Мембранная камера состоит из чугунного корпуса и крышки с колонкой, между которыми зажата рабочая мембрана. На тарелку мембраны опирается пружина, усилие которой определяет выходное давление. Под мембраной расположен рычажный механизм, преобразующий вертикальное движение мембраны в горизонтальное перемещение штока.

На конце штока на резьбе навернут плунжер с контргайкой. Меняя положение этого плунжера, можно отрегулировать наибольшее открытие седла при сборке регулятора или замене седла в крестовине. Импульсная трубка от газопровода за регулятором подведена под мембрану снизу, через штуцер-прилив в нижней части мембранной камеры. Врезают импульсную трубку на прямом участке газопровода, на расстоянии не ближе 5 диаметров газопровода от места расположения на нем поворота или крана. Настраивают регулятор на требуемое давление при помощи регулировочного винта, имеющегося в верхней части колонки. При вращении по часовой стрелке сжатие пружины ослабевает и давление настройки

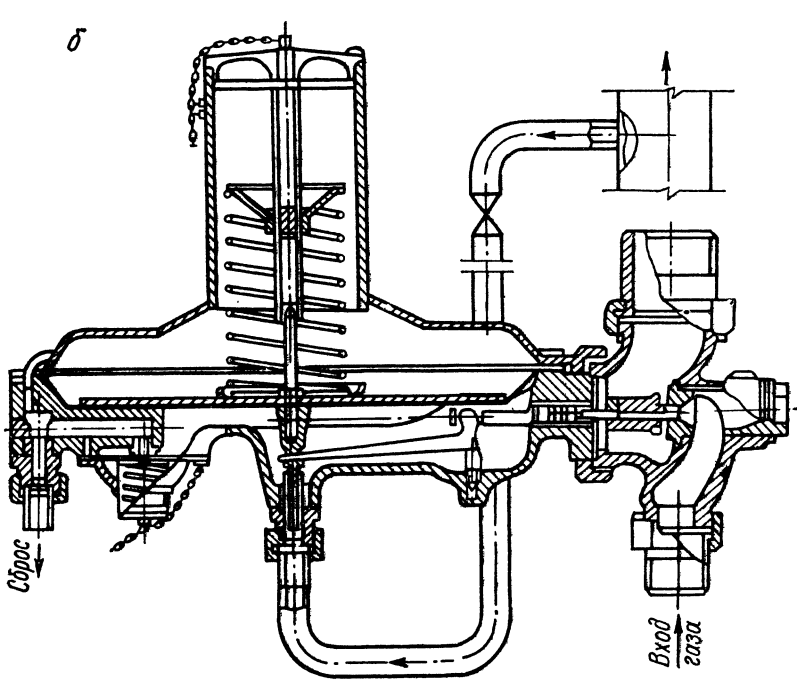


Рис. 6.4. Регуляторы РД-32М (*а*) и РД-50М (*б*).
1 — корпус привода; *2* — предохранительный клапан; *3* — тарелка мембраны; *4* — мембрана; *5* — крышка; *6* — пружина предохранительного клапана; *7* — нажимной винт; *8* — настроечная пружина; *9* — колонка; *10* — накидная гайка; *11* — коленчатый рычаг; *12* — шток; *13* — контргайка; *14* — плунжер; *15* — сменное седло (сопло); *16* — вентильный корпус.

уменьшается. Настраивать регулятор на номинальное выходное давление рекомендуется при среднем возможном расходе газа.

Работает регулятор следующим образом. Если расход газа уменьшается, давление за регулятором возрастает, что вызывает повышение давления в подмембранной полости и перемещение мембраны вверх. При этом приподнимается коленчатый рычаг, шток и плунжер начинают перемещаться вправо, приближаться к седлу, уменьшая соответственно давление газа за регулятором. Усилия пружины и газа постепенно уравновесятся, и давление за регулятором будет соответствовать заданному. В случаях, когда давление за регулятором снижается, мембрана перемещается вниз. При этом рычаг начинает оттягивать

влево шток и плунжер, давление газа за регулятором восстанавливается до заданного предела.

Для предохранения мембраны от разрыва в случаях отсутствия расхода газа и неплотного при этом отключения газопровода предохранительным запорным клапаном в рассматриваемых регуляторах предусмотрены сбросные устройства. В РД-32М это устройство расположено в центральной части мембраны, а штуцер сбросного трубопровода — в колонке над крышкой мембранной камеры. Настройку сбросного устройства на срабатывание в пределах давлений 200—400 кгс/м² производят пружиной *6*. Если давление в подмембранной полости превысит давление настройки, то мембрана приподнимется и через открывшиеся отверстия предохранительного устройства часть газа сбросится в надмембранную полость и через сбросной трубопровод в атмосферу.

У РД-50М сбросное устройство и штуцер сбросного трубопровода расположены в приливе нижней части мембранной коробки. Устройство состоит из мембраны с приклеенной к ней мягкой уплотняющей шайбой, прижатой к седлу пружиной и перекрывающей проход газу. При повышении давления сверх установленного предела (150—400 кгс/см²) мембрана, преодолевая усилие пружины, отжимается вниз и газ поступит в сбросной трубопровод.

Причиной резкого понижения или повышения давления при изменении расхода газа могут явиться: заедание штока плунжера в направляющей втулке, засорение или обмерзание седла или импульсной трубки, недостаточное или повышенное входное давление. Причиной резкого повышения давления за регулятором может также явиться разрыв мембраны. В обоих случаях регулятор следует разобрать и проверить состояние его деталей.

Регуляторы РДС. Эти регуляторы скомпонованы с пилотом РУН-1 (выходное давление 0,005—1,1 кгс/см²) или с пилотами КН2 и КВ2 (выходное давление соответственно 0,005—0,6 и 0,6—6,0 кгс/см²).

В регуляторе с пилотом РУН-1 (рис. 6.5) металлический диск мембраны регулятора с помощью рычага связан с тарельчатым плунжером. Подмембранное пространство соединено с полостью корпуса клапана через калибровочное отверстие, расположенное около разгрузочной диафрагмы. В нижнюю полость пилота постоянно поступает газ входного давления, который через трубку *6*

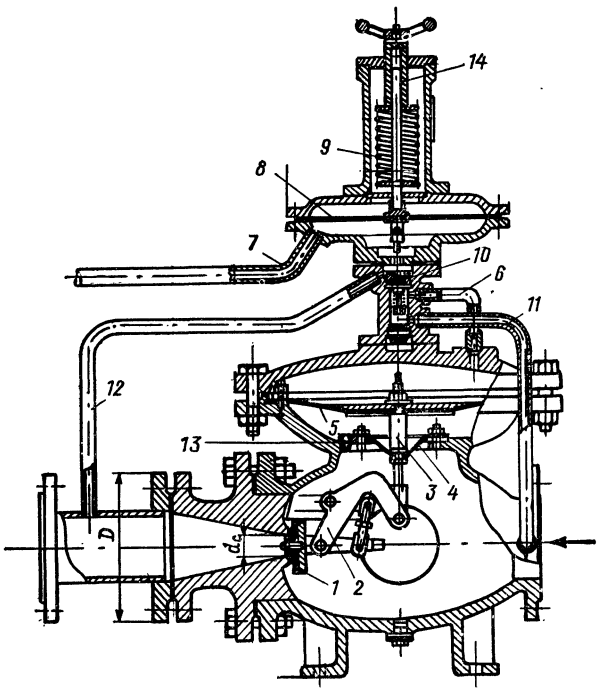


Рис. 6.5. Регулятор РДС с пилотом РУН-1.
1 — плунжер; *2* — коленчатый рычаг; *3* — шток; *4* — разгрузочная диафрагма; *5* — мембрана; *6* — трубка; *7* — импульсная трубка; *8* — мембрана пилота; *9* — пружина; *10* — золотник; *11* — трубка входного давления; *12* — сбросная трубка; *13* — калиброванное отверстие; *14* — регулировочный винт.

заполняет надмембранную полость регулятора; излишки газа по трубке *12* сбрасываются в газопровод за регулятором.

При повышении давления в контролируемой точке (уменьшение расхода газа) повысится давление под мембраной пилота, мембрана приподнимется, приподнимется также и золотник. При этом уменьшится сброс газа, давление в надмембранной полости регулятора возрастет; мембрана опустится и плунжер приблизится к седлу. Расход газа и давление в контролируемой точке уменьшатся.

При понижении давления в контролируемой точке (увеличение расхода газа) давление под мембраной пилота начнет падать. Под действием пружины мембрана и зо-

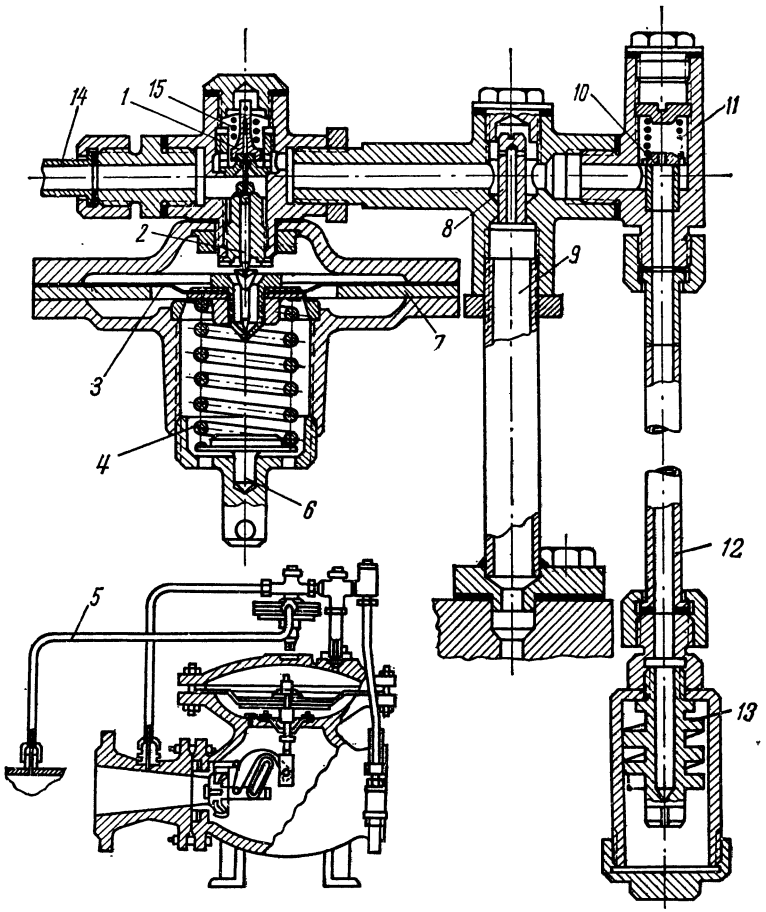


Рис. 6.6. Регулятор РДС с пилотом КВ2.

1 — плунжер; *2* — толкатель; *3* — мембрана; *4*, *11* и *15* — пружины; *5* — трубка выходного давления; *6* — регулировочный стакан; *7* — сменное кольцо; *8* — дроссель; *9* — соединительная трубка; *10* — седло с калиброванным отверстием; *12* — трубка входного давления; *13* — фильтр; *14* — трубка сброса.

лотник опустятся. Последний прикроет отверстие, через которое поступает газ входного давления, что вызывает увеличение выхода газа через трубки *6* и *12*. Давление в надмембранном пространстве регулятора уменьшится, а в подмембранном пространстве за счет газа, поступающего через отверстие *13*, возрастет. Мембрана приподнимется и плунжер отодвинется от седла.

Настраивают регулятор на заданное выходное давление с помощью регулировочного винта. Включение регулятора производят при открытом запорном устройстве за регулятором, медленно открывая запорное устройство перед регулятором.

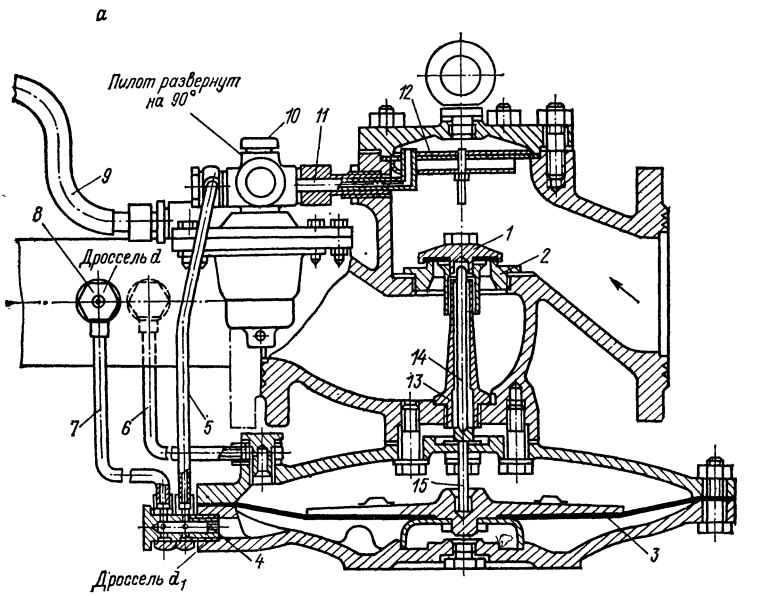
Регулятор имеет 5 модификаций по условному диаметру (РДС-80, -100, -150, -200, -300). Пилоты РУН-1 комплектовались сменными дисками, кольцами и пружинами, что позволяло получить 16 диапазонов настройки.

На рис. 6.6 показана компоновка РДС с пилотом КВ2. Для устойчивой работы регулятора перед пилотом имеется уравнительный (дифференциальный) клапан, куда через фильтр поступает газ входного давления. Через калиброванное отверстие в седле *10* постоянно протекает газ, чем поддерживается определенный перепад между входным давлением и давлением в надмембранной полости регулятора. Через дроссель *8* газ поступает в надмембранное пространство (по трубке *9*) или сбрасывается через пилот в трубку сброса.

При понижении давления за регулятором (увеличение расхода газа) понизится давление и в надмембранном пространстве пилота. Пружина *4* пилота приподнимет мембрану, увеличится открытие седла и соответственно сброс газа из надмембранного пространства регулятора (по трубке *9*). Давление над мембраной регулятора снизится, и она под действием входного давления приподнимется, отодвигая плунжер от седла, и расход газа через регулятор увеличится.

Регуляторы РДУК2 (регулятор давления универсальный Казанцева). Регулятор этого типа состоит из двух основных узлов — регулятора и пилота КН2 или КВ2, соединительных трубок и дросселей (рис. 6.7). Минимально необходимый для работы регулятора перепад давления — 300 кгс/м^2.

Регулятор устроен следующим образом. В нижней части его корпуса прикреплена мембранная коробка, внутри которой находится мембрана с подвижной тарелкой. В центральное гнездо тарелки упирается толкатель, а в него шток, передающий вертикальное перемещение тарелки мембраны плунжеру регулятора. Шток перемещается во втулках направляющей колонки корпуса. На верхнем конце штока свободно сидит плунжер с резиновым уплотнением. В верхней части регулятора под съемной крыш-



кой находится сетчатый фильтр, через который небольшая часть газа поступает в пилот.

Пилотом служит пружинный регулятор прямого действия. Он представляет собой мембранную камеру, сверху которой расположена головка, а снизу — регулировочный стакан с пружиной. Внутри головки находится узел, состоящий из шпильки, плунжера с резиновым уплотнением и пружины с колпачком. Узел в сборе свободно вынимается из головки благодаря наличию верхней пробки.

Выходная полость головки отделена от мембранной камеры гильзой, через которую проходит шпилька, расположенная между плунжером и толкателем, упирающимся в опору мембраны регулятора управления. Мембранная камера имеет два резьбовых отверстия: одно закрыто пробкой, а ко второму подводится газ с выходным контролируемым давлением. На рисунке эти отверстия не показаны. При повышении этого давления в мембранной камере тарелка мембраны опускается, а плунжер под действием пружины закрывается, и наоборот — при понижении давления тарелка мембраны под действием регулировочной пружины поднимается.

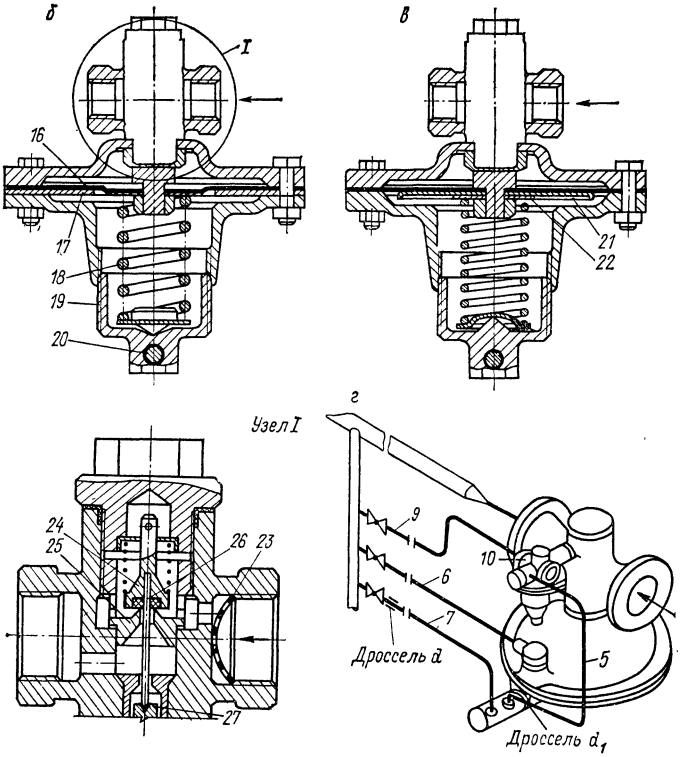


Рис. 6.7. Регулятор РДУК2.

а — регулятор в сборе; *б* — пилот КВ2; *в* — пилот КН2; *г* — аксонометрическая схема соединений.

1 — плунжер; *2* — седло; *3* — мембрана; *4* и *8* — дроссели; *5* — соединительная трубка; *6* и *9* — импульсные трубки; *7* — трубка сброса газа; *10* — пилот; *11* — соединительный патрубок; *12* — фильтр; *13* — направляющая колонка; *14* — шток плунжера; *15* — толкатель; *16* — мембрана пилота; *17* — диск (КВ2); *18* — пружина; *19* — регулировочный стакан; *20* — рычаг; *21* — тарелка; *22* — шайба; *23* — фильтрующая сетка; *24* — плунжер пилота; *25* — седло пилота; *26* — шпилька; *27* — толкатель пилота.

По конструкции пилоты КН2 и КВ2 сходны между собой. Разница заключается в том, что КВ2 имеет более сильную пружину, а взамен тонкой тарелки мембраны, как у КН2, между нижней крышкой и мембраной вставлено кольцо, уменьшающее ее рабочую площадь.

При работе регулятора газ входного давления через фильтр регулятора поступает в пилот и далее по соединительной трубке *5* через дроссель *4* — под мембрану регулятора. Сбросной дроссель *8* связывает подмембранное

пространство регулятора с выходным газопроводом. На мембрану регулятора подается выходное давление газа. Благодаря непрерывному движению газа через сбросной дроссель давление перед ним и, следовательно, под мембраной регулятора всегда больше выходного давления. Разность давлений по обе стороны мембраны регулятора создает подъемную силу, действующую снизу на мембрану. В установившемся режиме эта сила уравновешивается весом мембранного привода и давлением входного газа на плунжер регулятора. При полном прекращении расхода газа давление за регулятором может превысить давление настройки на 10%.

Трубки *6*, *7* и *9* присоединяют к выходному газопроводу, как показано на рис. 6.7, *а* или к патрубку, приваренному к газопроводу за регулятором (рис. 6.7, *г*). В первом случае трубки *6* и *7* присоединяют к газопроводу на расстоянии 100 мм за регулятором, а трубку *9* — к середине прямолинейного участка длиной $10D_у$. Во втором патрубок должен быть расположен на расстоянии не менее $5D_у$ от ближайшего местного сопротивления (поворота, запорного устройства).

До включения регулятора стакан пилота следует вывернуть до полного расслабления пружины. Все запорные устройства перед регулятором полностью открывают. Затем открывают кран на свечу, чтобы обеспечить небольшой расход газа и медленно ввертывают регулировочный стакан пилота; в контролируемой точке появляется давление, контролируемое по манометру. Дальнейшим ввертыванием стакана повышают выходное давление примерно до заданного и увеличивают расход газа (включают горелки). После этого производят более точную настройку регулятора. При длительном отключении регулятора стакан вывертывают до полного освобождения пружины.

Регулятор РДУК имеет несколько модификаций, основные данные по которым приведены в табл. 6.2.

Ниже приводятся возможные неполадки в работе РДУК и их причины: выходное давление падает до нуля— разрыв мембраны регулятора; выходное давление непрерывно растет — разрыв мембраны пилота, засорение седла или заедание толкателя плунжера пилота; выходное давление постепенно уменьшается, временами резко возрастает и вновь уменьшается — обмерзание плунжера и седла пилота; выходное давление постепенно уменьшается и поджатие пружины пилота его не повышает — засоре-

Таблица 6.2

Основные характеристики РДУК и РДБК

Тип регулятора	Диаметр седла, мм	Давление, кгс/см²		Пропускная способность, м³/ч, при входном давлении, кгс/см²			
		входное, не более	выходное в пределах	1	3	6	12
РДУК2-50	35	12	0,005—0,6 / 0,6—6,0	900 / 770	1 790	3 125	5 800
РДУК2-100	50	12		1420 / 1200	2 840	4 970	9 200
РДУК2-100	70	12		2825 / 2300	5 650	9 900	18 350
РДУК2-200	105	12		5880 / 4700	11 800	20 550	38 000
РДУК2-200	140	6		9500 / 7650	19 000	33 340	—
РДБК-25	21	16	0,01—0,6 / 0,3—6,0	310 / 250	620	1080	2 000
РДБК-50	35	12		900 / 720	1790	3125	5 800
РДБК-100	50	12		1420 / 1200	2840	4970	9 200
РДБК-100	70	12		2825 / 2300	5650	9900	18 350

Примечание. В числителе приведены данные для РДУК2Н и РДБК1, в знаменателе — для РДУК2В и РДБК1П; пропускная способность приведена при выходном давлении, кгс/см²; для РДУК2Н и РДБК1 — 0,05, для РДУК2В и РДБК1П — 0,6.

ние фильтра или седла пилота, выпадение уплотняющей резинки плунжера, поломка настроечной пружины; выходное давление меняется одновременно с изменением входного давления — перепутаны места установки дросселей или дроссели не установлены; выходное давление достигает номинального или не превышает его на 20% при полностью ослабленной пружине пилота — негерметичность регулирующего органа регулятора.

Если выходное давление при настройке в пределах 0,2—0,6 кгс/м² сильно колеблется, следует установить

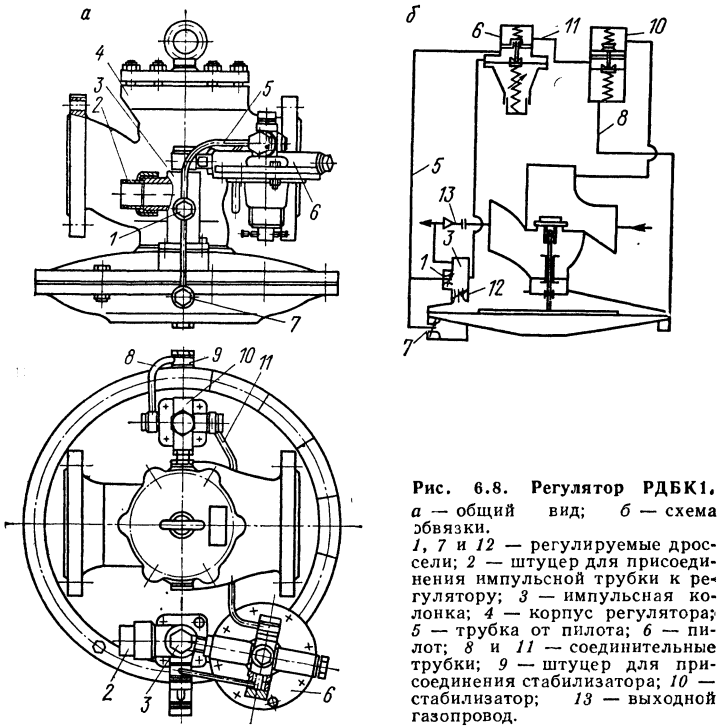


Рис. 6.8. Регулятор РДБК1.
а — общий вид; *б* — схема обвязки.
1, *7* и *12* — регулируемые дроссели; *2* — штуцер для присоединения импульсной трубки к регулятору; *3* — импульсная колонка; *4* — корпус регулятора; *5* — трубка от пилота; *6* — пилот; *8* и *11* — соединительные трубки; *9* — штуцер для присоединения стабилизатора; *10* — стабилизатор; *13* — выходной газопровод.

дроссель на трубке *6*, а при сохранении колебаний уменьшить чувствительность пилота КН2, используя в нем пружину от КВ2.

Слишком большая пропускная способность регулятора может служить причиной сильных колебаний выходного давления при малых расходах газа. Устранить колебания давления можно установкой дросселя на трубке *6*, снижением входного давления, а при необходимости установкой седла и плунжера регулятора меньших размеров.

Регуляторы РДБК1 и РДБК1П (регуляторы давления блочные Казанцева). РДБК1 состоит из трех узлов: регулятора, стабилизатора и пилота (рис. 6.8). Клапан регулирующий по своей конструкции аналогичен клапану РДУК и отличается наличием импульсной колонки, в которой имеются три регулируемых дросселя. Дроссель *7* и трубка *5* соединяют подмембранную полость клапана с пилотом, а через дроссель *1* газ из пилота сбрасыва-

ется в импульсную колонку и далее в газопровод за регулятором. С помощью этих дросселей устанавливается необходимое давление в подмембранной полости и обеспечивается настройка регулятора на спокойную работу.

Дроссель *12* соединяет надмембранную полость регулятора с контрольной точкой и предназначен для подстройки регулятора при возникновении пульсации в работе РДУК. Положение дросселя фиксируется пружиной. Дроссель представляет собой штуцер с четырьмя боковыми и одним верхним отверстиями (3 мм у регулятора $D_у$ 50 и 4 мм у регулятора $D_у$ 100). У РДБК-25 этот дроссель отсутствует.

Стабилизатор предназначен для обеспечения постоянства перепада давления в пилоте. Он разделен мембраной на верхнюю и нижнюю части и имеет три штуцера для соединения с выходной и подмембранной полостями регулирующего клапана и с входным штуцером пилота (рис. 6.9). В верхней части стабилизатора расположены седло (диаметром 3,5 мм), плунжер с мягкой уплотнительной прокладкой и воздействующая на плунжер пружина *14*. Мембрана *8* отжимается кверху пружиной. Газ входного давления, поступивший в стабилизатор через фильтр регулирующего клапана, дросселируется (перепад давления составляет 0,3—0,5 кгс/см^2) и через отверстия *11* и *17* и штуцер *1* поступает в пилот.

Пилот конструктивно аналогичен стабилизатору, но не имеет отверстия, соединяющего полость под седлом с надмембранным пространством, а подмембранное пространство соединено с атмосферой. В пилоте отсутствует штуцер *3*. Пружина *9* и стакан *10* служат для настройки регулятора РДБК1 на контролируемое давление.

Регулирование давления происходит следующим образом. Если, например, уменьшится выходное давление, то соответственно через импульсную колонку уменьшится давление в полости над мембраной пилота. Мембрана под воздействием пружины приподнимет плунжер пилота, и приток газа к регулируемым дросселям возрастет. При этом уменьшается давление в надмембранной полости клапана, одновременно возрастает давление в подмембранной полости. Плунжер регулятора приподнимется, расход газа увеличится и давление в контролируемой точке вернется к заданному значению. Одновременно с ростом давления в подмембранной полости клапана соответственно возрастет давление за стабилизатором и перепад

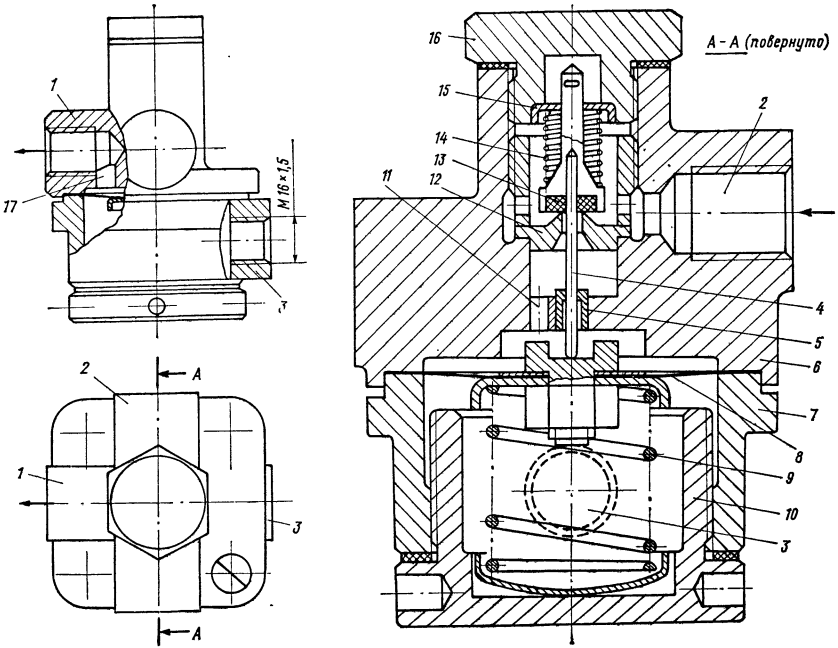


Рис. 6.9. Стабилизатор к РДБК1.

1—3 — штуцеры; *4* — толкатель; *5* — направляющая втулка; *6* — корпус; *7* — нижняя крышка; *8* — мембрана; *9* и *14* — пружины; *10* — стакан; *11* и *17* — отверстия; *12* — седло; *13* — плунжер; *15* — фигурная шайба; *16* — пробка.

давления в дроссельном устройстве пилота восстановится.

РДБК1П состоит из двух узлов (рис. 6.10): регулятора, аналогичного РДБК1, и пилота, в качестве которого применено устройство, аналогичное стабилизатору РДБК1. Отличие заключается лишь в том, что штуцер *3* (см. рис. 6.9) сообщен с атмосферой, а уплотнительная прокладка между крышкой и регулировочным стаканом отсутствует.

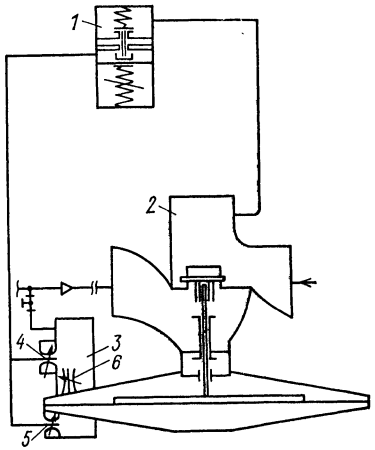


Рис. 6.10. Схема обвязки РДБК1П.
1 — пилот; *2* — регулятор; *3* — импульсная колонка; *4—6* — регулируемые дроссели.

Газ входного давления проходит в пилот через фильтр регулирующего клапана и после дросселирования направляется к регулируемым дросселям колонки. Дроссели *4* и *5* регулируют таким образом, чтобы давление в подмембранной камере клапана было всегда больше давления в контрольной точке, передаваемого в надмембранную камеру. Постоянное давление, поддерживаемое пилотом в подмембранной камере, определяет постоянство выходного давления. Если выходное давление уменьшится, то уменьшится и давление в надмембранной полости. При этом мембрана приподнимет плунжер и пропускная способность регулятора возрастет.

Регуляторы РДБК имеют несколько модификаций, основные данные по которым приведены в табл. 6.2.

6.4. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ ЗАПОРНЫЕ КЛАПАНЫ (ПЗК)

ПЗК устанавливают перед регулятором (по ходу газа) для автоматической отсечки газа к регулятору в случаях отклонения давления газа за установленный верхний или нижний предел. Сигнал об отклонении давления газа от заданного значения поступает к ПЗК по импульсной трубке, присоединенной к газопроводу выходного давления, что и вызывает срабатывание клапана. После устранения причин, вызвавших его срабатывание, производят включение ПЗК вручную.

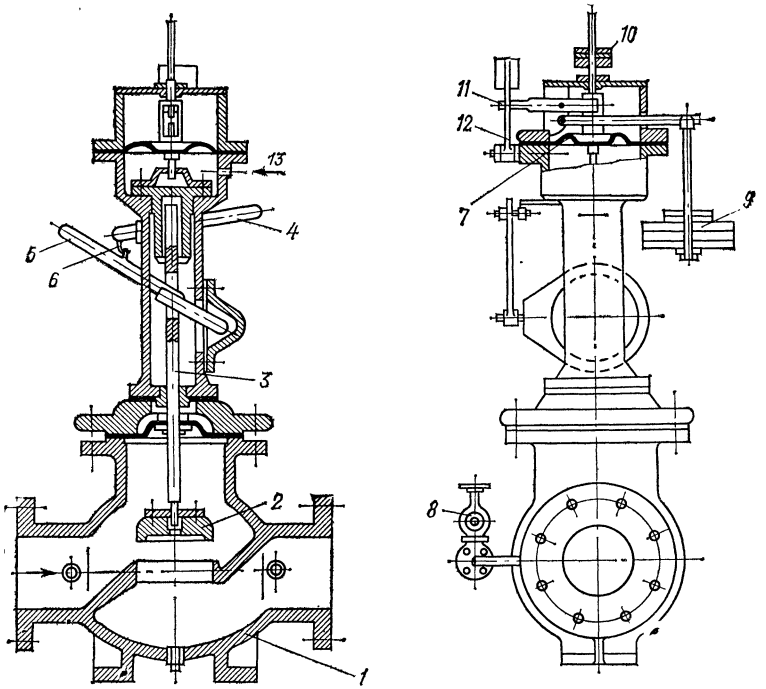


Рис. 6.11. Предохранительный запорный клапан ПК.
1 — корпус; *2* — плунжер; *3* — шток; *4* и *5* — рычаги; *6* и *11* — защелки; *7* — мембрана; *8* — перепускной вентиль; *9* и *10* — грузы; *12* — ударник; *13* — импульс выходного давления регулятора.

ПЗК настраивают на верхний предел срабатывания при давлении газа, превышающем на 25% максимальное рабочее давление за регулятором. При этом давление срабатывания не должно быть выше максимально допустимого давления, при котором обеспечивается устойчивая работа горелок (с учетом потерь давления в газопроводе). В случае понижения давления ПЗК должен сработать при условии обеспечения давления перед горелками на 30—50 кгс/м^2 при низком давлении и на 300 кгс/м^2 при среднем давлении больше того давления, что указано как минимально допустимое в паспорте горелки или при котором, по данным теплотехнических испытаний, горелки могут погаснуть или произойдет проскок.

Клапаны ПК. Устройство клапана приведено на рис. 6.11. Для открытия клапана с помощью рычага *5*

приподнимают шток и плунжер. Рычаг вводят в зацепление с защелкой рычага *4*. Если давление в газопроводе за ПК находится в заданных пределах, мембрана приподнята и удерживает в горизонтальном положении рычаг с защелкой *11*, а ударник — в приподнятом положении.

На мембрану действует груз *10*, которым производят настройку на срабатывание при падении давления ниже допустимого, и груз *9* — на срабатывание при давлении превышающем допустимое. При понижении давления мембрана под действием груза *9* опустится, защелка *11* приподнимется и освободит ударник, который, падая, ударит по рычагу *4* и освободит рычаг *5*. Плунжер опустится на седло и поступление газа прекратится. При повышении давления газа под мембраной последняя и промежуточный шток приподнимутся, защелка *11* опустится и освободит ударник; плунжер опустится на седло.

Обводная трубка служит для выравнивания давления газа перед ПК и за ним при его открытии. В период эксплуатации ГРП (ГРУ) вентиль на обводе должен быть всегда закрыт.

Клапаны ПКН и ПКВ. Предохранительные клапаны ПКН (низкого давления) и ПКВ (высокого давления) имеют условный проход 50, 80, 100 и 200 мм. Клапан состоит из: корпуса вентильного типа с седлом; промежуточной головки; штампованной крышки головки; плунжера с резиновым уплотнением, в который встроен перепускной клапан; механизма регулировки контролируемого давления; мембранного привода; анкерно-рычажной системы (рис. 6.12).

В открытом (взведенном) состоянии плунжер и соединенный с его штоком рычаг *3* подняты, штифт *4* рычага сцеплен с крючком анкерного рычага. Ударник своим нижним концом упирается в выступ анкерного рычага. Штифт *14* ударника сцеплен с выступом на конце коромысла. Это сцепление возможно при условии, если давление газа под мембраной находится в пределах настройки. Контролируемая точка соединена с подмембранной полостью клапана через штуцер *6*.

При открывании клапана сначала придет в движение шток, перепускной клапан откроется и давление газа в полости корпуса выравняется, что даст возможность открыть основной клапан. При закрывании клапана сначала плунжер садится на седло, а затем под действием ры-

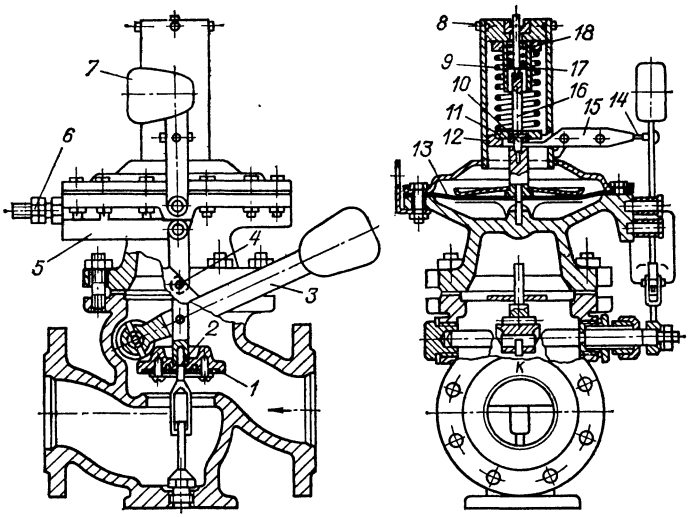


Рис. 6.12. Предохранительный запорный клапан ПКН (ПКВ).
1 — плунжер; *2* — отверстие в плунжере; *3* — рычаг; *4* — штифт рычага; *5* — анкерный рычаг; *6* — штуцер; *7* — ударник; *8* — регулировочная втулка; *9* — пружина; *10* — шток; *11* — тарелка; *12* — выступ крышки; *13* — мембрана; *14* — штифт ударника; *15* — коромысло; *16* — регулировочный винт; *17* — гайка; *18* — малая пружина.

чага шток прижимается к уплотнителю и перепускной клапан закрывается.

Внутри стакана, ввальцованного в крышку, помещается механизм регулировки контролируемого давления, а между головкой и крышкой зажата мембрана со штоком. В резьбовое отверстие верхнего торца штока мембраны ввернут регулировочный винт, на который надета тарелка, опирающаяся на выступы стакана крышки. В торцевое углубление регулировочного винта острием опирается верхняя шпилька. На резьбовой части шпильки навернута гайка, на торец которой опирается малая пружина, предназначенная для настройки нижнего предела контролируемого давления. На тарелку опирается большая пружина, предназначенная для настройки верхнего предела контролируемого давления. Усилие малой пружины регулируют перемещением гайки при вращении верхней шпильки, а усилие большой пружины — перемещением гайки при вращении регулировочной втулки. Импульс контролируемого давления поступает под мембрану по трубке *6*.

В случаях, когда выходное давление газа превысит допустимый верхний предел, мембрана со штоком поднимется и сожмет большую пружину. Левый конец коромысла поднимется, а правый — выйдет из зацепления со штифтом молотка. Молоток упадет и ударит по концу анкерного рычага, который выйдет из зацепления с анкером и упадет, в результате чего плунжер опустится на седло. При снижении выходного давления ниже предела, установленного малой пружиной, мембрана со штоком начнет опускаться, правый конец коромысла переместится вверх, выйдет из зацепления со штифтом молотка и плунжер опустится на седло.

Вход газа в клапан должен соответствовать стрелке, отлитой на корпусе. В заводском исполнении рычаг подъема клапана расположен слева по ходу газа; если по местным условиям такое расположение неудобно, то анкерно-рычажную систему можно перемонтировать.

Клапаны рассчитаны на максимальное входное давление газа 12 кгс/см². Клапан ПКВ отличается от клапана ПКН наличием опорной тарелки, уменьшающей активную площадь мембраны, шайбы, заменяющей тарелку мембраны ПКН, и более сильной большой пружиной. Диапазон настройки соответствует следующим значениям, кгс/см²:

	ПКН	ПКВ
При возрастании давления	0,01—0,6	0,3—6,0
При понижении давления	0,003—0,03	0,03—0,3

Неисправностями ПКН (ПКВ), встречающимися наиболее часто являются: трудность фиксирования в вертикальном положении ударника его штифта с выступом коромысла и неплотность закрытого клапана. Причинами первой неисправности могут быть: засорение импульсной трубки, повреждение мембраны, изменение характеристики пружины настройки. При неплотности закрытого клапана следует проверить чистоту кромок седла и уплотнительную прокладку, которая должна быть изготовлена из мягкой маслобензостойкой резины. Наружный край кромки должен иметь скос под углом 15° по форме расточки плунжера.

Клапаны ПКН (ПКВ) часто применяют в системах автоматики и в схемах газопроводов котлов в качестве клапанов-отсекателей. В этих случаях ПКН (ПКВ) обо-

рудуют электромагнитом, который монтируют, как правило, сбоку клапана на специальном кронштейне. Электромагнит устанавливают в рамку, к которой приварена ось со свободно вращающейся опорной втулкой молотка. Опорная скоба надета на шток, соединенный с якорем электромагнита, и на направляющий штырь.

При наличии напряжения на клеммах электромагнита якорь его занимает крайнее нижнее положение и через шток, преодолевая сопротивление пружины, опускает скобу вниз. В этом положении скоба находится в зацеплении со штифтом молотка. Если подача электрического тока к электромагниту прекратится, скоба под действием пружины поднимется и выйдет из зацепления с молотком. Молоток упадет, ударит по анкерному рычагу и освободит удерживаемый защелками плунжер; подача газа через клапан прекратится.

Давление, при котором должен сработать запорный предохранительный клапан, определяется проектной или наладочной организацией и приводится в производственной инструкции.

Клапан ПКК-40М. Клапан имеет две модификации: ПКК-40МН с давлением настройки в контрольной точке от 150 до 500 кгс/м^2 и ПКК-40МС с давлением настройки от 500 до 6000 кгс/м^2 (диаметр настроечных пружин соответственно 2 и 4 мм). Максимальное входное давление газа 6 кгс/см^2.

На плунжер клапана, имеющего прокладку из маслобензостойкой резины (рис. 6.13), действует пружина и выходное давление газа, с корпусом клапана скреплены промежуточное кольцо с пусковой пробкой и обратным клапаном, а также крышка с регулировочным стаканом. Между кольцом и крышкой зажата верхняя мембрана с жестко прикрепленным плунжером, которые отжимаются вниз настроечной пружиной.

Когда клапан закрыт, давление газа поддерживается одинаковым в камерах *А*, *Б* и *В*, соединенных между собой отверстиями *Г*, *Е* и двумя взаимно перпендикулярными отверстиями *Д* в штоке. Открывают клапан вручную, поворачивая на короткое время при помощи ручки пусковую пробку. При этом камера *В* через отверстие *Ж* соединяется с атмосферой. Так как площадь отверстий *Е* и *Ж* намного больше площади отверстия *Д*, то выход газа из камер *Б* и *В* несколько больше поступления, в результате чего давление в этих камерах падает. Вследствие этого

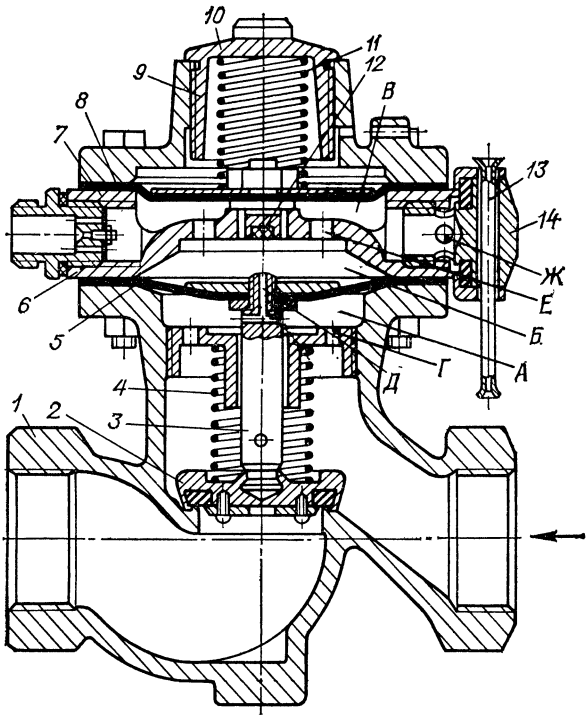


Рис. 6.13. Предохранительный клапан-отсекатель ПКН-40М.
1 — корпус; *2* — плунжер; *3* — шток; *4* — пружина; *5* — нижняя мембрана; *6* — обратный клапан; *7* — промежуточное кольцо; *8* — верхняя мембрана; *9* — стакан; *10* — крышка; *11* — пружина настроечная; *12* — пробка резиновая; *13* — рукоятка; *14* — пусковая пробка.

нижняя мембрана под действием входного давления газа поднимается вверх, и сопло отверстия *Д* перекроется мягкой прокладкой верхнего плунжера. Вместе с мембраной поднимаются шток и плунжер, открывая проход газа к регулятору.

Как только газ пройдет через регулятор давления в камеру *В*, по импульсной трубке и обратному клапану поступает импульс выходного давления. После ввертывания на место пусковой пробки в камере *В* устанавливается такое же давление, как и в газопроводе за регулятором.

При росте выходного давления газа выше заданного предела увеличится и давление газа в камере *В*. Действующее на верхнюю мембрану давление снизу преодолеет

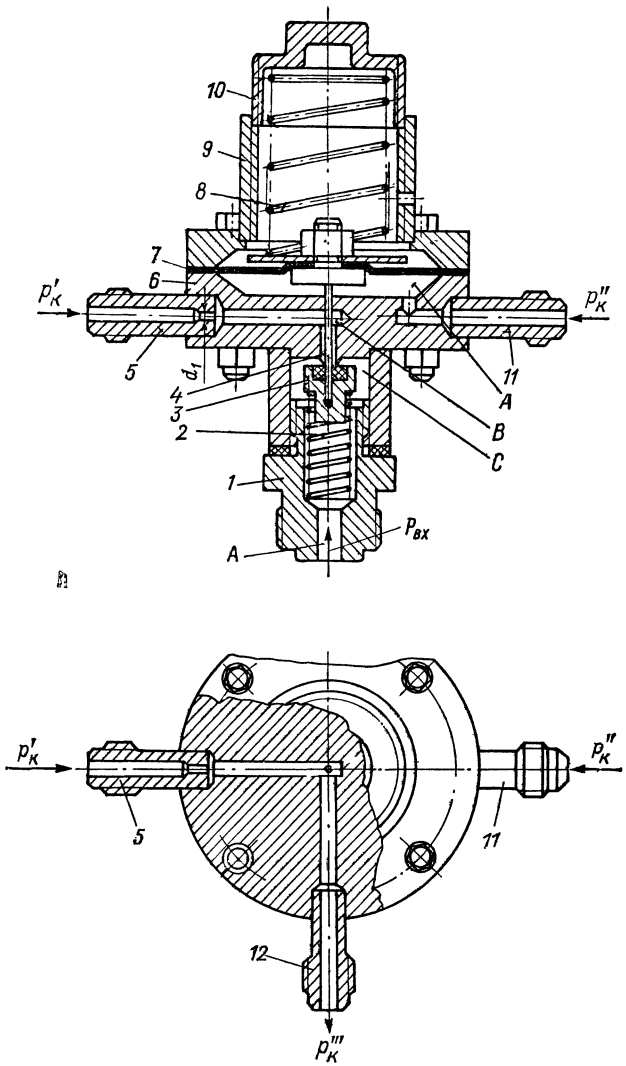


Рис. 6.14. Импульсное реле.

1 — штуцер входного давления; *2* — пружина; *3* — плунжер; *4* — шток; *5* и *11* — штуцеры контролируемого давления; *6* — корпус; *7* — мембрана; *8* — пружина; *9* — стакан; *10* — крышка; *12* — штуцер, сообщающийся с камерой *Б* отсекателя ПКК-40М.

усилие верхней пружины, мембрана поднимется, и отверстие *Д* откроется. Камера *Б* через отверстия *Г* и *Д* соединится с входным патрубком, давление по обе стороны нижней мембраны выравняется и плунжер под действием пружины перекроет проход газа к регулятору.

При снижении перепада давления газа под мембраной и над ней ниже 1000—1500 кгс/м² мембрана вместе со штоком и плунжером опустится и поступление газа прекратится. Клапан может быть включен вновь только вручную. Один оборот регулировочного стакана с пружиной среднего давления изменяет настройку примерно на 300 кгс/м², а с пружиной низкого давления — на 20 кгс/м².

Так как ПКК-40М не контролирует снижение выходного давления, то в ряде установок к нему добавляют импульсное реле (рис. 6.14). Импульс контролируемого давления $p_к$ подается одновременно через штуцеры *5* ($p'_к$) и *11* ($p''_к$). Штуцер *12* ($p'''_к$) соединяет реле с камерой *Б* ПКК-40М, а через нижний штуцер *1* полость *С* импульсного реле сообщается с газопроводом перед регулятором. Внутренние сверления в реле соединяют между собой каналы штуцеров *5* и *12* в полости *В* и, следовательно, давления $p_к$ и $p'''_к$ равны между собой.

Если давление в контролирующей точке окажется ниже допустимого предела, то снизится давление и в полости *А*. При этом под воздействием пружины мембрана и связанный с ней плунжер опустятся. Входное давление через открывшееся седло поступит в полость *В*, а из нее через штуцер *12* в камеру *Б* ПКК-40М, который сработает.

При давлении в контролируемой точке, превышающем допустимый предел, мембрана реле, преодолевая усилие пружины *8*, приподнимется и плунжер будет прижат к седлу. В этом случае на работу ПКК-40М реле влияния не окажет.

Ниже приводятся следующие возможные неполадки в работе ПКК-40М и их причины:

— после открытия пусковой пробки или пускового устройства клапан не открывается — недостаточное давление газа перед клапаном; порвана нижняя мембрана; мал размер проходного сечения пускового устройства и соединительной линии;

— после открытия клапан самопроизвольно закрылся— затвердела и потеряла упругость резиновая пробка верхней мембраны; диафрагма обратного клапана прилипла

к корпусу; порвана нижняя мембрана; снизилось давление перед клапаном;

— при давлении газа в контролируемой точке выше заданного клапан не закрывается — порвана верхняя мембрана; засорено отверстие сопла *Д* (диаметром 1,2 мм); резиновая пробка верхней мембраны прилипла к соплу; негерметичны пусковая пробка или пусковое устройство;

— закрытый клапан пропускает газ — засорено седло клапана; износилось уплотнение.

6.5. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ СБРОСНЫЕ УСТРОЙСТВА (ПСУ)

Предохранительные сбросные устройства должны срабатывать при внезапном повышении давления за регулятором, которое может быть вызвано отключением отдельных котлов или резким изменением входного давления. На газопроводах применяют гидравлические (жидкостные) предохранители и пружинные клапаны. Настраивают сбросные устройства на давление, превышающее заданное максимальное рабочее давление не более чем на 15%. После восстановления давления в контролируемой точке ПСУ должно быстро и плотно закрыться.

Пружинные и мембранные ПСУ имеют приспособления для их периодической ручной проверки и контрольной продувки. Подводящий трубопровод к ПСУ (диаметром не менее 20 мм) присоединен к газопроводу за регулятором, а при наличии расходомера — за расходомером. Сбросной трубопровод должен быть выведен наружу и оборудован оголовком, защищающим его от атмосферных осадков. Оба трубопровода должны иметь минимальное количество поворотов.

Клапан ПСК-50. По принципу действия ПСК-50 является малоподъемным пропорциональным мембранно-пружинным ПСУ (рис. 6.15). Клапан работает следующим образом. С помощью регулировочного винта, воздействующего на пружину, плунжер плотно прижат к седлу сбросного патрубка. Боковым патрубком клапан присоединен к выходному газопроводу ГРП (ГРУ). При увеличении давления газа мембрана, преодолевая сопротивление пружины, прогибается вниз, плунжер опускается и газ через сбросной патрубок по сбросному трубопроводу отводится наружу. При этом давление газа снижается и плунжер вновь перекрывает вход в сбросной патрубок.

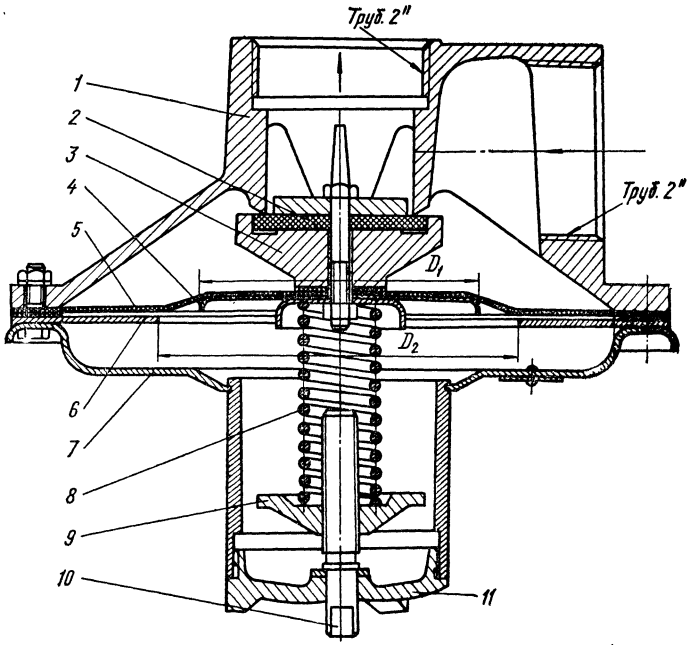


Рис. 6.15. Предохранительный сбросной клапан ПСК-50.
1 — корпус; *2* — уплотнение клапана; *3* — плунжер; *4* — диск; *5* — мембрана; *6* — кольцо; *7* — крышка; *8* — настроечная пружина; *9* — нажимная гайка; *10* — регулировочный винт; *11* — крышка стакана.

Клапан комплектуют соответствующими пружинами, дисками и тарелками в зависимости от диапазона настройки на срабатывание:

Тип клапана	ПСК-50Н / ПСК-50Н/0,05	ПСК-50С / ПСК-50С/0,5	ПСК-50В / ПСК-50С/1,25
Диапазон настройки, кгс/см²	0,01—0,05 / 0,02—0,05	0,2—0,5 / 0,2—0,5	0,5—1,2 / 0,5—1,25

Недостатками клапана являются: малая пропускная способность, отсутствие приспособления для открытия его при проверке исправности, негерметичность затвора при снижении давления после срабатывания, накопление на торце плунжера твердых частиц, попадающих из сбросного трубопровода.

Клапан СППК4Р. Устанавливают на газопроводах среднего и высокого давления. Клапан полноподъемный с устройством для контрольной продувки (рис. 6.16).

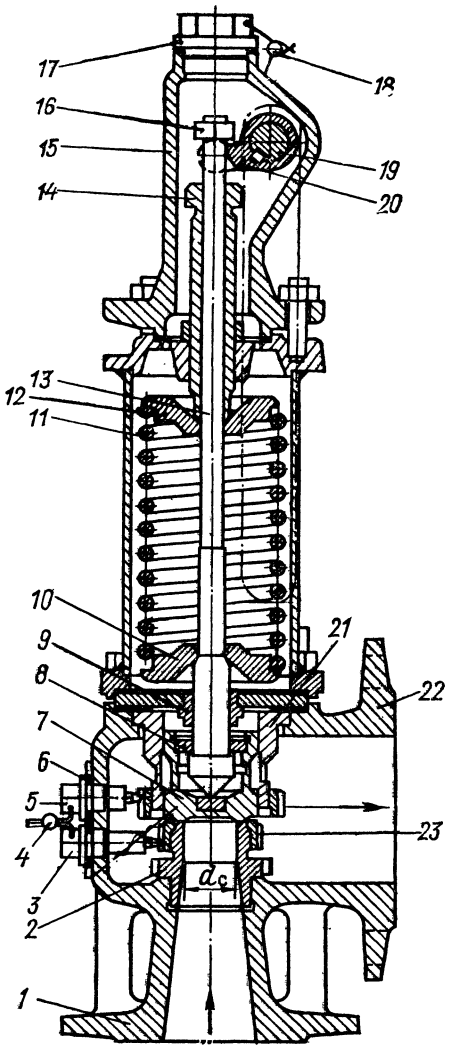


Рис. 6.16. Сбросной клапан СППК4Р.

1 — входной патрубок; *2* — седло; *3* и *5* — пробки; *4* и *18* — пломбы; *6* — верхнее регулировочное кольцо; *7* — плунжер; *8* — шайба; *9* — втулка; *10* — нижняя опорная шайба; *11* — пружина; *12* — верхняя опорная шайба; *13* — шток; *14* — винт; *15* — крышка; *16* — гайка; *17* — верхняя пробка; *19* — валик; *20* — кулачок; *21* — направляющая втулка; *22* — выходной патрубок; *23* — нижнее регулировочное кольцо.

При возрастании давления во входном патрубке выше заданного сила, действующая на центральную часть плунжера, преодолевая усилие пружины, приподнимает плунжер. Затем входное давление начинает действовать на всю поверхность плунжера, последний рывком поднимается до ограничителя подъема — направляющей втулки.

Настраивают клапан сжатием пружины с помощью винта *14*, который перемещает верхнюю опорную шайбу *12*. Нижняя шайба опирается на утолщение штока, который под воздействием пружины опускается и отжимает плунжер вниз. Полость, в которой расположена пружина, соединена отверстием с полостью основного корпуса. Это предотвращает образование в верхней полости воздушной подушки, препятствующей свободному подъему плунжера.

Контрольную проверку производят нажатием на рукоятку, которая поворачивает валик *19* и жестко связанный с ним кулачок. При этом отводится вверх гайка *16* и шток, который приподнимает штуцер. При отсутствии давления перед клапаном контрольный подъем плунжера не допускается.

Клапан имеет 5 модификаций по условному диаметру входного патрубка (50, 80, 100, 150, 200). Входное давление до 16 кгс/см^2. Каждый из клапанов с условным диаметром 50—150 мм может быть настроен на различные диапазоны давления срабатывания в зависимости от номера установленной пружины.

Ниже приводятся следующие характерные неполадки в работе клапанов и их причины:

— негерметичность клапана при давлении меньше установленного для открытия — попадание между уплотнительными поверхностями твердых частиц или повреждение этих поверхностей;

— вибрация плунжера и пружины — пропускная способность клапана значительно превышает необходимую или занижен диаметр подводящего трубопровода.

В ряде случаев нарушения в работе клапана могут быть вызваны изгибом штока при транспортировке или неправильной сборкой узлов после ремонта.

Гидравлический предохранитель (ГП). Представляет собой сбросное устройство пропорционального действия, в котором затворная жидкость после срабатывания автоматически перекрывает проход газа. Применяют ГП

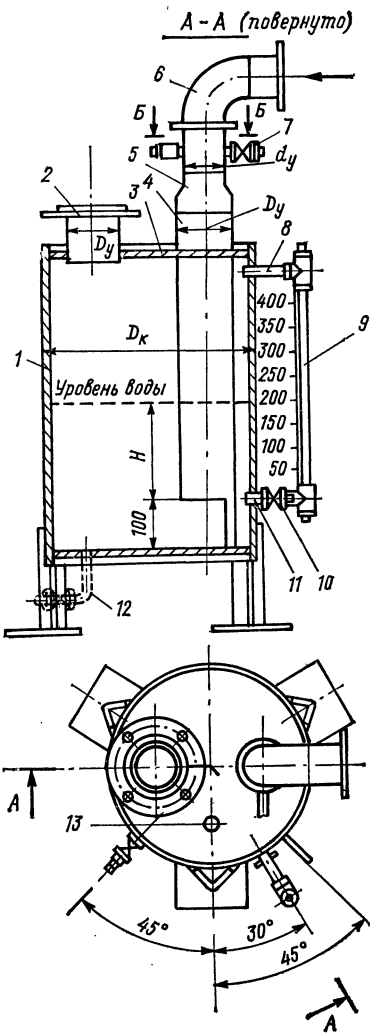


Рис. 6.17. Гидравлический предохранитель ГП.

1 — корпус; *2* — выходной патрубок; *3* — крышка; *4* — входной патрубок; *5* — переход; *6* — колено; *7* — штуцер с краном; *8* и *11* — верхний и нижний штуцеры; *9* — уровнемерная трубка; *10* — кран; *12* — штуцер с краном для слива; *13* — пробка.

на газопроводах с давлением в контролируемой точке до 900 кгс/м^2. Гидравлический предохранитель (рис. 6.17) состоит из корпуса с крышкой, входного патрубка с трубой, опущенной внутрь корпуса, выходного патрубка, уровнемерной трубки. Предохранитель имеет 5 модификаций: ГП-40, -50, -80, -100, -150. Диаметр ГП-40 и ГП-50 325 мм, остальных 426 мм. Высота корпуса от 900 до 1700 мм.

В качестве затворной жидкости применяют воду, поверхность которой заливают тонким слоем трансформаторного или веретенного масла для уменьшения испарения воды. При температуре воздуха в помещении, где расположен ГП, ниже 5 °С в качестве затворной жидкости применяют масло. Рабочую высоту слоя жидкости принимают с учетом ее плотности. Заполнение предохранителя и проверку уровня жидкости производят через контрольное отверстие, расположенное на уровне залива жидкости, или через отверстие в крышке. Для слива жидкости и промывки предохранителя предусмотрено отверстие с пробкой в нижней части корпуса.

6.6. ФИЛЬТРЫ ГАЗОВЫЕ

Очистка газа от твердых частиц, пыли, смолистых веществ необходима для того, чтобы предохранить от истирания уплотнительные поверхности запорных устройств, острых кромок расходомерных диафрагм, роторов газовых счетчиков и импульсные трубки и дроссели от засорения.

В ГРП (ГРУ) применяют фильтры сетчатые (ФС с чугунным и ФСС со сварным корпусом), волосяные кассетные (ФВ с чугунным и ФГ со сварным корпусом). Степень чистоты фильтра характеризуется перепадом давления, который в процессе эксплуатации не должен превышать,

Таблица 6.3

Допустимая пропускная способность фильтров сетчатых, м³/ч

Входное давление, кгс/см²	ФС-25	ФС-40	ФС-50	ФСС-40	ФСС-50
1	145	305	430	535	1070
3	205	430	610	755	1510
6	270	570	810	1000	2000
12	370	770	—	—	—

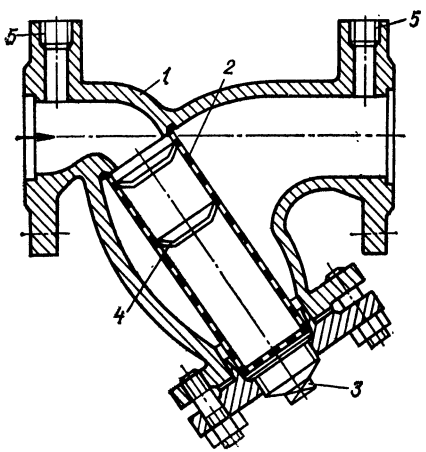


Рис. 6.18. Фильтр сетчатый ФС-50.
1 — корпус; *2* — фильтрующая сетка; *3* — крышка; *4* — проволочный каркас; *5* — штуцер для манометра.

Таблица 6.4

Допустимая пропускная способность фильтров волосяных, м³/ч

Входное давление, кгс/см²	ФВ-80	ФВ-100	ФВ-200
1	625	890	3500
3	880	1250	4900
6	1170	1665	6500
12	1600	2270	8900

кгс/м²: для сетчатых фильтров 500, для волосяных 1000; у очищенных и промытых фильтров соответственно 200—250 и 400—500.

Фильтры сетчатые. Применяют при небольших расходах газа, главным образом в шкафных ГРП. В этих фильтрах газ поступает внутрь стакана, обтянутого мелкоячеистой фильтровальной сеткой (рис. 6.18). Твердые частицы оседают в стакане или откладываются на сетке, а газ направляется к выходному патрубку.

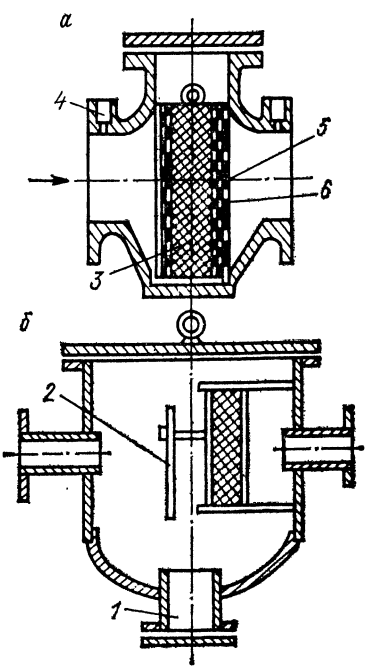


Рис. 6.19. Фильтры волосяные с чугунным (*а*) и сварным (*б*) корпусом.
1 — люк для чистки; *2* — отбойный лист; *3* — фильтрующий материал; *4* — штуцер для манометра; *5* — сетка; *6* — перфорированный лист.

Штуцеры с резьбой предназначены для измерения перепада давления в фильтре. Диаметр проволоки сетки 0,12 мм, размер стороны ячейки в свету 0,25 мм. Фильтры ФС имеют три модификации, а фильтры ФСС — две (табл. 6.3).

Фильтры волосяные. В фильтрах типа ФВ очистка газа происходит в кассете из проволочной сетки, заполненной конским волосом или капроновой нитью (рис. 6.19). Филь-

трующий материал, который должен быть однородным, без комков и жгутов, пропитывают висциновым маслом (смесь 60% цилиндрового и 40% солярового масел). Торцевые части кассеты затянуты проволочной сеткой. На выходной стороне кассеты устанавливают перфорированный металлический лист, предохраняющий заднюю (по ходу газа) сетку от разрыва и уноса фильтрующего материала. Фильтры имеют 3 модификации по условному диаметру: ФВ-50, -100, -200. Пропускная способность фильтров приведена в табл. 6.4.

Фильтры ФГ предназначены для ГРП (ГРУ) с расходом газа от 7 до 100 тыс. м³/ч. Имеют 4 модификации по условному диаметру: ФГ-50, -100, -200, -300. Корпус фильтра стальной сварной и может быть изготовлен предприятием или монтажной организацией по чертежам МосгазНИИпроекта. Особенностью этого фильтра является наличие свободного пространства и отбойного листа. Крупные частицы, попадая в фильтр, ударяются о лист, теряют скорость и падают на дно, а мелкие улавливаются в кассете, заполненной фильтрующим материалом.

6.7. ШКАФНЫЕ ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫЕ ПУНКТЫ

В ряде случаев, особенно при невозможности устройства ГРП в отдельном здании или внутри помещения, где имеются газоиспользующие установки, а также при сравнительно малых расходах газа, применяют шкафные ГРП. Место расположения шкафного ГРП выбирают с соблюдением требования СНиП.

В зависимости от местных климатических условий и влажности газа шкафные ГРП имеют теплоизолирующее покрытие или устройство для обогрева. В верхней и нижней частях стенок шкафа имеются горизонтальные жалюзийные решетки, которые всегда должны быть открытыми.

В настоящее время в эксплуатации находятся более 20 типов и типоразмеров шкафных ГРП: ШП (3 модификации), ШРУ (4 модификации), ПШГР (2 модификации), ГСГО и др. В них используются регуляторы РД-32М, РД-50М, $D_у$ 32 н/д и с/д, $D_у$ 50 н/д и с/д, РДУК2Н-50, РДБК1-25, РДБК1-50, РДБК2Н и др. Входное давление не более 6 кгс/см², только у ГРПВ (с регуляторами РДБК2В или РДУК1П) — 12 кгс/см².

В качестве предохранительных запорных клапанов в шкафных ГРП применяются в основном ПКК-40МН,

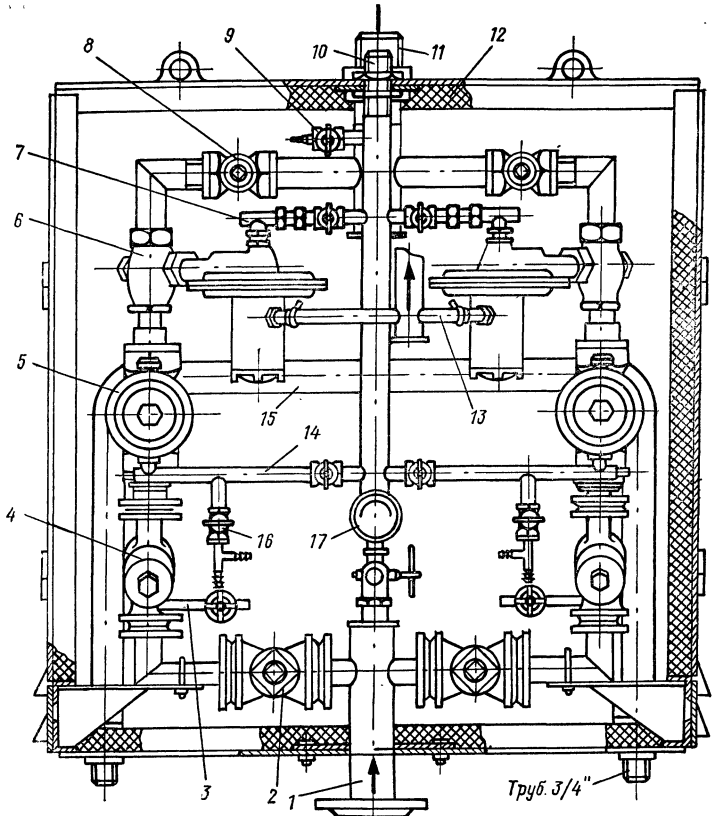


Рис. 6.20. Шкафной ГРП типа ШП-3.

1 — входной патрубок; *2* — запорное устройство на входе газа; *3* — штуцеры для присоединения дифманометра; *4* — сетчатый фильтр; *5* — клапан-отсекатель; *6* — регулятор; *7* и *14* — отводы с краном; *8* — запорное устройство на выходе газа; *9* — штуцер с краном; *10* — патрубок импульсного газопровода ГРП; *11* — патрубок выходного газа; *12* — тепловая изоляция; *13* — сбросной трубопровод встроенных в регулятор предохранительных клапанов; *15* — обогревающий коллектор; *16* — отвод с краном для настройки и проверки отсекателя; *17* — манометр входного давления.

а также ПКК-40МС (эти же клапаны с импульсным реле), ПКН и ПКВ, а в качестве предохранительных сбросных устройств — ПСК-50, СПКК4Р-50-16. Из фильтров чаще всего применяются ФС, ФСС, а в ГРП типа ГРПВ и ГРПС — фильтры типа ФГ.

ГРП типа ШП, ШП-1 имеет одну линию регулирования (с регулятором РДУК2Н-50), а ШП-2 и ШП-3 — две па-

раллельные линии (с регуляторами соответственно РД-50М и РД-32М). Одновременное включение линий в этих ГРП недопустимо. Диапазон настройки выходного давления 0,009—0,02 кгс/см².

Устройство ШП-3 (аналогичное устройству ШП-2) показано на рис. 6.20. Газ, пройдя одну линию регулирования, направляется через патрубок *11* в газопровод объекта. Вне шкафа к этому газопроводу приваривают импульсный трубопровод, который через патрубок *10* соединен с импульсным газопроводом ГРП. Штуцер *9* служит для подсоединения переносного манометра, измеряющего выходное давление.

От импульсного газопровода ответвляются импульсные трубки к регуляторам и к ПКК-40МН. К импульсной трубке клапанов присоединены отводы с кранами и двумя штуцерами для проверки настройки клапана. При этом газ может поступать по другой линии регулирования.

На отводе от импульсной трубки *14* имеется кран и тройник с двумя штуцерами для проверки и настройки клапана-отсекателя.

ГРП имеет тепловую изоляцию и обогреваемый коллектор, присоединяемый к действующей системе водяного отопления.

Шкафной ГРП типа ГСГО-1 имеет одну линию регулирования, включающую в себя фильтр ФС-40, клапан-отсекатель ПКК-40МН, регулятор РДУК2-50/35 с пилотом КН2. К импульсной линии присоединены трубка ПСУ, штуцер с краном для манометра, сбросная трубка с краном и дросселем от регулятора, импульсные трубки к регулятору, пилоту и ПЗК.

На сбросном трубопроводе от ПСУ имеется отвод с краном и двумя штуцерами для настройки ПСУ. К одному из штуцеров присоединяют манометр, а к другому — ручной воздушный насос. Диапазон настройки выходного давления 0,01—0,035 кгс/см².

Особенностью шкафных ГРП типа ГСГО, а также ГРПС, ГРПВ является наличие инжекционной горелки инфракрасного излучения, помещенной под днищем шкафа. Газ к горелке поступает по трубке, на которой имеется кран, расположенный внутри шкафа, и электромагнитный клапан ЭМК-II-15 с хромель-копелевой термопарой. Включают клапан нажатием на пусковую кнопку. В нагретой термопаре возникает электродвижущая сила, которая воздействует на управляемую катушку электро-

магнита, плунжер клапана приподнимается и газ поступает к горелке. При случайном погасании пламени термопара охлаждается и прекращается действие электродвижущей силы; плунжер клапана опускается и перекрывает поступление газа к горелке.

Глава 7
СВОЙСТВА И СЖИГАНИЕ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА

7.1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГАЗОВОГО ТОПЛИВА

Общие сведения о топливе. Топливом в технике называют вещества, способные в процессе горения выделять значительное количество тепловой энергии, которую используют в котельных установках, двигателях внутреннего сгорания, газовых турбинах и других агрегатах. Горением называют физико-химический процесс окисления горючих составляющих топлива, сопровождающийся выделением значительного количества теплоты. Окислителем в этом процессе является кислород, содержащийся в воздухе.

В табл. 7.1 приведена общая классификация различных топлив по агрегатному состоянию (твердое, жидкое, газовое) и происхождению (природное и искусственное). Горючие газы, добываемые из недр Земли, делятся на две группы: чисто газовых месторождений (их называют природными), нефтяных и нефтегазовых месторождений (попутные). Природные газы — основной вид газового топлива в нашей стране.

По одной из существующих в настоящее время теорий нефть и выделившиеся из нее газы возникли в результате разложения бактериями остатков растений и животных, населявших теплые моря и болота, покрытые затем осадками кристаллических пород; в условиях огромного давления, высокой температуры и отсутствия кислорода произошло превращение органических остатков в углеводороды.

Таблица 7.1

Классификация топлива по состоянию и происхождению

Топливо	Происхождение	
	естественное	искусственное
Твердое	Антрацит, каменный уголь, бурый уголь, торф, горючие сланцы, дрова	Каменноугольный кокс, брикеты, угольная пыль (размельченный уголь), древесный уголь
Жидкое	Нефть	Мазут, бензин, керосин, лигроин, соляровое масло, дизельное топливо
Газовое	Газ газовых месторождений (природный), газ газонефтяных месторождений (попутный)	Продукты переработки нефти, каменного угля, сланца (коксовый, сланцевый, генераторный), сжиженные углеводородные газы

К искусственным относятся топлива, получаемые в результате переработки природных топлив и как побочный продукт в различных технологических процессах. Так, в результате переработки нефти на специальных заводах получают жидкое топливо и газы пиролиза и крекинга нефти. Коксовый газ получают при сухой перегонке (т. е. без доступа воздуха) каменного угля, сланцевый — при сухой перегонке сланца, генераторный — в результате процесса газификации твердых топлив: угля, сланца, торфа, дров.

Сжиженными называют попутные или полученные при переработке нефти газы, переведенные при небольшом давлении в жидкое состояние. Используют эти газы чаще всего в качестве топлива для бытовых приборов в домах, не присоединенных к системам газового снабжения, а также на мелких производственных, коммунальных, пищевых и сельскохозяйственных предприятиях. В местах потребления сжиженные газы хранят в подземных емкостях или баллонах, в которых они постепенно переходят в газообразное состояние, и через устройство, снижающее давление, поступают к газовым приборам. В последние годы сжиженный газ широко применяют в качестве топлива для автомобилей.

Все виды топлива состоят из горючей и негорючей части. Горючими химическими элементами топлива являются

углерод и водород, а также соединения этих элементов, называемые углеводородами. К горючей части относится и сера, содержащаяся в различных видах топлива. Однако наличие серы в топливе нежелательно, поскольку соединения ее с кислородом (оксиды серы) загрязняют воздушный бассейн, а с водой оксиды серы образуют кислоту, вызывающую коррозию металла котлов.

Условия сжигания твердого топлива зависят от количества и свойств содержащейся в нем золы, влажности, количества летучих горючих веществ. При сжигании жидкого топлива (мазута), обладающего высокой вязкостью, одна из основных задач — распыление его на мельчайшие капли. Газовое топливо является наиболее благоприятным для его смешения с воздухом, необходимым для горения, так как и топливо и воздух находятся в одинаковом агрегатном состоянии.

Газовое топливо имеет ряд преимуществ по сравнению с твердым и жидким. Природный газ от места добычи доставляется непосредственно потребителю, что в значительной степени освобождает транспорт для перевозки других грузов. Для хранения газа не требуется наличия складов в пределах города, не нужен транспорт для вывоза шлака, отпадает необходимость устройства золоулавливающих установок.

При использовании газового топлива в котельных улучшаются условия труда обслуживающего персонала, особенно в небольших котельных, где подвозка к котлам и загрузка твердого топлива, а также удаление шлака производились вручную. Неизмеримо чище стали территории вокруг котельных и воздушный бассейн в городах.

Газовое топливо не требует подготовки перед сжиганием, как твердое (сортировка, дробление) или жидкое (подогрев, перекачка к месту горения). Физическое состояние газового топлива позволяет наилучшим образом организовать процесс горения и автоматизировать регулирование расхода газа в соответствии с потребностью в горячей воде и паре. При использовании газового топлива можно увеличить выработку пара и горячей воды котельной установкой и повысить ее экономическую эффективность.

Вместе с тем газовое топливо обладает свойствами, которые определяют особые требования к монтажу газопроводов, конструкциям газового оборудования, устройству и установке газовых горелок, а также к правилам

обслуживания котлов и котельных установок. К этим особенностям можно отнести повышенную взрывоопасность газовоздушных смесей и токсичность (ядовитость) некоторых видов газового топлива и продуктов его неполного сгорания.

При использовании газового топлива меняются условия работы котла и всей котельной установки: температурные режимы в топке и газоходах, условия передачи теплоты от продуктов сгорания к нагреваемой воде, теплопроизводительность котлов, требования к питательной и подпиточной воде и др. Меняются также привычные, подкрепленные многолетней практикой, приемы обслуживания котлов. Газовое топливо требует применения совершенно иных методов работы.

Состав газового топлива. Природные газы газовых месторождений состоят в основном из метана (от 82 до 98 об.%) и других углеводородов (этана, пропана, бутана), входящих в понятие «тяжелые углеводороды». В газах газонефтяных месторождений содержание метана составляет 30—80% и соответственно увеличивается содержание тяжелых углеводородов. Эти газы содержат некоторое количество негорючих, или балластных, газов — азота N_2 (от 1 до 8%) и диоксида углерода CO_2 (менее 1%).

Значительную часть коксового и сланцевого газов составляет водород: в коксовом газе его более 50%, в сланцевом около 25%. Содержится в них и оксид углерода (в сланцевом газе около 10%), а также балластные газы — азот, диоксид углерода и кислород, содержание которого составляет около 1%.

Основными горючими составляющими генераторных газов являются водород и оксид углерода, образующийся в результате неполного окисления углерода при газификации твердого топлива. В специальных устройствах (газогенераторах) топливо подвергается нагреву за счет сгорания некоторой его части при наличии воздушного, паровоздушного или парокислородного дутья. Для газоснабжения котельных генераторные газы применяются в редких случаях.

В газовом топливе, полученном в результате переработки (пиролиза и крекинга) нефти, основными горючими компонентами являются метан и тяжелые углеводороды, а также водород (иногда до 15%).

Углеводороды, входящие в состав различных видов газового топлива, состоят из двух химических элементов —

Таблица 7.2

Теплота сгорания газов, ккал/м³

Газ	Химическая формула	Низшая $Q_н$	Высшая $Q_в$
Водород	H_2	2 580	3 040
Оксид углерода	CO	3 016	3 016
Метан	CH_4	8 570	9 510
Этан	C_2H_6	15 370	16 790
Пропан	C_3H_8	22 260	24 170
Бутан	C_4H_{10}	29 510	31 960
Пентан	C_5H_{12}	37 400	40 430
Этилен	C_2H_4	14 110	15 050
Пропилен	C_3H_6	20 550	21 960
Бутилен	C_4H_8	27 120	29 000
Сероводород	H_2S	5 585	6 068
Природный		8 500	9 500
Попутный		12 000	15 000
Коксовый		4 300	4 700
Сланцевый		3 900	4 300
Ацетилен	C_2H_2	13 386	13 855

Примечания. 1. Для сложных газов приведенные значения теплоты сгорания являются усредненными. 2. Значения $Q_н$ и $Q_в$, приведенные в таблице, как и другие характеристики газов в последующих таблицах, соответствуют температуре 0 °С и давлению 760 мм рт. ст.

углерода и водорода. Общая формула углеводородов — C_mH_n, где m и n— количество атомов углерода и водорода в молекуле. Углеводороды — газы без цвета и вкуса; этилен обладает слабым запахом чеснока.

В природных и искусственных газах могут содержаться вредные примеси — сероводород, смола, пыль, аммиак и др., от которых газы очищают до подачи их потребителям. Соответствие газового топлива действующим требованиям и содержание в нем вредных примесей контролирует организация, снабжающая газом населенные пункты и предприятия.

Теплота сгорания. Эта характеристика является основной для всех видов топлива. Она соответствует количеству теплоты (в килокалориях или килоджоулях), которое выделяется при полном сгорании 1 кг твердого и жидкого или 1 м³ газового топлива. Теплота сгорания зависит от состава топлива и даже для одного и того же вида его колеблется в широких пределах. Наиболее высокой теплотой сгорания характеризуются тяжелые угле-

водороды, причем чем больше в молекуле газа атомов углерода, тем выше теплота сгорания (табл. 7.2).

Различают низшую $Q_н$ и высшую $Q_в$ теплоту сгорания. Первая соответствует условиям, когда водяные пары, образующиеся при сгорании топлива, будут находиться в парообразном состоянии и при охлаждении продуктов сгорания теплота парообразования (табл. 1.4) не используется. Высшая теплота сгорания соответствует условиям, когда водяные пары конденсируются и теплота конденсации используется. Для оксида углерода $Q_н$ и $Q_в$ равны между собой, так как при сгорании этого газа водяные пары не образуются.

Теплоту сгорания газового топлива определяют калориметром, а если известен его состав, — по формулам:

$$Q_в = 30{,}16CO + 30{,}4H_2 + 95{,}1CH_4 + 167{,}9C_2H_6 + 241{,}7C_3H_8 + 319{,}6C_4H_{10} + 404{,}3C_5H_{12} + 150{,}5C_2H_4 + 219{,}6C_3H_6 + 290{,}0C_4H_8;$$

$$Q_н = 30{,}16CO + 25{,}8H_2 + 85{,}7CH_4 + 153{,}7C_2H_6 + 232{,}6C_3H_8 + 295{,}1C_4H_{10} + 374{,}0C_5H_{12} + 141{,}1C_2H_4 + 205{,}5C_3H_6 + 271{,}2C_4H_8,$$

где CO, H_2, CH_4 и т. д. — содержание отдельных составляющих в газовом топливе, об.%.

В приведенных формулах содержание газов выражается в процентах, а числовые коэффициенты представляют собой высшую и низшую теплоту сгорания этих компонентов, уменьшенную в 100 раз. Разница между $Q_в$ и $Q_н$ составляет 470 ккал на 1 м³ сконденсировавшихся водяных паров, образовавшихся в результате горения (см. табл. 7.5).

Теплотехнические расчеты котельных, как правило, ведут по низшей теплоте сгорания. Работу установок, в которых вода нагревается при непосредственном контакте с продуктами сгорания (контактные котлы и экономайзеры), оценивают по высшей теплоте сгорания.

Ацетилен C_2H_2 не входит в состав газового топлива, но широко используется в сварочной технике. Поэтому в табл. 7.2 приведены значения его теплоты сгорания, а в таблице 7.4 (см. ниже) пределы воспламенения.

Плотность газов. Значения плотности отдельных газов приведены в табл. 7.3. Плотность основных видов газового топлива усреднена, так как их состав не является

Таблица 7.3

Плотность газов

Газ	Молярная масса, кг/моль	Плотность при 0 °С и 760 мм рт. ст., кг/м³	Относительная плотность по воздуху
Водород	2,02	0,09	0,07
Оксид углерода	28,01	1,25	0,97
Метан	16,04	0,72	0,55
Этан	30,07	1,34	1,04
Пропан	44,09	1,97	1,60
Бутан	58,12	2,60	2,00
Пентан	72,15	3,22	2,49
Этилен	28,05	1,26	0,98
Пропилен	42,08	1,88	1,46
Бутилен	56,10	2,50	1,94
Азот	28,00	1,25	0,97
Кислород	32,00	1,43	1,10
Диоксид углерода	44,00	1,98	1,53
Природный		0,73—0,85	0,57—0,66
Попутный		0,95—1,50	0,73—1,16
Коксовый		0,50	0,40
Сланцевый		1,00	0,78

строго постоянным. Относительная плотность принята по воздуху, плотность которого при 0 °С и 760 мм рт. ст. равна 1,293 кг/м³. Как видно из таблицы, различные горючие газы имеют плотность большую или меньшую плотности воздуха, что определяет их распространение в помещении при утечках: газы, плотность которых меньше плотности воздуха, скапливаются прежде всего в верхних зонах помещения, а газы с плотностью больше плотности воздуха стелются по полу помещения и легко проникают в подвалы, колодцы и другие сооружения, расположенные ниже уровня земли.

Температура воспламенения. Для зажигания газовоздушной смеси необходимо нагреть ее до температуры воспламенения, т. е. до минимальной начальной температуры, при которой начинается горение (табл. 7.4). Температура воспламенения зависит от соотношения количества газа и воздуха в смеси, давления, под которым находится смесь, способа ее нагрева и других условий. Поэтому возможны расхождения в значениях температуры воспламенения, приводимых в технических книгах и справочниках.

Таблица 7.4

Основные теплотехнические характеристики горючих газов

Газ	Наиболее низкая измеренная температура воспламенения, °С	Жаропроизводительность, °С	Пределы воспламенения, об. %		Скорость распространения пламени, м/с
			нижний	верхний	
Водород	510	2235	4	75	4,83
Оксид углерода	610	2370	12,5	74	1,25
Метан	545	2043	5	15	0,67
Этан	510	2097	3,2	12,5	0,85
Пропан	500	2110	2,3	9,5	0,83
Бутан	480	2118	1,9	8,5	0,82
Этилен	510	2284	3	16	1,42
Пропилен	455	2224	2,4	10	—
Природный	560	2040	5	15	—
Попутный	—	2080	2	9	—
Коксовый	640	2120	5	35	—
Сланцевый	700	1980	5	40	—
Ацетилен	335	2620	25,0	80,0	—

Зажигание неподвижной смеси может обеспечить даже такой источник огня, как искра электрического выключателя. Для зажигания газовоздушной смеси в топках котлов используют переносные или стационарные газовые и электрозапальники.

Начавшийся процесс горения газовоздушной смеси будет продолжаться самопроизвольно, если количества теплоты, выделяющейся при горении, достаточно для нагревания поступающей смеси до температуры воспламенения. Если в смеси будет мало газа («бедная» смесь), или много воздуха, то теплоты, выделяющейся в начальной стадии процесса горения, окажется недостаточно для нагревания смеси до температуры воспламенения и горение прекратится. Если газа в смеси слишком много, а воздуха недостаточно, то при воспламенении может сгореть такое малое количество газа, что выделившейся теплоты будет недостаточно для поддержания температуры смеси на уровне не ниже температуры воспламенения.

Жаропроизводительность. Жаропроизводительностью называется максимальная температура, которая может быть достигнута при полном сгорании газа, если количество воздуха, участвующего в горении, точно соответствует теоретически необходимому, начальная темпера-

тура газа и воздуха равны 0 °С, а выделившаяся теплота полностью расходуется на нагрев образовавшихся продуктов сгорания. Название это впервые применено Д. И. Менделеевым.

Как видно из табл. 7.4, жаропроизводительность отдельных горючих газов составляет 2000—2100 °С, а у ацетилена даже 2620 °С. Действительная температура горения в топках котлов ниже жаропроизводительности (составляет 1100—1400 °С) и зависит от количества участвующего в процессе горения воздуха, условий сжигания газа и передачи теплоты от продуктов сгорания поверхностям нагрева топки, температуры газа и воздуха.

При действительной температуре горения ниже 900 °С возможно нарушение процесса горения и появление значительной химической неполноты сгорания. Устойчивость температуры горения может быть повышена за счет подачи к месту горения нагретого воздуха, т. е. за счет увеличения количества физической теплоты, вносимой в топку.

Пределы воспламенения (взрываемости). Газовоздушная смесь может воспламеняться только при определенных объемных соотношениях газа и воздуха. Наименьшее и наибольшее значение содержания газа в смеси, в пределах между которыми возможно воспламенение, называют соответственно нижним и верхним пределами воспламенения. Эти же пределы соответствуют и условиям взрываемости газовоздушных смесей. Если, например, в воздухе помещения котельной каждые 100 м^3 объема в результате утечки будут содержать не менее 5 м^3 природного газа, то при наличии источника огня может произойти взрыв.

По химической сущности взрыв не отличается от горения, но происходит мгновенно. При взрыве газовоздушной смеси, заполняющей какую-либо емкость (помещение, топка, газоходы), выделяется теплота, за счет которой расширяются продукты сгорания. Резкий скачок давления газов может разрушить ограждающие конструкции. Наиболее взрывоопасны газы, которые характеризуются малыми значениями нижних пределов воспламенения и низкими температурами воспламенения (например, пентан). Таким газом, обладающим, кроме того, и высоким верхним пределом воспламенения, является ацетилен, широко применяемый для сварочных работ. Если учесть, что ацетилен обладает очень низкой температурой воспламенения, то станут ясными повышенные

требования техники безопасности при использовании этого газа.

Скорость горения (распространения пламени). Эта характеристика газового топлива определяет скорость, с которой элемент фронта пламени распространяется относительно свежей смеси, или скорость, с которой перемещается фронт пламени относительно невоспламенившейся смеси. Например, если в трубке, заполненной газовоздушной смесью, поджечь эту смесь с конца трубки, то ближайший к источнику огня слой смеси воспламенится и начнется реакция горения. Выделившейся при этом теплоты будет достаточно для нагрева последующего слоя смеси до температуры воспламенения. Горение будет направлено в сторону еще не воспламенившейся смеси с определенной скоростью. Очевидно, что в случае перемещения самой смеси в противоположном направлении с такой же скоростью фронт пламени займет неподвижное положение.

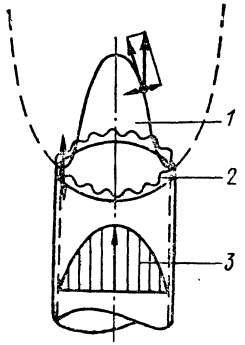


Рис. 7.1. Схема газового пламени при спокойном истечении газовоздушной смеси.
1 — зона холодной смеси; *2* — поджигающее кольцо; *3* — характер скорости смеси по сечению трубы.

Если газовоздушная смесь вытекает из газовыходного отверстия спокойно с небольшой скоростью (ламинарное движение), то газовый факел имеет устойчивую конусообразную форму (рис. 7.1). Поверхность факела представляет собой фронт пламени. Устойчивость фронта пламени определяется скоростью потока по сечению трубки: в центре она наибольшая, а у поверхности стенки близка к нулю.

Скорость движения частицы, находящейся на поверхности фронта пламени, изображена стрелкой, направленной вдоль оси трубки. Эту скорость можно разложить на две составляющие: нормальную (т. е. перпендикулярную) к поверхности фронта пламени и касательную к ней. В противоположном направлении к нормальной составляющей скорости движения направлена равная ей нормальная скорость распространения пламени. У основания конуса касательная составляющая скорости отсутствует и поджигание газовоздушной смеси обеспечивает кольцевая зона устойчивого горения на выходе из трубки.

Нарушение соответствия между скоростью выхода газовоздушной смеси и скоростью горения приводит к нарушению фронта пламени. Если скорость выхода смеси выше скорости горения, происходит отрыв пламени (удаление пламени от газовыходного отверстия без его погасания) или срыв пламени (отрыв пламени, сопровождающийся его погасанием). Если скорость выхода смеси меньше скорости горения, происходит проскок пламени (перемещение пламени внутрь горелки).

При большой скорости выхода газовоздушной смеси (турбулентное движение) фронт пламени теряет свою форму и приобретает пульсирующий вихреобразный характер. При таких условиях сжигания газа принимают специальные меры, обеспечивающие постоянное поджигание газовоздушной смеси (см. раздел 4.3).

Из компонентов газового топлива наибольшей скоростью горения характеризуется водород, наименьшей — метан, бутан (табл. 7.4). Скорость горения газовоздушной смеси определяется составом газового топлива, соотношением его в смеси с воздухом, давлением и температурой смеси. Предварительный нагрев смеси повышает скорость горения пропорционально квадрату отношения абсолютных температур нагретой и холодной смеси. Например, если температура нагретой смеси равна 150 °С ($T_2 = 150 + 273$), а температура холодной 20 °С ($T_1 = 20 + 273$), то скорость горения возрастает примерно в 2 раза — $(423/293)^2 \approx 2$.

При диаметре отверстий или размере щелей, из которых выходит газовоздушная смесь, меньшем определенной для данного газа величины, называемой критической, распространение пламени внутрь трубки становится невозможным. Пламя не проникает также через медные или латунные сетки (например, защитные сетки переносных электрических ламп) или сосуды, заполненные гравием, через отверстия с диаметром, не превышающим следующих значений, мм: для природного газа — 2,5, сланцевого — 2, коксового — 1,5. Ширина щели, через которую пламя природного газа не проникает, составляет 1,2 мм. Огнепреградительные свойства таких устройств объясняются тем, что они обладают большой поверхностью, хорошо отводящей тепло. Это обеспечивает снижение температуры горячих газов ниже температуры воспламенения.

Влажность газов. Несмотря на осушку газа в местах его добычи, во многих случаях он поступает в систему

газоснабжения с некоторым количеством водяных паров. Кроме того, вода может попасть в газопроводы в период их строительства. Условия насыщения и другие зависимости влажности газов от температуры аналогичны этим зависимостям для воздуха.

При низких температурах, особенно в местах выхода подземного газопровода на поверхность, углеводородные газы и водяные пары образуют инеeобразное вещество (кристаллогидраты), которое может закупорить газопровод. Кристаллогидраты химически неустойчивы и легко распадаются на углеводородный газ и водяной пар.

Отравляющие и удушающие свойства газового топлива. Отравляющие (токсические) свойства газового топлива определяются главным образом оксидом углерода (часто называемым угарным газом), который может оказаться в воздухе помещений при утечках искусственных газов из газового оборудования и арматуры, а также при проникновении в помещение отходящих газов, содержащих оксид углерода при неполном сгорании топлива.

Оксид углерода CO при вдыхании с воздухом усиленно соединяется с гемоглобином крови и делает ее неспособной переносить кислоро́д к тканям организма. Содержание оксида углерода в воздухе помещений котельных не должно превышать 0,02 мг/л, или 0,0016 об. %. Наличие оксида углерода в воздухе в количестве 6 мг/л, что соответствует 0,5 об. %, через 20—30 мин оказывает смертельное действие.

Диоксид углерода CO_2 образуется в процессе горения углерода. Если он попадает в помещение, то вызывает у людей повышение частоты пульса, учащенное и поверхностное дыхание, головную боль, общую слабость. Содержание в воздухе 7—8% диоксида углерода приводит к одновременному значительному снижению содержания кислорода. При этом появляется шум в ушах, головокружение, рвота, сухость во рту, раздражение глаз; возможны потеря сознания и удушье. Цвета и запаха не имеет.

Сероводород H_2S — бесцветный газ с характерным запахом тухлых яиц. Наличие его в воздухе котельных при утечках газа возможно только в исключительных случаях — если нарушена технология очистки газового топлива. Наибольшие концентрации сероводорода вызывают ощущение жжения в глазах, слезотечение, появление насморка и кашля с обильным выделением мокроты,

боль в груди, общую слабость, возможно обморочное состояние или, наоборот, возбужденное, с помрачением сознания.

Сернистый газ SO_2 образуется при сгорании серосодержащих соединений. Газ бесцветный, с резким кисловатым запахом. Небольшие концентрации этого газа вызывают кашель, выделение слизи из носа, слюнотечение; длительное вдыхание может вызвать рвоту, покраснение глаз, слезотечение. Систематическое воздействие весьма опасно для здоровья.

Оксиды азота NO, NO_2, N_2O_3 и другие образуются при определенных условиях в процессе горения; иногда встречаются в искусственных газах. Обладают неприятным запахом и в зависимости от вида соединения имеют слабожелтый или бурый цвет. Вызывают кашель и головную боль, покраснение глаз, слезотечение. Длительное воздействие вызывает сильные боли в области живота, тошноту, иногда судороги и другие нарушения деятельности организма.

Аммиак NH_3 — бесцветный легкий газ с сильным характерным запахом. Содержится в неочищенном коксовом газе. Даже при незначительных концентрациях оказывает сильное раздражающее действие на глаза человека, на верхние дыхательные пути, вызывая слезотечение, головную боль, расстройство кровообращения.

Углеводородные газы не ядовиты, но большое их содержание в воздухе может вызвать удушье. Уменьшение содержания кислорода до 16% вызывает легкие физические расстройства, а при содержании только 10% кислорода наступает удушье.

Коррозионные свойства газов. Некоторые газы (диоксид и оксид углерода, сероводород и др.) вызывают коррозию, т. е. разрушение металла при температурах 500—700 °С. Особенно опасны кислородная и сернокислотная виды коррозии, происходящие при низких температурах. При конденсации водяных паров, содержащихся в отходящих газах, кислород, растворяясь в воде, взаимодействует с металлом, а оксиды серы и вода образуют сернистую или серную кислоты, разрушающие металл.

Одоризация. Одним из основных условий безопасного использования газового топлива является возможность обнаружения наличия его в воздухе при утечках. Для этого используют специальные приборы — газоиндикаторы или газосигнализаторы. Однако наиболее простым

и общедоступным способом является обнаружение газа в воздухе по запаху.

Как указывалось выше, природные газы запаха не имеют. Только коксовый газ обладает достаточно ощутимым и характерным запахом. Поэтому в газовое топливо, не имеющее запаха, вводят вещество с сильным, характерным запахом, называемое одорантом, например этилмеркаптан. Количество вводимого одоранта должно быть таким, чтобы запах ощущался человеком с нормальным обонянием при содержании газа в воздухе (по объему), равном 1/5 нижнего предела воспламенения. Для искусственных газов, из-за большого содержания в них оксида углерода, количество вводимого одоранта определяется условиями их токсичности. Проверку одоризации газов производят по специальной методике.

Требования к газовому топливу. К качеству природных топливных газов предъявляются следующие требования.

1. Число Воббе низшее, ккал/м^3, должно быть в пределах 9850—13 000 (для промышленных горелок 8 650—14 000).
2. Допускаемое отклонение числа Воббе от номинального значения $\pm 5\%$.
3. Масса меркаптановой серы в 1 м^3 не более 0,036 г.
4. Масса сероводорода в 1 м^3 не более 0,02 г.
5. Масса механических примесей в 1 м^3 не более 0,001 г.
6. Объемная доля кислорода не более 1%.
7. Интенсивность запаха при объемной доле 1% газов в воздухе не менее 3 баллов.
8. Температура воспламенения должна быть не менее 450 °С.

Число Воббе (низшее $Wo_н$ или высшее $Wo_в$) связывает между собой исходные данные, необходимые для расчета горелок — теплоту сгорания и относительную плотность газового топлива. Выражается число Воббе формулой

$$Wo_н = Q_н/\sqrt{\rho_{отн}} \quad \text{или} \quad Wo_в = Q_в/\sqrt{\rho_{отн}}.$$

В период эксплуатации теплота сгорания и плотность могут отличаться от расчетных. Однако нормальная работа горелок не нарушается, если сохраняется в пределах допустимых отклонений значение числа Воббе.

7.2. ОБЪЕМНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ГАЗОВ

Необходимое для горения количество воздуха. Процесс горения газов представляет собой химическую реакцию соединения их с кислородом. Для сжигания газового, как и других видов топлива используется кислород, содержащийся в воздухе, поступающем к месту горения. В отдельных случаях, например при газовой сварке и резке металла, применяют технический кислород.

Реакция горения происходит при строгом соотношении числа молекул горючего газа и воздуха. Так как по закону Авогадро в одинаковых объемах содержится одинаковое количество молекул, то число объемов газов, вступающих в реакцию, пропорционально соотношению числа молекул. Например, реакция горения метана выражается уравнением

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O,$$

а реакция горения пропана

$$C_3H_8 + 5O_2 = 3CO_2 + 4H_2O.$$

Численные коэффициенты, стоящие в уравнении перед химическими формулами газов, обозначают число молекул, участвующих в реакции. Следовательно, для сжигания 1 м³ метана требуется 2 м³, а 1 м³ пропана — 5 м³ кислорода.

Таблица 7.5

Объемные соотношения воздуха и продуктов сгорания при сжигании

Газ	Уравнение горения
Водород	$H_2 + 0{,}5O_2 = H_2O$
Оксид углерода	$CO + 0{,}5O_2 = CO_2$
Метан	$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$
Этан	$C_2H_6 + 3{,}5O_2 = 2CO_2 + 3H_2O$
Пропан	$C_3H_8 + 5O_2 = 3CO_2 + 4H_2O$
Бутан	$C_4H_{10} + 6{,}5O_2 = 4CO_2 + 5H_2O$
Пентан	$C_5H_{12} + 8O_2 = 5CO_2 + 6H_2O$
Этилен	$C_2H_4 + 3O_2 = 2CO_2 + 2H_2O$
Пропилен	$C_3H_6 + 4{,}5O_2 = 3CO_2 + 3H_2O$
Бутилен	$C_4H_8 + 6O_2 = 4CO_2 + 4H_2O$

Как видно из приведенных формул, в результате горения углеводородов образуются CO_2 и H_2O. При сгорании водорода и оксида углерода образуются в первом случае H_2O, во втором CO_2.

Теоретическое количество воздуха, необходимое для полного сгорания газового топлива, определяется количеством кислорода в соответствии с реакциями горения отдельных компонентов (табл. 7.5). При этом учитывают, что соотношение объемов кислорода и азота по процентному содержанию их в воздухе (21 и 79%) составляет 1 : 3,76, т. е. на 1 м³ кислорода приходится 3,76 м³ азота. Таким образом, для использования 1 м³ кислорода требуется подать к месту горения 4,76 м³ воздуха.

Так, например, для метана объемные соотношения исходных газов и продуктов сгорания можно представить следующим равенством:

$$CH_4 + 2O_2 + 7{,}52N_2 = CO_2 + 2H_2O + 7{,}52N_2.$$

Следовательно, для сгорания 1 м³ метана требуется 9,52 м³ воздуха, в которых содержатся 2 м³ кислорода. Аналогично определяют количество воздуха, необходимое для сгорания других газов.

Хорошо перемешанные газовоздушные смеси, в которых объемы горючего газа и воздуха точно соответствуют

1 м³ различных газов, м³/м³

Расход воздуха	Продукты сгорания			
	Диоксид углерода	Водяные пары	Азот	Общий объем
2,38	Нет	1	1,88	2,88
2,38	1	Нет	1,88	2,88
9,52	1	2	7,52	10,52
16,66	2	3	13,16	18,16
23,80	3	4	18,80	25,80
30,94	4	5	24,44	33,44
38,08	5	6	30,08	41,08
14,28	2	2	11,28	15,28
21,42	3	3	16,92	22,92
28,56	4	4	22,56	30,56

уравнениям реакций горения, называются стехиометрическими *.

При полном сгорании газового топлива продуктами сгорания являются диоксид углерода, водяной пар и азот, содержащийся в воздухе, участвовавшем в процессе горения. При неполном сгорании в продуктах сгорания могут содержаться оксид углерода, водород, метан и даже тяжелые углеводороды, а также та часть воздуха, которая в горении не участвовала. Возможно также образование сажи и оседание ее на поверхностях нагрева котла.

Если известен состав газового топлива, то для сжигания 1 м³ его теоретически необходимое количество воздуха определяют исходя из процентного содержания отдельных горючих компонентов и расхода воздуха для сжигания каждого из них (за вычетом кислорода, содержащегося в самом топливе):

$$V_0 = 0{,}01\,(2{,}38CO + 2{,}38H_2 + 9{,}52CH_4 + 16{,}66C_2H_6 + \\ + \ldots - 4{,}76O_2).$$

В приближенных расчетах можно принять, что на каждую 1000 ккал высшей теплоты сгорания углеводородных газов требуется 1 м³ воздуха.

Коэффициент избытка воздуха. Чтобы обеспечить полноту сгорания газа в практических условиях, количество воздуха в газовоздушной смеси или подаваемого к месту горения должно превышать теоретически необходимое. Отношение фактического объема воздуха, участвующего в горении $V_в$, к объему теоретически необходимого воздуха V_0 называется коэффициентом избытка воздуха и обозначается α. Если, например, коэффициент избытка воздуха равен 1,2, это значит, что количество воздуха, участвующего в горении, превышает теоретически необходимое в 1,2 раза, или на 20%.

Коэффициент избытка воздуха является очень важной эксплуатационной характеристикой процесса горения: уменьшение его ниже определенных пределов может привести к неполноте сгорания газа, а увеличение — к неоправданным потерям тепла с отходящими газами. Кроме того, с увеличением избытка воздуха значительно снижается температура горения.

---

* Применяемый часто термин «гремучая смесь» относится только к водородно-кислородной смеси, отношение объема газов в которой соответственно составляет 2 : 1.

Если в процессе горения воздуха участвует больше теоретически необходимого, то кроме диоксида углерода, водяных паров и азота, образовавшихся при горении стехиометрических смесей, в продуктах сгорания присутствуют кислород и азот избыточного воздуха, не участвовавшего в горении, а также водяные пары, содержащиеся в газовом топливе и в воздухе.

Водяных паров в газовом топливе, как указывалось выше, мало, но зато некоторое количество водяных паров вносится к топку с воздухом, объем которого значительно больше объема сжигаемого газа. Так, при сжигании 1 м³ метана образуется 2 м³ водяных паров, масса которых составляет примерно 1600 г. В каждом 1 м³ воздуха, расходуемого на горение, при температуре около 25 °С и относительной влажности 50—70% содержится 10—14 г водяных паров; следовательно, общее количество водяных паров на 1 м³ сожженного газа составит около 1700 г.

Следует отметить, что при сжигании газового топлива образуется значительно больше водяных паров, чем при сжигании твердого топлива. Объясняется это тем, что основным горючим химическим элементом твердого топлива является углерод, в результате горения которого образуется только диоксид углерода.

При полном сгорании топлива коэффициент избытка воздуха определяют по формуле

$$\alpha = N_2'/(N_2' - 3{,}76O_2') \text{ *},$$

а при неполном сгорании

$$\alpha = \frac{N_2'}{N_2' - 3{,}76\,(O_2' - 0{,}5CO' - 0{,}5H_2' - 2CH_4')}.$$

По приведенным формулам значение α может быть определено в любом месте по пути движения продуктов сгорания, разбавленных воздухом: за топкой, за котлом, перед экономайзером и за ним, перед дымососом. При этом коэффициент избытка воздуха возрастает по ходу газов за счет присосов к ним воздуха через неплотности обмуровки.

Содержание в продуктах сгорания O_2', CO', H_2' и CH_4' определяют химическим анализом, а содержание азота по разности

$$N_2 = 100 - (O_2 + CO_2 + CO + H_2 + CH_4).$$

---

* Здесь и далее продукты сгорания отмечены знаком '.

Таблица 7.6

Состав продуктов сгорания и коэффициент α

Природный газ, $CO_{2max} = 11,8$				Нефтепромысловый, $CO_{2max} = 13,0$			
CO_2'	O_2'	N_2'	α	CO_2'	O_2'	N_2'	α
11,8	0,0	88,2	1,00	13,0	0,0	87,0	1,00
11,4	0,7	87,9	1,03	12,6	0,6	86,8	1,03
11,0	1,4	87,6	1,06	12,2	1,3	86,5	1,05
10,6	2,1	87,3	1,10	11,8	1,9	86,3	1,09
10,2	2,8	87,0	1,14	11,4	2,6	86,0	1,13
9,8	3,6	86,0	1,18	11,0	3,2	85,8	1,16
9,4	4,2	86,4	1,22	10,6	3,9	85,5	1,21
9,0	5,0	86,0	1,28	10,2	5,5	85,3	1,25
8,6	5,7	85,7	1,33	9,8	5,1	85,1	1,30
8,2	6,4	85,4	1,40	9,4	5,8	84,8	1,35
7,8	7,1	85,1	1,46	9,0	6,4	84,6	1,40
7,4	7,8	84,8	1,53	8,6	7,1	84,3	1,46
7,0	8,5	84,5	1,61	8,2	7,7	84,1	1,53
6,6	9,2	84,2	1,71	7,8	8,4	83,8	1,61
6,2	10,0	83,8	1,82	7,4	9,0	83,6	1,68

В расчетах, связанных с объемными соотношениями процесса горения, важной характеристикой является величина $CO_{2\ max}$, %, показывающая максимальное содержание углекислого газа в сухих продуктах сгорания при условии, что $\alpha = 1$:

$$CO_{2\ max} = V_{CO_2} \cdot 100/(V_{CO_2'} + V_{N_2'}).$$

Например, для метана $CO_{2\ max} = 1 \cdot 100/(1 + 7,52) = 11,75$.

В прикидочных расчетах принимают следующие значения $CO_{2\ max}$: природный газ 11,8—12,2; нефтепромысловый (попутный) 13—13,5; коксовый 10,4; сланцевый 16,2.

С увеличением избытка воздуха содержание O_2 в продуктах сгорания возрастает и стремится к 21%, что соответствует содержанию его в воздухе. Состав продуктов сгорания при полном сгорании природного и попутного газа, а также соответствующие этим составам значения $CO_{2\ max}$ приведены в табл. 7.6.

7.3. СЖИГАНИЕ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА

Общие сведения о горелках. Для подачи к месту горения раздельно газа и воздуха или их смеси, частично или полностью подготовленной, обеспечения устойчивого сго-

рания газового топлива и регулирования горения предназначены газовые горелки.

От соотношения количества газа и воздуха, участвующих в горении, от условий их поступления к месту горения и перемешивания зависит характер факела (длина, температура, светимость) и устойчивость горения. Характер факела в свою очередь определяет особенности передачи теплоты в топке котла от горячих газов к поверхности нагрева.

Горелки бывают: общего назначения — с нерегулируемым факелом, обеспечивающие полное сгорание при минимальном α; специального назначения — для данного газопотребляющего агрегата; комбинированные — для совместного или раздельного сжигания газового, жидкого и твердого топлива; блочные — скомпонованные с вентилятором и оборудованные средствами автоматического управления и регулирования; с ручным управлением, включение которых, изменение режима работы и наблюдение осуществляет оператор; полуавтоматические — с дистанционным розжигом, оборудованные устройствами контроля пламени, запорными клапанами с средствами сигнализации; автоматические — с дистанционным запальником, устройствами контроля пламени, давления газа и воздуха, запорными клапанами, средствами управления, регулирования, сигнализации; пилотные — стационарные запальные, снабженные устройством контроля пламени.

Различают следующие способы подачи компонентов (газа и воздуха) в промышленные горелки: подача воздуха за счет свободной конвекции, за счет разрежения в рабочем пространстве (например, в топке); инжекция воздуха газом; принудительная подача воздуха от встроенного вентилятора (блочные горелки); принудительная подача воздуха за счет давления газа; инжекция газа воздухом (принудительная подача воздуха, инжектирующего газ); принудительная подача газовоздушной смеси от постороннего источника.

По степени подготовки газовоздушной смеси горелки бывают: без предварительного смешения; с частичным предварительным смешением; с неполным предварительным смешением; с полным предварительным смешением.

Горелки различаются по локализации зоны горения: в огнеупорном туннеле или в камере горения горелки; на поверхности катализатора или в слое катализатора;

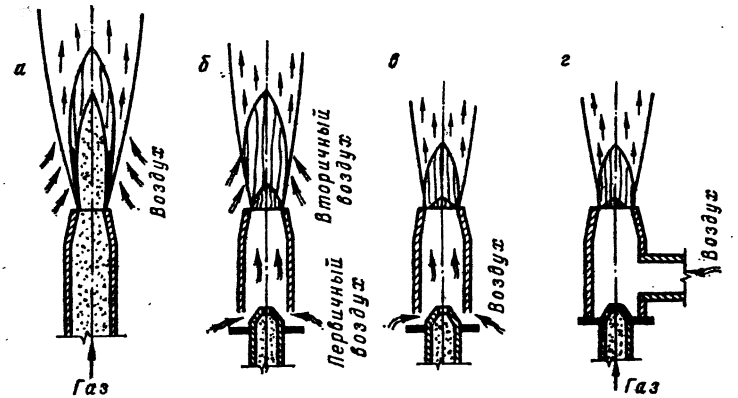


Рис. 7.2. Схемы образования газовоздушных смесей в горелках диффузионных (*а*), инжекционных с частичным подсосом воздуха (*б*), инжекционных с полным подсосом воздуха (*в*) и с принудительной подачей воздуха (*г*).

в зернистой огнеупорной массе; на огнеупорной поверхности; на керамических или металлических насадках; в камере горения или в открытом пространстве.

В зависимости от истечения газовоздушной смеси горелки бывают однофакельные, в которых смесь выходит через одно отверстие, и многофакельные, в которых смесь выходит через ряд (ряды) отверстий, расположенных в коллекторе.

Количество воздуха, поступающего в горелку, может быть меньше, равно или больше теоретически необходимого для горения количества. Отношение этих величин, по аналогии с коэффициентом избытка воздуха при горении, называется коэффициентом избытка воздуха горелки $\alpha_г$. При хорошем предварительном смешении газа с воздухом можно обеспечить полноту сгорания при коэффициенте избытка воздуха, равном 1,03—1,08, т. е. если количество воздуха всего лишь на 3—8% превышает теоретически необходимое.

Воздух, подаваемый в горелку для предварительного смешения с топливом, называется первичным; часть воздуха для горения, подаваемого через горелку или непосредственно в камеру сгорания, называется вторичным; воздух, подаваемый через горелку или непосредственно в камеру сгорания для разбавления продуктов сгорания и понижения их температуры, называется третичным

На рис. 7.2 приведены схемы образования газовоздушных смесей в горелках. В диффузионных горелках (часто

называемых внешнего смешения) воздух поступает к месту горения благодаря разрежению в топке (рис. 7.2, *а*). Смешение газа и воздуха происходит одновременно с процессом горения за счет диффузии, т. е. взаимного проникновения молекул газа и воздуха в соседние потоки.

В диффузионном факеле видна внутренняя конусообразная зона незагоревшегося газа. Следующая светящаяся зона состоит из смеси газа и продуктов сгорания, наружная зона — из смеси продуктов сгорания и воздуха. Наиболее интенсивное горение происходит между этими зонами, где количество воздуха близко к теоретически необходимому. Чем больше диаметр газовыходного отверстия, т. е. чем толще газовая струя, тем более длинный и сложный путь должны проделать молекулы кислорода до встречи с молекулами газа, движущимися в центре струи.

В инжекционных горелках, часто называемых горелками внутреннего смешения, воздух инжектируется внутрь горелки за счет энергии газа. Выходящая из сопла с большой скоростью струя газа создает разрежение на входе в горелку, и туда поступает (инжектируется) воздух. Далее происходит перемешивание газа с воздухом и газовоздушная смесь вытекает из горелки через выходное отверстие (или отверстия).

Количество воздуха, поступающего в инжекционную горелку, зависит от давления перед ней. Горелки с частичным предварительным смешением (низкого давления) инжектируют только 30—60% необходимого воздуха ($\alpha = 0{,}3 \div 0{,}6$). Примером таких горелок являются конфорочные горелки бытовых газовых плит. В отдельных факелах горелки можно выделить внутренний конус зеленоватого цвета (корневую зону факела), в котором горение происходит за счет первичного воздуха, и внешний конус, где горение происходит в основном за счет вторичного воздуха (рис. 7.2, *б*). На характер факела этих горелок влияет количество первичного воздуха, которое можно в определенных пределах регулировать положением воздушно-регулировочной заслонки. При увеличении количества первичного воздуха процесс горения заканчивается быстрее, факел при этом становится короче; при уменьшении количества первичного воздуха факел становится вялым, вытянутым, светящимся. Свечение факела вызывается наличием в нем раскаленных сажистых частиц.

Инжекционные горелки с полным предварительным смешением обеспечивают подсос всего необходимого для горения воздуха и хорошее перемешивание (рис. 7.2, *в*). Пламя у таких горелок несветящееся, короткое, не имеет четких очертаний и при избытке воздуха представляет собой пульсирующий, с отдельными, оторванными и дробящимися очагами горения факел.

В горелках с принудительной подачей воздуха, которые часто называют двухпроводными, воздух поступает от вентилятора (рис. 7.2, *г*). В зависимости от количества воздуха и способа его смешения с газом пламя может быть коротким, как в инжекционных горелках с полным предварительным смешением, и удлиненным, приближающимся к диффузионному, если смешение происходит в процессе горения.

От длины газового факела в значительной мере зависят условия передачи теплоты в топке и полнота сгорания. Соприкосновение факела с поверхностями котла, через которые теплота передается воде и которые имеют более низкую по сравнению с факелом температуру, может привести к неполноте сгорания и даже к образованию сажи — продукта неполного сгорания углеводородов. Длинный факел может вызвать перегрев металла и образование в нем трещин и разрывов или перегрев кладки топки, что приведет к ее быстрому разрушению.

Работа горелок характеризуется следующими терминами и определениями:

— фронт пламени — слой, в котором в данный момент происходит цепная реакция горения;

— стабильность пламени — установившееся состояние пламени, при котором оно занимает неизменное положение по отношению к выходному отверстию горелки;

— проскок пламени — перемещение корневой зоны факела навстречу вытекающей смеси (внутрь горелки);

— отрыв пламени — перемещение огневой зоны факела от выходного отверстия по направлению течения смеси (без погасания факела);

— срыв пламени — отрыв пламени, сопровождающийся его погасанием;

— тепловая мощность горелки — количество теплоты, образующейся в результате сжигания газа в единицу времени, называется тепловой мощностью горелки. Она представляет собой произведение расхода газа ($V_г$, м³/ч)

на его низшую теплоту сгорания ($Q_н$, ккал/м³): $Q_г = V_г Q_н$;

— номинальная тепловая мощность — максимальная мощность, достигаемая за время длительной работы горелки, при которой показатели ее работы соответствуют установленным нормам;

— максимальная тепловая мощность горелки — мощность, равная 0,9 мощности, соответствующей верхнему пределу устойчивой работы горелки;

— минимальная тепловая мощность горелки — мощность, равная 1,1 мощности, соответствующей нижнему пределу устойчивой работы горелки;

— минимальная рабочая тепловая мощность — минимальная мощность горелки, при которой показатели ее работы соответствуют установленным нормам;

— коэффициент рабочего регулирования $K_{р.р}$ — отношение номинальной тепловой мощности к ее минимальной рабочей тепловой мощности. Он колеблется от 3 до 5, т. е. минимальная рабочая тепловая мощность может быть в 3—5 раз меньше номинальной;

— максимальное (номинальное, минимальное, минимальное рабочее) давление газа (воздуха) перед горелкой — давление газа (воздуха), измеренное после последнего по ходу регулирующего или запорного органа горелки и соответствующее максимальной (номинальной, минимальной, минимальной рабочей) тепловой мощности горелки;

— тепловое напряжение огневого сечения $F_{о.с}$ — отношение количества выделившейся в единицу времени теплоты к площади поперечного сечения выходного отверстия (устья горелки, туннеля, щели): $q_f = Q_г/F_{о.с}$;

— плановое регулирование — регулирование, при котором регулятор расхода газа может быть установлен в любое положение между максимальным и минимальным рабочим положениями; при этом расход воздуха для горения пропорционален соответствующему расходу топлива. Плавное регулирование расхода газа и воздуха обычно осуществляют с помощью регулирующих заслонок (см. раздел 2.2);

— ступенчатое регулирование — регулирование, при котором допускается несколько положений регулятора расхода газа между максимальным и минимальным рабочим положениями. В ряде систем автоматизации регулирование тепловой мощности горелки осуществляется не

одним, а двумя параллельно включенными регуляторами расхода газа (электромагнитными клапанами, имеющими только два рабочих положения — «Открыто» и «Закрыто»). В этом случае ступенчатое регулирование обычно обеспечивает два рабочих режима (не считая полного прекращения подачи топлива): «большое горение», соответствующее номинальной тепловой мощности горелки — оба электромагнитных клапана открыты; «малое горение», соответствующее 40 или 50% номинальной тепловой мощности, в зависимости от того, какие электромагнитные клапаны использованы в системе (одинаковой или различной пропускной способности) — один клапан открыт (если клапаны различные, то обычно меньшего $D_у$), второй — закрыт.

Все типы горелок, устанавливаемых на котлах, должны пройти испытания в Государственном центре горелочных устройств. До настоящего времени еще находятся в эксплуатации некоторые типы ранее установленных горелок, не прошедшие государственных испытаний (подовые, форкамерные и др.) или не рекомендуемые к использованию.

Стабилизация пламени. Одним из условий безопасности сжигания газа является стабилизация (устойчивость) пламени, т. е. работа без срыва, отрыва и проскока во всем диапазоне регулирования тепловой мощности горелки. Срыв и отрыв пламени приводят к химической неполноте сгорания или к заполнению топки газовоздушной смесью, а проскок — к перегреву и выходу из строя горелки и химической неполноте сгорания.

В горелках инжекционных и с принудительной подачей воздуха при $\alpha \geqslant 1{,}0$ скорость газовоздушной смеси в выходном отверстии горелки во много раз превышает скорость горения. Поэтому при отсутствии специальных конструктивных приемов нельзя было бы обеспечить устойчивость фронта пламени.

Причинами нарушения устойчивости фронта пламени являются: работа горелки за пределами тепловой мощности, указанной в паспорте или режимной карте; резкие переходы с одной тепловой мощности на другую; изменения состава газового топлива, вызывающие изменения его теплоты сгорания и плотности; нарушения соотношения газа и воздуха в газовоздушной смеси; резкое повышение разрежения в топке; конструктивные нарушения в горелке.

Во время включения и выключения горелки и в периоды резкого снижения ее тепловой мощности скорость

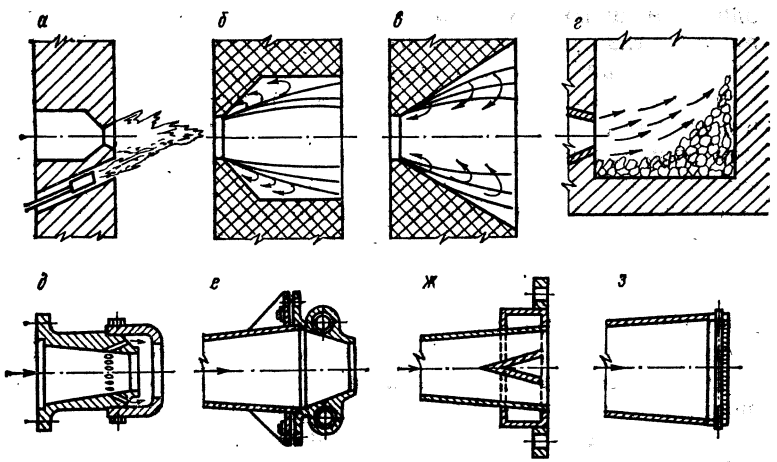


Рис. 7.3. Схемы стабилизирующих устройств, предотвращающих отрыв пламени.

а — стационарный запальник; *б* — цилиндрический туннель; *в* — конический туннель; *г* — керамическая горка; *д* — кольцевой стабилизатор; *е* — с охлаждением огневого насадка; *ж* — с клиновидной вставкой и охлаждением; *з* — пластинчатый со стабилизирующими стержнями.

смеси на выходе из устья может оказаться меньше скорости горения. В таких случаях, а также при чрезмерном нагреве устья горелки может произойти затягивание или проскок пламени внутрь горелки. При этом нарушается нормальная работа горелки, она недопустимо перегревается и может деформироваться или полностью выйти из строя.

Диффузионное пламя при спокойном истечении газа является устойчивым. При больших скоростях выхода газа возможен отрыв пламени, а при больших скоростях воздуха возможно задувание факелов. Проскок пламени в этих горелках невозможен, так как к месту горения из газовыходных отверстий поступает не газовоздушная смесь, а газ.

На рис. 7.3 показаны различные методы стабилизации пламени: стационарное запальное устройство, туннели различной формы, раскаленные керамические поверхности (керамические горки, решетки и др.), специальные устройства, конструктивно встроенные непосредственно в горелку. Наибольшее распространение получили туннели конической и цилиндрической формы, применяемые при установке горелок различных типов. В туннелях

стабилизацию пламени обеспечивают высокая температура и большая излучающая способность поверхности туннеля. Кроме того, в туннелях создаются зоны обратных токов (рециркуляции) или завихрений части продуктов горения, имеющих высокую температуру и способствующих воспламенению вытекающей из горелки газовоздушной смеси.

Характер завихрений в туннеле зависит от наличия устройств крутки воздуха. У горелок без крутки при цилиндрическом туннеле, имеющем внезапное расширение, образуется кольцевая зона завихрений вблизи устья горелки. У горелок с круткой при коническом туннеле поток воздуха приобретает спиралеобразную форму, и внутри потока образуется зона разрежения, где и происходит завихрение части продуктов горения.

Туннели собирают из специальных высокоогнеупорных горелочных камней промышленного производства. При отсутствии горелочных камней туннели изготавливают на месте путем набивки огнеупорной массы по шаблонам.

В качестве стабилизаторов пламени применяют также решетки, столбики, рассекатели, выкладываемые из огнеупорного кирпича в топке. Такие устройства, имеющие плохообтекаемую форму, способствуют созданию за ними зон завихрения продуктов горения, что обеспечивает поджигание движущейся газовоздушной смеси. Эти стабилизаторы при работе горелок разогреваются до светло-красного каления, что способствует горению части газовоздушной смеси на поверхности стабилизатора, а также улучшает передачу тепла излучением.

Для однофакельных горелок в качестве стабилизаторов применяют горки из разбитого шамотного кирпича. В этом случае для стабилизации пламени необходимо обеспечить определенное расстояние от горки до горелки (в зависимости от длины факела). Излишнее приближение горки к устью горелки приводит к неравномерному распределению теплоты в топке, а излишнее удаление нарушает достаточный нагрев горки и снижает ее стабилизирующие свойства.

Для некоторых типов многофакельных горелок, например горизонтальных щелевых (подовых), форкамерных, стабилизация горения обеспечивается устройством щелевидного туннеля в огнеупорной кладке.

В кольцевом стабилизаторе часть газовоздушной смеси выходит с небольшой скоростью через боковые отверстия,

диаметр которых меньше критического. Устойчивое огневое кольцо вокруг основного потока газовоздушной смеси обеспечивает стабилизацию горения. При этом наличие огневого кольца предохраняет основной поток от разбавления избыточным воздухом из топки. Огневое кольцо следует изготавливать из жароупорного кирпича или жаропрочной стали.

Применяемое в некоторых горелках водяное охлаждение (рис. 7.3, *е*) предохраняет от проскока благодаря отводу теплоты от огневого насадка, а следовательно, и понижению температуры в кольцевой зоне факела у устья горелки. На рис. 7.3, *ж* показано применение двух устройств стабилизации: охлаждения устья горелки и клиновидного охлаждаемого стабилизатора, за которым создаются зоны рециркуляции продуктов горения. На рис. 7.3, *з* показан стабилизатор, представляющий собой решетку, набранную из металлических пластин, стянутых стержнями. Наличие стержней, обеспечивает создание завихрений в потоке газовоздушной смеси, а расстояние между пластинами, не превышающее критических зазоров, гарантирует отсутствие проскока.

7.4. КОНСТРУКЦИИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЕЛОК

7.4.1. ДИФФУЗИОННЫЕ ГОРЕЛКИ

Работают на газе низкого и среднего давления. Установлены в чугунных секционных котлах, котлах ТВГ и некоторых других. Горелка состоит из газового коллектора, изготовленного из стальной трубы, и щелевидного туннеля — стабилизатора (рис. 7.4). В коллекторе имеются два ряда газовыходных отверстий, просверленных в шахматном порядке под углом, как правило, 45° к вертикальной оси коллектора. Расстояние между отверстиями определяется условиями «беглости огня», т. е. воспламенения газовых факелов по длине коллектора от соседних горящих факелов. В разных горелках расстояние между центрами отверстий составляет 15—26 мм.

Воздух поступает в туннель через колосниковую решетку (или стальной перфорированный лист) из поддувального пространства за счет разрежения в топке или подается дутьевым вентилятором. На колосниковой решетке с шагом 250 мм установлены на ребро кирпичи, перекрытые

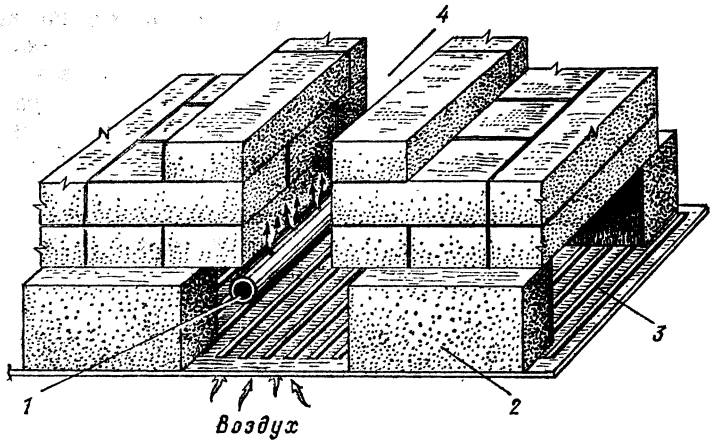


Рис. 7.4. Установка подовой горелки.
1 — газовый коллектор; *2* — кирпич «на ребре»; *3* — колосниковая решетка; *4* — огневая щель.

рядами кирпича, уложенными плашмя. Коллектор устанавливают строго по оси туннеля.

Кладку туннеля ведут по деревянному шаблону. Отклонения по ширине туннеля не должны превышать 2 мм. Для кладки туннеля следует применять шамотный кирпич класса А I сорта с небитыми гранями. Раствор должен равномерно заполнять весь шов и не выступать в щель. Поверхность туннеля нельзя обмазывать раствором, так как в процессе эксплуатации он может отваливаться и засорять отверстия колосников и газовыходные отверстия горелки. Отверстия в колосниках должны быть чистыми, чтобы не было дополнительного сопротивления проходу и распределению воздуха, а кладка горизонтальных рядов кирпича должна быть плотной, чтобы воздух поступал только в туннель, омывая коллектор горелки.

Достоинствами подовых горелок являются простота конструкции и устойчивая работа при низких давлениях газа (примерно 40 кгс/м^2). Недостатки горелок: необходимость обеспечивать завышенный расход воздуха, больший, чем у других горелок; зависимость расхода воздуха от разрежения в топке. Значительная длина факела, вызываемая малой скоростью перемешивания газа с воздухом, требует соответствующей высоты топки. При недостаточной высоте топки факел касается поверхностей нагрева или

затягивается в газоходы, что приводит к химической неполноте сгорания, образованию и отложению сажи.

Полнота сгорания газа в горелках этого типа зависит от соотношения скоростей газа и воздуха, диаметра и расположения газовыходных отверстий, расстояния между отверстиями, размеров, формы и качества выкладки щели, разрежения в топке. Особенно важной является равномерность распределения воздуха по длине туннеля.

Горелки ПГ-Н УкрНИИжилпроекта имеют 8 модификаций со следующими характеристиками:

Номинальная тепловая мощность, Мкал/ч	43—638
Диаметр газового коллектора, мм	25; 40; 50
Диаметр газовыходных отверстий, мм:	
при давлении газа 130 кгс/м²	1,4—1,6
при давлении газа 200 кгс/м²	1,3—1,4
Число газовыходных отверстий	От 26 до 254
Ширина туннеля, мм	90; 110; 120

Разрежение в топке должно быть в пределах 1,5—2 кгс/м² на высоте 1 м над горелкой, а при наличии на котле пропорционизатора воздуха (см. раздел 10.2) — 2—3 кгс/м². Коэффициент избытка воздуха в топке 1,20—1,25. Для горелок требуется достаточная высота топки, так как длина факела достигает 1500 мм.

Подовые горелки Ленгипроинжпроекта разработаны для определенных котлов с площадью поверхности нагрева более 35 м². Имеют два коллектора (и два туннеля), соединенные поперечным патрубком, в котором расположен один ряд газовых отверстий. Эти горелки обеспечивают более равномерное распределение теплоты в топке, уменьшение длины факела.

Подовые горелки однорядные дутьевые (с принудительной подачей воздуха) низкого и среднего давления ПГОД-Н и ПГОД-С рассчитаны на давление газа соответственно 130 или 200 и 3000 кгс/м². Расчетное давление воздуха 50 кгс/м². Горелки имеют различные конструктивные размеры и обеспечивают тепловую мощность от 127 до 1700 Мкал/ч. Объем сжигаемого природного газа указан в обозначении типа горелки (например, ПГОД-Н-75). Диаметр газовыходных отверстий 1,4—2,1 мм — в зависимости от тепловой мощности горелки и номинального давления.

Горелки ПГОД-Н имеют 8 модификаций, а ПГОД-С—6. Характеристики этих горелок следующие:

	ПГОД-Н	ПГОД-С
Номинальная тепловая мощность, Мкал/ч	127—850	425—1700
Диаметр газовыходных отверстий, мм	1,4—2,1	1,5—1,8
Число отверстий	66—194	46—126
Диаметр газового коллектора, мм	32; 40; 50; 80	40; 50
Ширина туннеля, мм	90; 100; 110; 130	100; 120

Подовые горелки на котлах ТВГ (КВГ) работают на газе среднего давления. В каждом отсеке топки между экранами расположен один коллектор диаметром 50 мм в котлах ТВГ-4Р и 70 мм в котлах ТВГ-8М. Диаметр газовыходных отверстий в коллекторе в обоих случаях равен 1,5 мм, а шаг между отверстиями соответственно 25 и 18 мм. Щель горелок имеет внезапное расширение в верхней части. Длина щели и огневой части горелок равна длине экрана.

Коллекторы закреплены направляющими в задней и передней стенках топки. Среднюю часть коллектора во избежание его прогиба опирают на 1—2 кирпича. Зазор между передней направляющей и коллектором после правильной установки последнего уплотняют шамотным раствором с асбестовой крошкой.

Поддувальное пространство разделено перегородками на каналы, по которым к горелкам поступает воздух, подаваемый дутьевым вентилятором. На отводах от общего воздушного канала к отдельным горелкам имеются регулировочные заслонки. Для более равномерного распределения воздуха по длине газового коллектора применена воздухораспределительная решетка. Если производительность котла меньше 40% номинальной, можно работать без дутьевого вентилятора.

Подовые горелки (за исключением горелок для котлов ТВГ) не проходили государственных испытаний и применение их допустимо при соблюдении следующих условий: наличия на котле автоматики, обеспечивающей поддержание заданного разрежения в топке и соотношения газ—воздух; повышения давления газа перед горелками низкого давления до 200 кгс/м^2; обеспечения работы котлов в оптимальных режимах; ужесточения требований по приемке горелок; проведения пусконаладочных работ и соответствия условий эксплуатации требованиям режимных карт.

Характеристика горелок. Инжекционные горелки различают: по давлению — низкого и среднего давления; по виду факела — многофакельные (с распределительным коллектором) и однофакельные; по количеству сопел — односопловые и многосопловые; по расположению сопел — с центральным и периферийным расположением.

Объемные соотношения газа и воздуха, засасываемого инжекционной горелкой, определяются коэффициентом инжекции и коэффициентом избытка воздуха. Коэффициентом инжекции называют отношение объема первичного воздуха $V_{п.в}$, засасываемого горелкой за определенное время, к объему газа $V_г$, прошедшего через горелку в это же время. Коэффициент инжекции A и коэффициент избытка воздуха α выражаются формулами

$$A = V_{п.в}/V_г; \quad \alpha = A/V_0.$$

Чем выше теплота сгорания газа, тем больше требуется воздуха для его сгорания и тем больше при одном и том же коэффициенте избытка воздуха должен быть коэффициент инжекции, т. е. тем больше воздуха должен подсасывать 1 м³ газа.

В интервале давления газа от 2000 до 9000 кгс/м² инжекционная способность горелки почти не меняется при изменении давления газа перед горелкой и разрежения в топке. При давлениях ниже 2000 и особенно ниже 1000 кгс/м² коэффициент избытка воздуха возрастает с уменьшением давления и с увеличением разрежения в топке.

Для обеспечения нормального процесса горения большое значение имеет постоянство состава газового топлива. Изменение плотности приводит к изменению инжектирующей способности горелки, а изменение теплоты сгорания требует соответствующего изменения количества подаваемого для горения воздуха. При небольших колебаниях указанных характеристик газового топлива (числа Воббе) необходимый коэффициент избытка воздуха можно поддерживать изменением давления перед горелкой и степени открытия воздушно-регулировочной заслонки.

Если отклонение числа Воббе превышает на $\pm 5\%$ значение этой характеристики при испытаниях горелки данного типоразмера, необходимы изменения диаметра газовыходных отверстий и давления газа, которые опре-

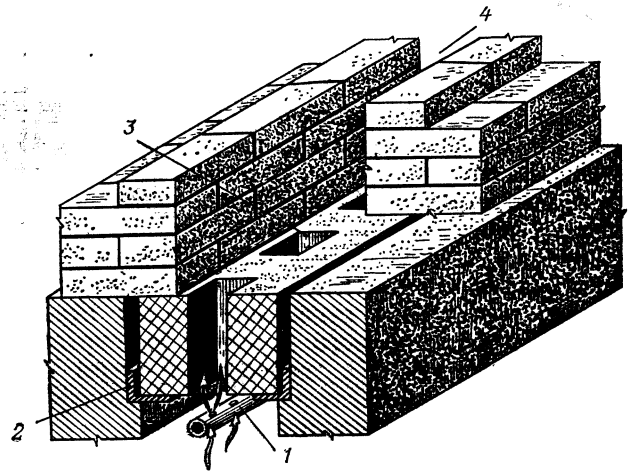


Рис. 7.5. Форкамерная горелка с одним коллектором.
1 — газовый коллектор; *2* — опорная конструкция; *3* — канал-смеситель; *4* — форкамера.

деляются наладочной или проектной организацией. Вопрос о возможности использования такой горелки должен быть согласован с местным органом Госгазнадзора.

Достоинства инжекционных горелок: использование энергии газа для подсоса воздуха; хорошее перемешивание газа и инжектируемого воздуха и поддержание, в определенных диапазонах, расчетного соотношения их количеств при изменении тепловой мощности горелки. Основными недостатками горелок с одним газовым соплом являются значительная длина, особенно при больших тепловых мощностях: необходимость строгого совпадения оси сопла с осью горелки; высокий уровень шума, а горелок низкого давления — значительная длина факела и зависимость поступления вторичного воздуха от разрежения в топке.

Горелки ГИФ. Горелки инжекционные форкамерные работают на газе низкого и среднего давления. Они состоят из одного, двух или трех газовых коллекторов диаметром 38 и 50 мм и каналов-смесителей, образованных кладкой из огнеупорного кирпича, и общей камеры-щели, называемой форкамерой (предкамерой) (рис. 7.5). Газовыходные отверстия — сопла диаметром от 3 до 6 мм — в коллекторах расположены в один ряд по оси трубы через

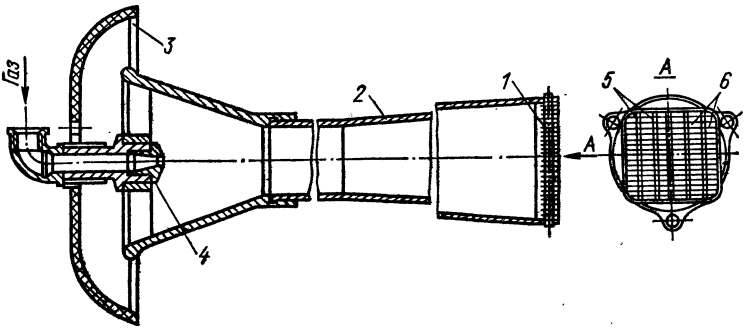


Рис. 7.6. Горелка ИГК.

1 — пластинчатый стабилизатор; *2* — смеситель; *3* — воздушная заслонка; *4* — сопло; *5* — стержни, предотвращающие отрыв; *6* — пластины, предохраняющие от проскока.

140 мм. Над каждым соплом строго центрированно имеются квадратные каналы-смесители из керамических блоков высотой 250 мм и с размером сторон 60—110 мм. Сопло вместе с каналом-смесителем представляет собой упрощенную схему инжекционной горелки. Процесс горения происходит в форкамере шириной 100—160 мм, в которую поступает газовоздушная смесь из каналов-смесителей. Горелка обеспечивает подсос около 60% необходимого для горения воздуха.

Для нормальной работы горелок достаточно иметь разрежение в топке в пределах 0,5—1 кгс/м², а для горелок среднего давления — не менее 1,5 кгс/м². При этом коэффициент избытка воздуха составляет соответственно 1,1—1,15 и 1,05—1,1. Номинальное низкое давление газа перед горелками 130 или 300 кгс/м², среднее — 2000 или 3000 кгс/м².

Недостатком форкамерных горелок является сложность огнеупорной кладки и особенно необходимость точного устройства каналов-смесителей, соблюдение размеров форкамеры. Переход в необходимых случаях на резервное топливо и последующее восстановление горелки — работы трудоемкие, требующие достаточного времени.

Горелки не проходили государственных испытаний и их эксплуатация допустима при соблюдении требований, указанных для подовых горелок.

Горелки ИГК. Инжекционные горелки состоят из следующих частей (рис. 7.6): газового сопла; воздушно-регулировочной заслонки; сужающейся части (конфузора);

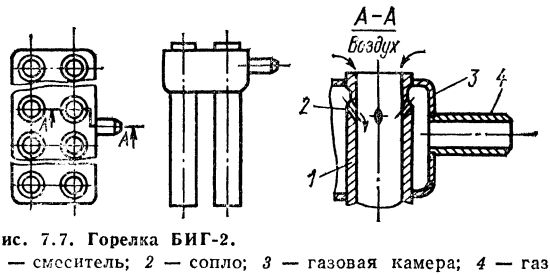


Рис. 7.7. Горелка БИГ-2.
1 — смеситель; *2* — сопло; *3* — газовая камера; *4* — газопровод.

короткой узкой части, называемой горлом горелки; расширяющейся части — смесителя; пластинчатого стабилизатора. Пластины в пакете толщиной 0,5 мм насажены на стержни диаметром 3 мм и расположены с промежутками 1,5 мм. Между пластинами на стержни нанизаны шайбы, определяющие это расстояние.

Воздушная заслонка используется в основном для снижения шума при работе горелки, для чего ее внутренняя поверхность оклеена слоем шумопоглощающего материала (войлок). При выключении горелки заслонку необходимо оставлять открытой, чтобы через горелку проходил воздух для охлаждения пластин.

Горелка имеет несколько модификаций с тепловой мощностью от 60 до 1800 Мкал/ч. Оптимальное давление газа — 0,7 кгс/см^2; коэффициент рабочего регулирования — от 3 (для ИГК1-6) до 6,4 (для ИГК4-150).

Горелки инжектируют весь воздух, необходимый для сгорания газа, при разрежении в топке 1—2 кгс/м^2. Наличие в топке хотя бы небольшого противодавления приводит к снижению инжекционной способности горелки, что может явиться причиной перегрева и разрушения пластин стабилизатора. К такому же результату может привести проскок пламени, если будет увеличен зазор между пластинами из-за коробления или плохого изготовления стабилизатора. Засорение зазоров между пластинами приводит к снижению инжекционной способности горелки и неполноте сгорания газа.

В эксплуатационных условиях ворсинки войлока часто приводят к засорению пластинчатого стабилизатора, что также может привести к ухудшению работы горелки. Поэтому вместо войлока желательно применять листовой поролон.

Горелки М-К и М-С. Инжекционные горелки работают при разрежении в топке 1—3 кгс/м². Различаются между собой тем, что в горелках М-К в качестве стабилизатора пламени использован цилиндрический туннель с внезапным расширением, а в горелках М-С — кольцевой стабилизатор. Горелки имеют несколько модификаций прямолинейного и углового исполнения с тепловой мощностью от 64 до 1470 Мкал/ч.

Недостатком этих горелок, особенно большой мощности, являются: большие габаритные размеры, сильный шум при работе, узкий диапазон регулирования тепловой мощности.

Горелки БИГ. Инжекционные горелки с периферийной подачей газа представляют собой собранные в блоки элементы-смесители диаметром 48 и длиной 290 мм, объединенные общим газовым коллектором (рис. 7.7). Изготавливают горелки однорядными (БИГ-1), двухрядными (БИГ-2) и трехрядными (БИГ-3). Номинальное давление газа 5000 кгс/м². Горелки работают с коэффициентом избытка воздуха $\alpha_г = 1{,}02 \div 1{,}05$ при разрежении в топке 1,5—2 кгс/м².

Тепловая мощность горелок колеблется от 82 до 1980 Мкал/ч и зависит от количества элементов в блоке, указанного в обозначении горелки (например, БИГ-2-8, БИГ-3-12).

Газовые сопла в элементах расположены по окружности (периферии) трубки. Такая подача газа, а также отсутствие воздушно-регулировочной заслонки улучшают условия инжекции воздуха и обеспечивают более широкий диапазон регулирования тепловой мощности горелки. Элементы имеют небольшую длину, и горелки удобно размещаются в обмуровке котла. Горелки создают шум более низкого уровня, чем горелки с центрально расположенным соплом.

Горелки можно разжигать с тыльной стороны одного из элементов, через которые просматривается газовый факел. Проскок пламени в отдельных элементах легко ликвидируется прикрытием тыльной части этого элемента. Вместе с тем горелки требуют тщательного изготовления, так как отклонения диаметра сопел, угла расположения их относительно оси горелки и размеров стабилизирующего туннеля от расчетных размеров ухудшают инжекционную способность и устойчивость работы.

При установке горелок пространство между элементами плотно заполняют огнеупорной массой густой консистенции (размер зерен не более 3 мм) в два этапа с промежутком между ними 24 ч. Окончательная сушка производится совместно с сушкой туннеля при минимальной тепловой мощности. До набивки массы в элементы вставляют деревянные пробки, удаляемые после окончания работ.

Для нормальной работы горелки большое значение имеют строгое соблюдение размеров туннеля при монтаже и хорошее состояние его в период эксплуатации. Увеличение глубины туннеля ухудшает инжекционную способность, уменьшение длины нарушает свойства туннеля как стабилизатора горения, что может явиться причиной отрыва пламени.

7.4.3. ГОРЕЛКИ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ ВОЗДУХА

Подача воздуха под давлением позволяет обеспечить большую тепловую мощность при сравнительно небольших размерах горелки. Для лучшего перемешивания газ выходит через многочисленные отверстия мелкими струями, направленными под углом к потоку воздуха. В зависимости от направления газовых струй различают горелки с «центральной подачей газа», если струи направлены от центра к окружности, горелки с «периферийной подачей газа», если струи направлены от окружности к центру горелки.

Во многих конструкциях горелок этого типа воздуху придают вращательное движение. Для этого применяют направляющие лопаточные аппараты с постоянным и регулируемым углом установки лопаток, придают горелке улиткообразную форму или вводят воздух тангенциально в горелку цилиндрической формы.

Горелки позволяют регулировать длину и светимость факела, а также подавать к месту горения воздух, предварительно подогретый в воздухоподогревателе. Полнота сгорания может быть достигнута при минимальном коэффициенте избытка воздуха. Недостатками горелок являются: расход электрической энергии на работу вентилятора, необходимость своевременного и надежного отключения газа при остановке вентилятора.

Горелки ГА. Как видно из рис. 7.8, газ низкого или среднего давления проходит по трубкам (элементам), на

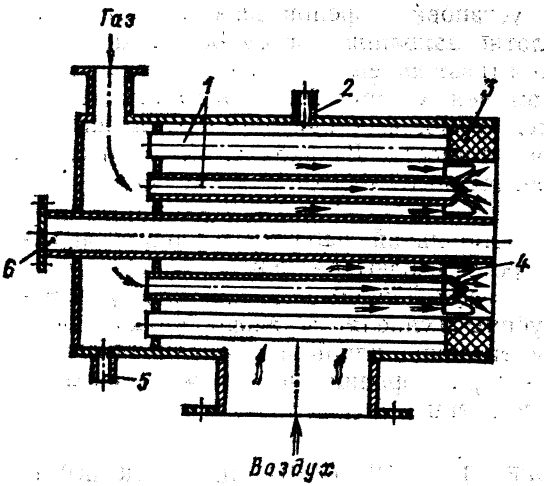


Рис. 7.8. Горелка ГА.
1 — газовые трубки; *2* — штуцер для измерения давления воздуха; *3* — футеровка из огнеупорного бетона; *4* — ребра конических головок; *5* — штуцер для измерения давления газа; *6* — смотровая труба.

концы которых навернуты головки с коническим дном. В дне имеются отверстия для выхода газа под углом к потоку воздуха. Эти же головки имеют ребра, предназначенные для закручивания воздуха, поступающего к месту смешения его с газом. Расположенная в центре горелки труба диаметром 80 мм предназначена для наблюдения за горением, а при сжигании мазута ее используют для установки форсунки.

Горелки имеют несколько модификаций с тепловой мощностью от 0,34 до 8 Гкал/ч, которая зависит от количества элементов, диаметра и числа газовыходных отверстий. Для стабилизации горения применяют, как правило, короткий цилиндрический туннель с внезапным расширением.

Головки трубок навертывают с применением жаростойкого уплотнительного материала, чтобы газ выходил только через газовыходные отверстия. Свободные пространства между головками трубок в устье горелки уплотняют жароупорным бетоном. Это предохраняет горелку от перегрева и обеспечивает поступление воздуха только к газораспределительным головкам.

Номинальное давление газа перед горелками при низком давлении принято 130, а при среднем— 3000 кгс/м². При низком давлении в необходимых случаях возможна работа горелки с давлением до 10 кгс/м² без заметного нарушения устойчивости горения. Оптимальное давление воздуха для горелок ГА независимо от давления газа принято равным 100 кгс/м².

Горелки ГА разрешается использовать на тех котлах, где они уже работают. В ряде случаев эти горелки заменяют горелками ГГВ.

Горелки ГГВ. Горелки газовые вихревые состоят из концентрических, т. е. вставленных друг в друга, воздушной и газовой камер (рис. 7.9). Внутри газовой камеры расположена труба, которая при работе на газе служит для розжига горелки и наблюдения за горением, а при работе на мазуте — в нее устанавливают мазутную форсунку.

Газ выходит из газового коллектора через отверстия, просверленные в один ряд, и под углом 90° поступает в поток воздуха от центра к периферии. Для крутки воздуха к наружной поверхности газовой камеры под углом 45° приварены лопатки. Горелки могут работать на газе низкого (200 кгс/м²) и среднего (3000 кгс/м²) давления при соответствующем изменении количества и диаметра газовыходных отверстий. Номинальное давление воздуха 160 кгс/м². Работают горелки при разрежении и противодавлении в топке. Полное сгорание обеспечивается при $\alpha = 1{,}02 \div 1{,}03$. Коэффициент рабочего регулирования 4,3—4,5.

Благодаря болтовому соединению воздушной и газовой камер патрубки этих камер могут быть повернуты относительно друг друга, подача воздуха и газа может осуществляться с одной или разных сторон. Пережим потока, создаваемый огневым насадком, повышает устойчивость горения и снижает зависимость давления газа от давления воздуха.

В качестве стабилизатора при необходимости работы на мазуте применяют конический туннель. Для розжига горелки в этом случае в обмуровке предусматривают горизонтальный канал диаметром 50 мм.

Горелки имеют несколько типоразмеров с тепловой мощностью от 0,1 до 7,45 Гкал/ч; длина факела от 0,14 до 2 м.

Горелки Г-0,4 и Г-1,0. Эти горелки установлены на котлах небольшой теплопроизводительности. Газ в горелку

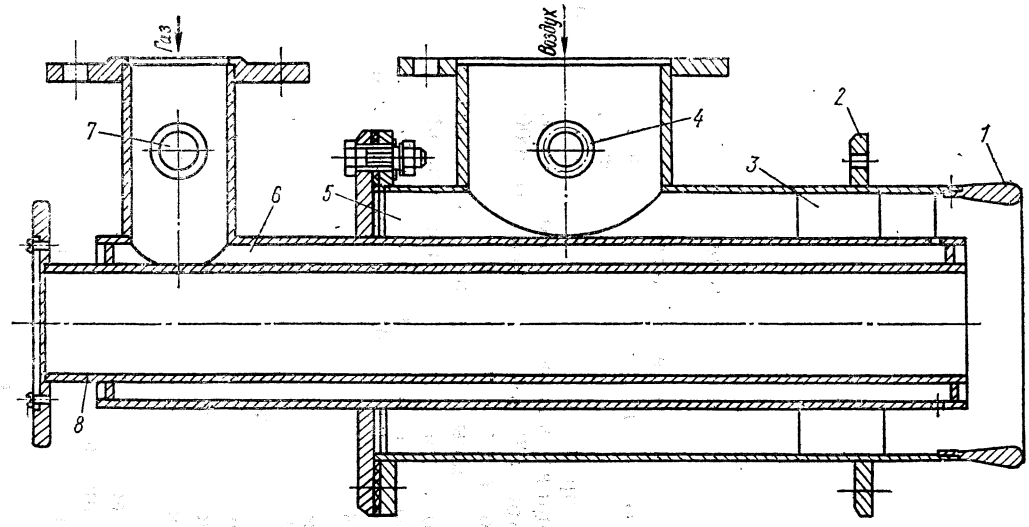


Рис. 7.9. Горелка ГГВ.

1 — огневой насадок с пережимом; *2* — фланец; *3* — лопатка; *4* и *7* — штуцеры для манометра; *5* — воздушная камера; *6* — газовая камера; *8* — смотровая труба.

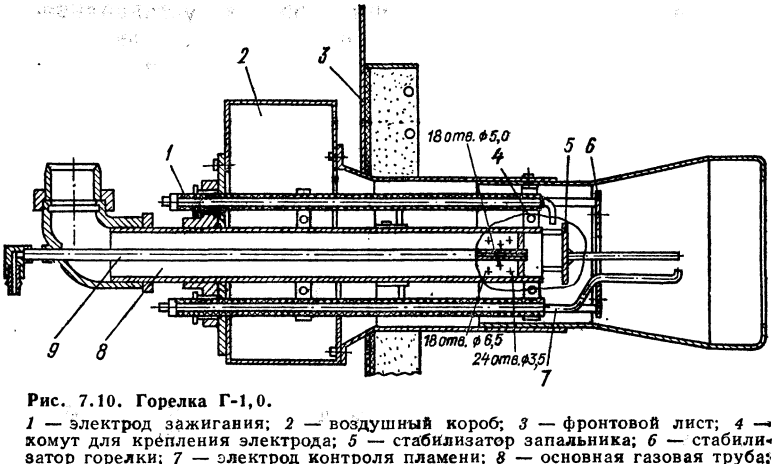


Рис. 7.10. Горелка Г-1,0.

1 — электрод зажигания; *2* — воздушный короб; *3* — фронтовой лист; *4* — хомут для крепления электрода; *5* — стабилизатор запальника; *6* — стабилизатор горелки; *7* — электрод контроля пламени; *8* — основная газовая труба; *9* — запальная трубка.

поступает по двум трубам: основной — диаметром 70 мм и запальной — диаметром 10 мм, проходящей внутри основной трубы (рис. 7.10). Газовая часть горелки расположена в воздушном коробе, куда поступает воздух от дутьевого вентилятора. Конец основной трубы заглушен, и газ выходит через три ряда отверстия диаметром 6,5; 5 и 3,5 мм, просверленных в основной трубе перпендикулярно к потоку воздуха.

В горелке имеются два электрода — зажигания и контроля пламени, защищенные фарфоровыми трубками. Газ, выходящий из запальника, зажигается искрой, возникающей между электродом зажигания и корпусом горелки при подаче тока высокого напряжения от трансформатора зажигания. После появления устойчивого пламени запальника через второй электрод поступает сигнал в систему автоматического управления на подачу газа в основную горелку. Этот электрод контролирует также и наличие пламени; при погасании пламени подача газа автоматически прекращается.

Для стабилизации пламени запальника его горящий факел направлен на диск, расположенный вблизи торца запальника. Второй диск установлен в смесителе горелки поперек движения потока газовоздушной смеси. Поступление воздуха в горелку регулируется в зависимости от расхода газа заслонкой, установленной на воздушном регистре.

Существуют две модификации горелок: устанавливаемые вертикально и горизонтально. Горелки несколько различаются по размерам и способу крепления стабилизирующей шайбы. Горелка Г-1,0К отличается от горелки Г-1,0 укороченной на 420 мм длиной.

Практика наладки и эксплуатации показала, что для надежной и нормальной работы горелки Г-1,0 очень важно, чтобы расположение и расстояния между электродами и другими ее элементами точно соответствовали проектным данным.

Характеристики горелок, полученные при государственных испытаниях (разрежение в топке 2 кгс/м^2), следующие:

	Г-0,4	Г-1,0
Номинальная тепловая мощность, Мкал ч	377	963
Номинальное давление газа, кгс/м^2	30	85
Давление воздуха, кгс/м^2	40	115
Коэффициент избытка воздуха	1,05	1,03
Коэффициент рабочего регулирования	3,7	4,3
Длина факела, м	0,84	1,15

На котлах с наддувом номинальное давление газа должно быть увеличено для Г-0,4 до 80—90, для Г-1,0 до 150—180 кгс/м^2, а давление воздуха соответственно до 60—80 и 140—150 кгс/м^2.

Горелки ГМГМ. Горелка газомазутная модернизированная состоит из трех концентрических, т. е. вставленных друг в друга, камер (рис. 7.11). Газ поступает в среднюю узкую камеру и выходит через два ряда газовыходных отверстий небольшого диаметра, расположенных под углом 90° друг к другу. В центре горелки размещена форсунка, включаемая при работе на мазуте.

В ранее выпускавшихся горелках ГМГ аналогичной конструкции имеется только один ряд газовыходных отверстий с направлением газовых струй параллельно от горелки.

Необходимый для горения воздух поступает в горелку двумя потоками. Первичный воздух (в количестве 15% общего объема) проходит через завихритель (регистр), состоящий из установленных под углом лопаток, непосредственно к корню факела. Этот воздух, особенно при малых тепловых нагрузках котла, способствует улучшению перемешивания. Вторичный воздух также проходит через завихритель и закрученным потоком поступает к месту горения. Во время работы шибер первичного

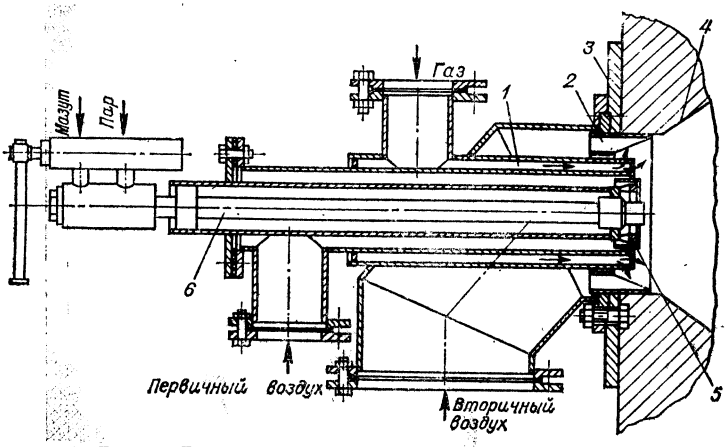


Рис. 7.11. Горелка ГМГМ.

1 — газовый канал; *2* — завихритель вторичного воздуха; *3* — монтажная плита; *4* — керамический тупнель; *5* — завихритель первичного воздуха; *6* — паромеханическая форсунка.

воздуха должен быть полностью открыт и его не регулируют.

Имеются пять модификаций горелок, основные технические характеристики которых следующие:

	ГМГ-1,5М	ГМГ-2М	ГМГ-4М	ГМГ-5М
Номинальная тепловая мощность, Гкал/ч	1,35—1,5	2,0	4,0	5,0
Номинальное давление, кгс/м²:				
газа	380—500	360	380	380
воздуха первичного	125—120	120	120	120
воздуха вторичного	75—90	90	80	75
Количество отверстий	9	12	12	12

Горелки работают с коэффициентом избытка воздуха 1,05; длина факела в зависимости от тепловой мощности 1,1—2,0 м; коэффициент рабочего регулирования 5.

Горелка ГМГБ-5,6. Горелка допускается для использования на котлах, где она уже установлена. Газ выходит через отверстия, расположенные в один ряд с внутренней стороны кольцеобразного коллектора, перпендикулярно к потоку воздуха. Последний закручивается лопаточным завихрителем, состоящим из лопастей определенного профиля, угол наклона которых, а следовательно, и степень крутки можно регулировать поворотным рычагом. При

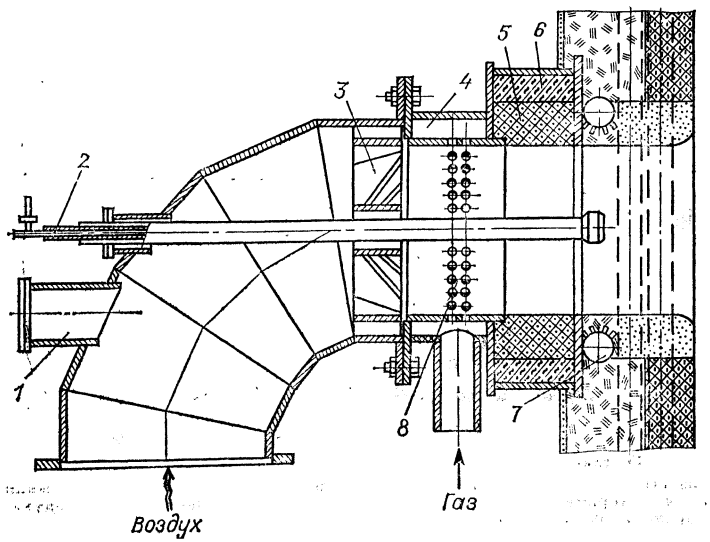


Рис. 7.12. Горелка котлов ПТВМ.

1 — смотровое окно; *2* — мазутная форсунка; *3* — завихритель воздуха; *4* — газовая камера; *5* — шамотобетон; *6* — асбодиатомитовый бетон; *7* — концевой упор; *8* — газовыходные отверстия.

работе на газе лопасти полностью раскрывают. Горелки изготавливают с правой и левой круткой воздуха.

Воздух в горелку поступает, как правило, из общего короба, образованного фронтовым листом котла и дополнительной передней стенкой. Стабилизация газового пламени обеспечивается керамическим коническим туннелем. При работе на газе мазутную форсунку выдвигают за пределы лопаточного завихрителя.

Паспортные данные горелки: тепловая мощность — 5,5 Гкал/ч; давление газа — 500, воздуха — 110 кгс/м^2; коэффициент рабочего регулирования — 3,1.

Горелки котлов ПТВМ. Горелка состоит из газовой камеры, лопаточного регистра-завихрителя воздуха, мазутной форсунки, цилиндра-стабилизатора, диаметр которого равен внутреннему диаметру газовой камеры, монтажных элементов (минеральные матрацы, изоляция из асбодиатоматобетона и обмазки из хромитовой массы и шамотобетона). Туннель несколько выступает за пределы экранных труб, что уменьшает возможность перегрева последних.

Газ из газопровода поступает в кольцеобразную газовую камеру и выходит через два ряда отверстий в напра-

влении, перпендикулярном к направлению потока воздуха (рис. 7.12). В центральной части горелки проходит труба, по которой к форсунке поступает мазут, если в котле сжигается резервное жидкое топливо. Во время работы форсунка должна охлаждаться проточной водой. При сжигании газа форсунка удаляется из зоны горения.

Воздух к каждой горелке подается отдельными центробежными вентиляторами, одинаковыми по своим характеристикам. В некоторых случаях на котлах ПТВМ-30М устанавливаются только два дутьевых вентилятора. Для лучшего перемешивания с газом воздух закручивается в лопаточном регистре.

Горелки имеют две модификации. На котлах ПТВМ-30М и ПТВМ-50 установлены горелки с тепловой мощностью 5,61 Гкал/ч, давлением газа 1750 кгс/м^2 и давлением воздуха 50 кгс/м^2. Котлы ПТВМ-100 оборудованы горелками с тепловой мощностью 7,65 Гкал/ч, давлением газа 2500 кгс/м^2. Общее количество горелок: на котле ПТВМ-30М—6, ПТВМ-50—12, ПТВМ-100—18. Одна или две горелки нижнего яруса с каждой стороны котла являются растопочными.

Горелки ГМ и ГМП. Горелки предназначены для раздельного сжигания газа и мазута в котлах ДЕ. (Одновременно газ и мазут сжигают кратковременно только при переходе с одного вида топлива на другой). Горелка состоит из газовой части, лопаточного завихрителя, форсуночного узла, узла заслонок для автоматического закрытия воздушного клапана при снятии форсунок.

Газовая часть состоит из кольцевого коллектора с одним рядом газовыходных отверстий. Внутри коллектора приварена разделительная обечайка для равномерного распределения газа по объему коллектора. Основными элементами воздухонаправляющего устройства являются завихритель и фурма (амбразура). Воздух в воздухораспределительное устройство поступает по воздуховоду, ограниченному фронтом котла и металлической стенкой. Неподвижные профильные лопатки завихрителя создают минимальное сопротивление движению воздуха и продлевают пребывание частиц газа в закрученном потоке. Горелки выпускаются правого (по часовой стрелке) или левого вращения (горелки ГМП-16 — только правого вращения).

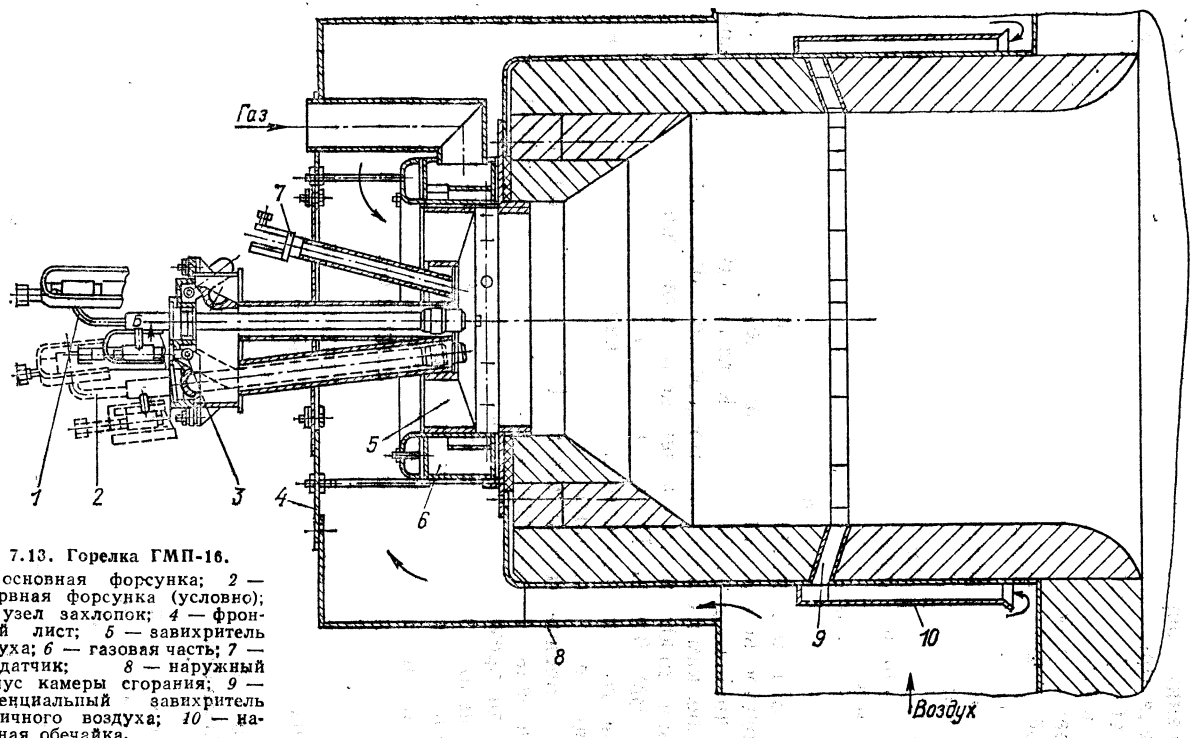


Рис. 7.13. Горелка ГМП-16.

1 — основная форсунка; *2* — резервная форсунка (условно); *3* — узел захлопок; *4* — фронтовой лист; *5* — завихритель воздуха; *6* — газовая часть; *7* — фотодатчик; *8* — наружный корпус камеры сгорания; *9* — тангенциальный завихритель вторичного воздуха; *10* — наружная обечайка.

Горелки имеют пять модификаций со следующими техническими характеристиками при работе на газе:

Котел	ГМ-2,5 ДЕ-4--14ГМ	ГМ-4,5 ДЕ-6,5--14ГМ	ГМ-7 ДЕ-10--14ГМ	ГМ-10 ДЕ-16--14ГМ	ГМП-16 ДЕ-25--14ГМ
Тепловая мощность, Гкал/ч	2,5	4,5	6,4	10,8	16
Номинальное давление					
газа, кгс/см^2	0,25	0,25	0,3	0,2	0,25
воздуха, кгс/м^2	80	90	90	102	350
Коэффициент избытка воздуха	1,1	1,1	1,04	1,05	1,05
Коэффициент рабочего регулирования	5,0	5,0	8,2	5,5	5,0

Во внутреннем ободе завихрителя находится форсуночный узел с основной форсункой, расположенной по оси горелки, и резервной, расположенной под углом к оси.

Горелки ГМП-16 устанавливают совместно с камерой двухступенчатого сжигания топлива (рис. 7.13). К воздухонаправляющему устройству горелки через кольцевую щель между внутренней обечайкой камеры и наружным корпусом поступает около 70% воздуха (первичного), необходимого для полного сгорания топлива. Остальной (вторичный) воздух поступает через кольцевую щель, образованную между внутренней и наружной обечайками, в тангенциальный завихритель. Двухступенчатые камеры обеспечивают полное сжигание газа при $\alpha = 1{,}03 \div 1{,}04$ и мазута при $\alpha = 1{,}06 \div 1{,}08$ при одновременном снижении концентрации вредных оксидов азота в продуктах сгорания.

Горелки РГМГ. Ротационные газомазутные горелки предназначены для раздельного сжигания газа и мазута главным образом в котлах КВ-ГМ. Горелки имеют пять модификаций, основные технические характеристики которых следующие:

	РГМГ-10	РГМГ-20	РГМГ-30
Номинальная тепловая мощность, Гкал/ч	11,1	22,3	33,5
Номинальное давление, кгс/м^2:			
газа	1950	3400	4120
первичного воздуха	700	730	900
вторичного воздуха	100	150	250

Особенностью этих горелок является соединение в едином изделии газовой кольцевой камеры, расположенной

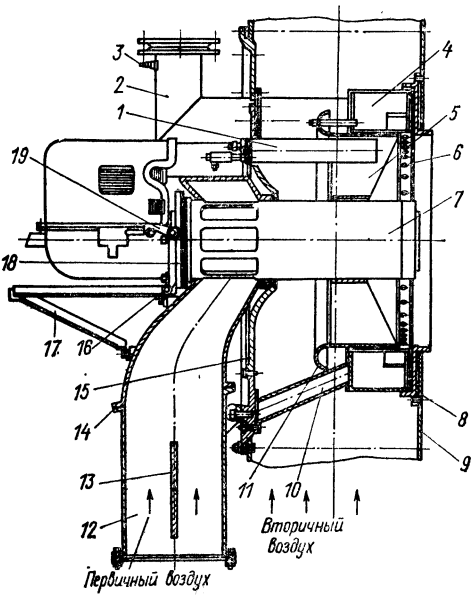


Рис. 7.14. Горелка РГМГ-10, -20, -30.
1 — ЗЗУ; *2* — газоподводящий патрубок; *3* — штуцер для манометра; *4* — газовый коллектор; *5* — лопаточный аппарат; *6* — газовыходные отверстия; *7* — мазутная форсунка; *8* — переднее кольцо; *9* — фронтовая стенка котла; *10* — опорная труба; *11* — воротник наружного обода; *12* — патрубок первичного воздуха; *13* — регулировочная заслонка; *14* — войлочная прокладка; *15* — крышка; *16* — подшипник для откатывания форсунки; *17* — кронштейн; *18* — резиновая прокладка; *19* — фиксатор положения форсунки.

в устье горелки, вентилятора с направляющим аппаратом, завихрителей воздуха, запально-защитного устройства (ЗЗУ) и других элементов (рис. 7.14). Во всех горелках, за исключением РГМГ-7, газ из камеры выходит через ряд отверстий перпендикулярно к потоку воздуха, а в ПГМГ-7 — через 11 трубок диаметром 22×2 мм, изогнутых под углом и направленных в сторону амбразуры.

В РГМГ-4 и -7 форсунка включает в себя вентилятор первичного воздуха, а воздухонаправляющее устройство вторичного воздуха имеет улиточную форму. Горелки большей тепловой мощности имеют автономные вентиляторы первичного воздуха и прямой подвод вторичного воздуха к завихрителю из короба.

Завихритель вторичного воздуха — осевого типа с гнутыми лопатками, установленными под углом 40° к оси горелки. Его можно перемещать вдоль оси горелки в на-

правляющих рамках. При работе на мазуте передний участок наружного обода завихрителя устанавливают так, чтобы были перекрыты газовыходные отверстия.

Газовая часть горелки состоит из кольцевой камеры и двух газоподводящих труб, которые с наружной стороны горелки соединены с приемным патрубком. Камера поддерживается снизу опорной трубой. Для центровки завихрителя вторичного воздуха при его перемещении служат рамки. Из комплекта ЗЗУ в горелку включены газовый запальник и фотодатчик. Конструкция форсунки приведена в гл. 8.

Блок Л1-Н. Блок газогорелочный автоматизированный предназначен для отопительных водогрейных котлов производительностью до 1 Гкал/ч. Блок включает в себя узлы огневой, газовый и воздушный, а также автоматику АМКО или шкаф КСУ, пульт управления, расположенные у рабочего места оператора (рис. 7.15).

В огневой узел входят запальная и основная горелки, фронтовая плита с электродом контроля пламени. Фронтовая плита имеет направляющие, по которым можно переместить горелку при необходимости осмотра огневого и воздушного узлов. В газовый узел входят электромагнитные клапаны «большого горения» и «малого горения» основной горелки, обеспечивающие двухступенчатое регулирование, а также запальная горелка.

Воздушный узел состоит из вентилятора и регулирующей заслонки, фиксация крайних положений которой при работающем вентиляторе осуществляется изменением натяжения пружины. Воздух в горелку подается через квадратный патрубок, омывает газовую камеру и поступает в смеситель. Часть воздуха закручивается лопатками, остальная часть направляется в периферийную область смесителя.

Газ подается через газовую камеру в распределитель, разворачивается на 180° и поступает в закрученный поток воздуха через щель, образованную плоскостью диска и обрезом распределителя.

При нажатии на кнопки «Пуск» сначала происходит вентиляция топки. Затем по сигналу датчика контроля пламени газ подается в основную горелку, которая зажигается в режиме «малое горение», а запальная горелка выключается. После нагрева котла оператор включает систему автоматического позиционного регулирования мощности горелки.

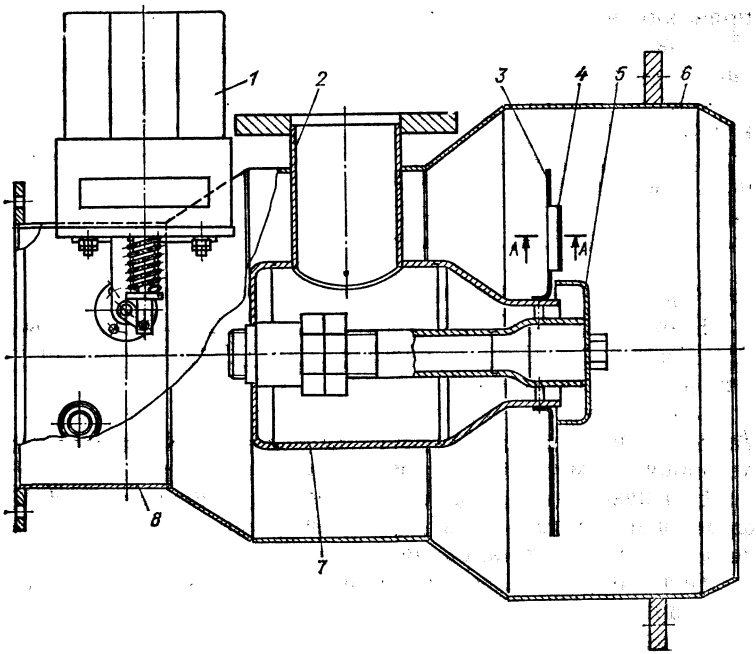


Рис. 7.15. Основная горелка блока Л1-Н.

1 — электромагнитный привод к воздушной заслонке; *2* — газовый патрубок; *3* — стабилизирующий диск с закручивающими воздух лопатками; *4* — лопатка; *5* — газовый распределитель; *6* — смеситель; *7* — газовая камера; *8* — воздушный патрубок.

Основные характеристики блока при работе на режимах «большое горение» и «малое горение»: номинальная тепловая мощность — 1,0 и 0,5 Гкал/ч; расход газа — 118 и 59 м³/ч; давление газа перед горелкой — 150 и 43 кгс/м²; то же, перед блоком — 270 кгс/м²; давление воздуха — 95 и 85 кгс/м²; α — 1,05; коэффициент рабочего регулирования — 2,8 и 2,6; разрежение в топке — 1 кгс/м²; длина факела около 1 м.

7.4.4. ЗАПАЛЬНЫЕ ПЕРЕНОСНЫЕ ГОРЕЛКИ

Для розжига основных горелок применяют запальные горелки, которые по условиям пользования ими бывают переносные или стационарные, а по принципу действия — ручные или автоматические и дистанционные, включаемые на расстоянии от котла. Для топок с разрежением наиболее часто применяют инжекционные запальники однофа-

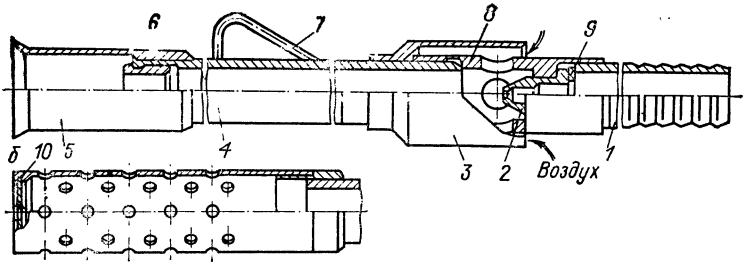


Рис. 7.16. Запальник инжекционный для топок с разрежением.
а — однофакельный; *б* — насадок многофакельного запальника.
1 — штуцер-удлинитель для присоединения шланга; *2* — сопло; *3* — воздушная обойма; *4* — патрубок; *5* — защитный кожух; *6* — стабилизатор; *7* — скоба для подвески запальника; *8* — инжектор; *9* — прокладка; *10* — торцевая пластинка с отверстием.

кельные и многофакельные. Однофакельные запальники низкого (до 500 кгс/м²) и среднего давления (до 8000 кгс/м²) представляют собой инжекционные горелки удлиненной формы. Работают с коэффициентом избытка воздуха, соответственно 0,26 и 0,52 при разрежении в топке до 6 и 10 кгс/м².

Особенностью запальника является воздушная обойма вокруг инжектора, способствующая сохранению инжектирующей способности независимо от места расположения запальника (рис. 7.16). Вокруг факела имеется защитный кожух, предохраняющий факел от срыва потоком воздуха в запальной трубе при внесении запальника в топку. Присоединяют запальник к газопроводу при помощи резинового шланга, надеваемого на накатку удлинителя.

Если при пользовании запальником его инжекторная часть окажется в запальном лючке, то воздух, движущийся по лючку в топку, попадая в обойму, увеличивает инжекционную способность запальника. В многофакельной запальной горелке вместо защитного кожуха применен огневой насадок, представляющий собой трубку с отверстиями (число отверстий 40, диаметр 4 мм) для выхода газовоздушной смеси (рис. 7.16, *б*). В торце трубки имеется пластинка с центральным отверстием диаметром 6 мм.

7.5. ПЕРЕВОД КОТЛОВ НА ГАЗОВОЕ ТОПЛИВО

Выбор типоразмера и места расположения горелок. Типоразмеры горелок, их количество и места расположения выбираются при составлении проекта газоснабжения

котельной в зависимости от следующих основных факторов: конструктивных особенностей топки котла (размеров, степени экранирования); количества вырабатываемой котлом горячей воды или пара и необходимых пределов изменения этого количества; давления поступающего в котельную газа; вида и способа сжигания резервного топлива (твердого или жидкого) в тех случаях, когда оно предусмотрено для замены газового топлива при прекращении его подачи; режимных особенностей работы пароперегревателя.

Одним из основных условий полноты сгорания газа является свободное размещение факела и окончание процесса горения в топке, до выхода газов в конвективные газоходы. Соприкосновение факела с относительно холодными поверхностями нагрева может привести к обрыву реакции горения, неполноте сгорания газа и выделению сажистых частиц. Поэтому расстояние от устья горелки до ближайшей стенки топки или поверхности нагрева должно быть больше возможной максимальной длины факела.

Большое значение имеет равномерное заполнение топочного объема продуктами сгорания, особенно при наличии экранных поверхностей. Неравномерное распределение теплоты может явиться причиной температурного «перекоса», т. е. перегрева одной части поверхности нагрева и недогрева другой. Значительный перегрев отдельных мест поверхностей нагрева (в том числе в местах отложения накипи) может явиться причиной образования в металле трещин и разрывов, привести к нарушению циркуляции в котле, к разрушению футеровки.

Если котельная снабжается газом от сети среднего давления, то применяют инжекционные горелки, не требующие расхода электроэнергии на работу дутьевого вентилятора. В случаях, когда резервным является жидкое топливо, применяют комбинированные газомазутные горелки, облегчающие переход с одного вида топлива на другой без больших переделок. Если резервным является твердое топливо, то сохраняют устройства его подачи, расположенные на фронте котла (например, пневмомеханические забрасыватели — ПМЗ), и колосниковые решетки, а горелки устанавливают на боковых стенках топки.

В горелках, имеющих устройства для крутки воздуха, поступающего от дутьевого вентилятора, поток воздуха

закручивается влево или вправо в зависимости от положения направляющих лопаток. В сторону крутки от оси горелки отклоняется и газовый факел. Поэтому в топках с ограниченными размерами в плане две горелки с круткой воздуха устанавливают в одном горизонтальном ряду таким образом, чтобы факелы их были направлены к середине топки, в сторону от ее стенок.

В камерных топках, высота которых значительно больше размеров в плане, горелки располагают в два яруса. В этом случае изменение температурного режима в топке, если оно необходимо по условиям работы пароперегревателя, достигается регулированием тепловой мощности горелок, расположенных в разных рядах. Повышение тепловой мощности горелок верхнего ряда обеспечивает необходимое повышение температуры перегретого пара. Для указанной цели применяют также установку дополнительной горелки перед пароперегревателем.

Если конструкция горелки позволяет изменять направление факела, то применяют следующий метод регулирования температуры перегретого пара. При встречном (снизу вверх) направлении вращения потоков вершина газового факела направлена вверх, что обеспечивает повышение температуры пара, а при расходящемся (сверху вниз) направлении температура пара снижается.

Переоборудование котлов. При переводе секционных котлов на газовое топливо применяют горелки различных типов, которые устанавливают с фронта котла или на поду топки (а в некоторых случаях, для увеличения высоты топки, — в поддувальном пространстве). Оба эти приема не обеспечивают равномерного распределения температуры по объему топки: в первом случае наблюдается возрастание температур по глубине топки, от фронта к задней стенке, а во втором — от нижней к верхней части топки. В топке создаются зоны пониженных температур, а в отдельных местах наблюдается перегрев секций, что приводит к их разрыву.

На котле снимают гарнитуру с фронтовой стенки и на ее место устанавливают металлический лист, к которому крепят горелку. В зависимости от типа горелки выполняют обмуровочные работы при ее установке. В местах, предусмотренных проектом, устанавливают предохранительные взрывные клапаны. Тщательно очищают поверхности нагрева, герметизируют всю топку, особенно обеспечивая плотное примыкание кладки к секциям и

фронтовому листу, ликвидируются все неплотности, через которые воздух может проникнуть в топку и газоходы. Со стороны топки уплотняют асбестом зазоры между ребрами чугунных секций, не допуская при этом, чтобы асбест выступал внутрь межсекционных каналов, что затруднит отвод отходящих газов.

Для сжигания газового топлива в жаротрубных котлах из топок удаляют колосниковую решетку, а фронтовую гарнитуру заменяют специальной фронтовой плитой, к которой крепят горелку. Жаровую трубу со стороны топки футеруют высококачественным огнеупорным кирпичом для защиты от перегрева, а также во избежание химической неполноты сгорания при соприкосновении факела с относительно холодной поверхностью жаровой трубы. Длину футеровки жаротрубного котла при установке инжекционной горелки среднего давления принимают равной 1,75—1,90 м в зависимости от типа котла (одно- или двухжаротрубный) и площади поверхности нагрева. Футеровку делают толщиной в четверть кирпича по деревянной опалубке. Между верхней частью футеровки и трубой предусматривают температурный зазор размером 25—30 мм. Футеровка заканчивается дожигательной решеткой толщиной в один-полтора кирпича, с площадью свободных окон (живого сечения) не менее половины площади поперечного сечения жаровой трубы.

Жаротрубные котлы оборудуют также горелками других типов, в том числе ИГК. В этом случае футеровку делают не сплошной, а с просветами; длину футеровки принимают от 2 до 2,8 м. В конце жаровой трубы, перед поворотной камерой отходящих газов, выкладывают порог из огнеупорного кирпича.

В топках горизонтально-водотрубных котлов, как правило, нет экранов, что уменьшает опасность местного перегрева поверхности нагрева. Поэтому переоборудование таких котлов на газовое топливо может быть решено различными способами. Чаще всего, при достаточной ширине проходов между котлами горелки устанавливают на их боковых стенках. Это позволяет сохранить на фронте котла устройства подачи резервного твердого топлива; если эти устройства не нужны, устанавливают горелки с фронта котла.

В случаях, когда котельная работает только на газовом топливе, без резервирования мазутом или твердым топливом, на котлах ДКВР применяют горелки различ-

ного типа. Если резервным топливом является мазут, то чаще всего используют газомазутные горелки ГМГМ. Горелки устанавливают с фронта котла. Колосниковую решетку перекрывают двумя-тремя рядами уложенного плашмя (без раствора) огнеупорного кирпича с асбестовой прокладкой толщиной 5—10 мм между ними.

Если резервным является твердое топливо и при этом сохранены нетронутыми устройства подачи его в топку, расположенные с фронта котла, то колосниковую решетку покрывают асбестовым картоном, на который насыпают слой боя огнеупорного кирпича высотой 200 мм. При работе на газе окна пневматических забрасывателей и шуровочные отверстия должны быть заложены огнеупорным кирпичом. Горелки устанавливают не с фронта, а сбоку котла.

Нижнюю поверхность верхнего барабана, обращенную в топку, и камеру догорания защищают торкретом, а нижние части экранов — стенками из огнеупорного кирпича для предохранения труб от прямого воздействия факела и от отложений, образующихся при неполном сгорании мазута. Стенку выкладывают на расстоянии 100 мм от экранных труб в виде решетки, чтобы горячие газы омывали поверхности нагрева. Чтобы предохранить колосники от перегрева следует обеспечить вентилирование поддувального пространства.

Если резервным является твердое топливо и необходимо сохранение устройств топливоподачи, горелки устанавливают на боковых стенках топки. При этом, чтобы ограничиться минимальным количеством удаляемых экранных труб, применяют горелки с небольшой тепловой мощностью (увеличив соответственно их количество) или горелки с узким устьем.

Явления шума и вибрации. Сжигание газовоздушной смеси, особенно в инжекционных горелках среднего давления и большой тепловой мощности, часто сопровождается значительным шумом, создающим тяжелые условия для обслуживающего персонала. В ряде случаев наблюдаются явления вибрации котлов, что затрудняет нормальную эксплуатацию и может привести к нарушению их прочности.

Причинами возникновения шума при работе горелок являются столкновения газовой струи с потоком воздуха в смесителе горелки, а также колебания, вызываемые трением воздушного потока об острые кромки на входе

в инжектор горелки, на выходе газовой струи из сопла. Уменьшение шума достигается заменой горелок большей тепловой мощности горелками меньшей тепловой мощности или применением шумопоглощающих устройств.

Очень часто обслуживающий персонал в целях снижения шума уменьшает количество поступающего в горелку первичного воздуха при помощи регулирующей заслонки. Этого делать нельзя, так как недостаток воздуха может привести к химической неполноте сгорания со всеми нежелательными при этом последствиями.

Вибрация горелок и, как следствие этого, гудение в топке может быть вызвано недостаточным креплением горелок или завышенным по сравнению с допустимым давлением газа перед горелкой.

Явления вибрации, связанные с горением газа, чаще всего встречающиеся на чугунных котлах, представляют собой сложные и малоизученные процессы. Точных рекомендаций по предупреждению вибрации нет, и в каждом отдельном случае при ее возникновении требуется выявление местных условий. Основными общими причинами вибрации котлов являются вибрационное горение газа и нарушения нормального отвода отходящих газов.

Газовоздушная смесь, попадая в топку, сгорает небольшими и периодически чередующимися взрывами. При каждом таком взрыве происходят расширение нагретых частиц продуктов горения и столкновения этих частиц с частицами выходящей из горелки газовоздушной смеси. Возникающие при этом звуковые (акустические) колебания могут вызвать колебания (вибрацию) топок и котлов.

Акустические колебания и вибрационное пульсирующее горение связаны между собой, взаимно воздействуют и усиливают одно другое. Вибрационное горение зависит от процесса смесеобразования, т. е. от равномерности подачи газа и воздуха и качества их перемешивания. На возникновение вибрационного горения оказывают влияние также протяженность зоны горения и размеры топки. Вибрационное горение может быть вызвано наличием зон завихрения потока газовоздушной смеси. Эти вихри, направленные к фронту пламени, разрывают его и усиливают пульсирующий характер горения.

В ряде случаев причиной вибрации котлов могут явиться: неравномерность отвода продуктов сгорания по газовому тракту при наличии в нем резких местных сопротивлений или зон столкновения потоков газов, что при-

дает пульсирующий характер потоку газов и может вызвать вибрацию котла; отсутствие рассечек в дымовых трубах в местах двустороннего присоединения к ним сборных каналов, присоединение каналов к трубам под прямым углом; незаглушенные присоединения к сборным газоходам отключенных котлов; резкие уменьшения сечения металлических труб по сравнению с сечением кирпичного цоколя.

В чугунных котлах причинами вибрации могут быть отклонения размеров щелей горизонтальных подовых горелок от проекта и неравномерный подвод к ним воздуха; наличие межсекционных зазоров; зауженные сечения или резкие изменения сечения газоходов; неправильная кладка боковых стенок котла; шиберы, установленные в непосредственной близости от котла; неправильное присоединение газоходов котлов к сборному газоходу котельной; наличие слоя сажи на поверхностях межсекционных газоходов.

7.6. ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖИГАНИЯ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА

Тепловой баланс котла. В котлах, как и в других тепловых установках, используется не вся теплота, выделившаяся при сгорании топлива. Значительную часть теплоты уносят отходящие газы, некоторое количество ее теряется через обмуровку котла, возможны также потери из-за химической неполноты сгорания. При сжигании твердого топлива, кроме того, возможны потери от провала или уноса с газами несгоревших частиц (или, как говорят, потери от механической неполноты сгорания) и с физической теплотой шлака.

Тепловой баланс котла, отнесенный к 1 м^3 сожженного газового топлива, приведенного к 0° С и 760 мм рт. ст., представляет собой равенство, левая часть которого включает располагаемую теплоту, поступившую в топку, а правая часть — сумму полезно использованной теплоты и потерь, ккал/м^3:

$$Q_н + Q_{ф.\,в} + Q_{ф.\,г} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_5,$$

где $Q_н$ — низшая теплота сгорания газа; $Q_{ф.\,в}$ — физическая теплота, внесенная к топку воздухом; $Q_{ф.\,г}$ — физическая теплота газа; Q_1 — полезно использованная теплота; Q_2 — потеря теплоты с отходящими газами;

Q_3 — потеря теплоты от химической неполноты сгорания; Q_5 — потеря теплоты от наружного охлаждения котла (в окружающую среду).

Некоторые потери теплоты связаны с образованием сажи при неполном сгорании топлива. Потери эти, как правило, незначительны, а выявление их связано с определенными трудностями.

Теплотехнические расчеты обычно ведут по низшей (объемной) теплоте сгорания, только контактные котлы и экономайзеры, в которых используется скрытая теплота конденсации, рассчитывают по высшей теплоте сгорания.

Обычно физическую теплоту, внесенную в топку воздухом и газом, учитывают соответствующим уменьшением потерь теплоты с отходящими газами. Физическую теплоту нагретого воздуха учитывают только в том случае, если он подогрет вне котла, за счет затраты тепловой энергии.

Полезно использованную в водогрейном котле теплоту, отнесенную к 1 м^3 израсходованного газового топлива, подсчитывают по формуле

$$Q_1 = G_в (t''_к - t'_к) c/V_г,$$

где $G_в$ — расход воды через котел, кг/ч; $t'_к$ и $t''_к$ — температура воды на входе в котел и на выходе, °С; c — теплоемкость воды, принимаемая равной 1, ккал/(кг·°С); $V_г$ — количество сожженного газа.

Полезно использованную в паровом котле теплоту определяют по формуле

$$Q_1 = [D_{п.п}(i_{п.п} - i_{н.в}) + D_{н.п}(i_{н.п} - i_{п.в}) + G_{пр.в}(i_{пр.в} - i_{п.в})]/V_г,$$

где $D_{п.п}$ — количество выработанного перегретого пара, кг/ч; $D_{н.п}$ — количество насыщенного пара, расходуемого непосредственно из барабана котла, кг/ч; $G_{пр.в}$ — количество продувочной воды, кг/ч; $i_{н.п}$ и $i_{п.п}$ — энтальпия насыщенного и перегретого пара, ккал/кг (табл. 1.4 и 1.5); $i_{пр.в}$ и $i_{п.в}$ — энтальпия продувочной и питательной воды, ккал/кг.

Потеря теплоты с отходящими газами Q_2 тем больше, чем выше их температура и чем больше коэффициент избытка воздуха. Температура отходящих газов котлов, не имеющих хвостовых поверхностей нагрева, составляет 250—350 °С, при наличии поверхностных экономайзеров и воздухонагревателей — 120—160 °С, а при наличии

контактных экономайзеров — 65—70 °С, что повышает количество полезно использованной теплоты. Вместе с тем снижение температуры отходящих газов допустимо до предела, предотвращающего конденсацию водяных паров на хвостовых поверхностях нагрева, а также образование ледяных наростов в устье дымовой трубы в зимнее время.

К росту потери теплоты с отходящими газами приводят также присосы воздуха в топку и газоходы котла. Таким образом, потеря тепла с отходящими газами является неизбежной. Однако снижение их температуры до допустимых пределов и поддержание оптимального коэффициента избытка воздуха позволяют довести Q_2 до минимальных значений.

Для уменьшения потери теплоты с отходящими газами необходимо: поддерживать в чистоте наружную сторону поверхности нагрева, а также не допускать образования накипи, что обеспечит хорошую передачу теплоты от газов к воде, а следовательно, приведет к снижению температуры отходящих газов; соблюдать требования, предъявляемые к питательной и котловой воде; не допускать присосов воздуха в топку и газоходы; поддерживать оптимальные режимы работы горелок; обеспечивать нормальную работу хвостовых поверхностей.

Включение хвостовых поверхностей нагрева вызывает увеличение сопротивления газового тракта. Требуемый в связи с этим дополнительный расход электроэнергии на работу дымососа экономически оправдан, так как стоимость сэкономленного топлива значительно выше стоимости дополнительной электроэнергии.

Потеря теплоты от химической неполноты сгорания Q_3 характеризуется содержанием в продуктах сгорания горючих газов. Величина Q_3 соответствует тому количеству теплоты, которое могло бы выделиться при сгорании этих газов. Неполнота сгорания наблюдается при недостаточном количестве воздуха, плохом его перемешивании с газом, при снижении температуры в отдельных зонах горящего факела, при соприкосновении его с поверхностями нагрева. Возможна неполнота сгорания и при завышенных значениях коэффициента избытка воздуха, если нарушены нормальные условия процесса.

Газовое топливо можно и нужно сжигать при полном отсутствии химической неполноты сгорания. Поэтому содержание в продуктах сгорания несгоревших газов

и наличие Q_3 в тепловом балансе даже в пределах допустимых значений следует считать нежелательным.

Потери тепла в окружающую среду Q_5 зависят от качества и состояния обмуровки, размеров и взаимного расположения котлов, толщины и качества обмуровки, степени экранирования топки, конструкции фронтовых устройств котла, наличия хвостовых поверхностей. Потери эти возрастают при наличии в котельной сквозняков.

Коэффициент полезного действия котла. Эффективность использования теплоты сгорания топлива, или превращения его химической энергии в тепловую, характеризуется коэффициентом полезного действия (КПД) брутто, который представляет собой отношение полезно использованной в котле теплоты к затраченной, выраженное в долях от единицы или в процентах:

$$\eta_{бр} = Q_1/Q_н \quad \text{или} \quad \eta_{бр} = Q_1 \cdot 100/Q_н.$$

Если слагаемые теплового баланса котла разделить на $Q_н$ и умножить на 100, то получим выражение для КПД брутто в процентах

$$\eta_{бр} = q_1 = 100 - (q_2 + q_3 + q_5).$$

Практически $\eta_{бр}$ колеблется от 80—85% для чугунных котлов старых конструкций, до 90—92% для котлов современных конструкций; значение q_2 для чугунных котлов составляет 10—15%, потеря в окружающую среду q_5 — 2—3 %; в котлах современных конструкций, соответственно 8—10 и 1,5—2%. Максимальное значение КПД соответствует определенной производительности и определенному режиму работы горелок. При изменении оптимального режима КПД уменьшается. Поэтому, если в котельной работает несколько котлов, желательно, чтобы регулирование производительности выполнялось на одном-двух котлах, а остальные работали в оптимальном режиме.

Удельный расход топлива. При сравнении расходов топлива на выработку горячей воды или пара в различных котельных, а также для удобства планирования и сравнения фактических и нормативных расходов, пользуются понятием условного топлива (у. т.). Под условным понимают топливо с теплотой сгорания 7000 ккал/кг.

Количество газового топлива в натуральном выражении пересчитывают в условное топливо умножением на

топливный эквивалент, который определяют из соотношения

$$Э_т = Q_н/7000.$$

Например, для природного газа с $Q_н = 8500$ ккал/м^3 $Э_т = 8500/7000 = 1{,}21$. Следовательно, чтобы получить количество этого газа в единицах условного топлива, надо его фактическое количество умножить на 1,21.

Основным показателем экономичности использования газа в котельных является его расход на производство 1 Гкал теплоты.

Различают удельные расходы топлива на выработанную $b_у$ и отпущенную потребителям теплоту $b_у^{отп}$:

$$b_у = 10^6/7000\eta_{бр} = 143/\eta_{бр};$$

$$b_у^{отп} = 10^6/7000\eta_н = 143/\eta_н,$$

где $\eta_н$ — КПД нетто, учитывающий расходы теплоты на собственные нужды.

КПД нетто определяют по формуле

$$\eta_н = (Q_{выр} - Q_{с.\,н}) \cdot 100/(7000V_г Э_т),$$

где $Q_{выр}$ — количество выработанной теплоты, ккал/ч; $Q_{с.\,н}$ — расходы теплоты на собственные нужды, ккал/ч; $V_г$ — расход газа, м^3/ч.

Расходы теплоты на собственные нужды зависят от тепловой схемы котельной, типа котлов, климатических условий, эксплуатационного состояния оборудования. Полный расход теплоты на собственные нужды включает: потери теплоты с продувочной водой; расходы теплоты в установках химводоподготовки (на взрыхление и отмывку фильтров); растопку котла; расходы на привод паровых насосов; отопление и горячее водоснабжение котельной; потери с выпаром деаэраторов; потери при охлаждении баков, трубопроводов и др.

Расходы теплоты на собственные нужды могут быть определены при проведении режимно-наладочных работ в котельной. Приближенно эти расходы в газифицированных котельных принимают равными от 1 до 4% от выработанной теплоэнергии. При неудовлетворительном состоянии оборудования котельной эти расходы достигают 6—8%.

Нормативный удельный расход топлива — максимально допустимое его количество, расходуемое на выработку 1 Гкал отпущенной теплоты. Нормативные расходы топлива обязательно устанавливают для каждой котельной, потребляющей в сутки 2 т у. т. и более.

Глава 8
СВОЙСТВА И СЖИГАНИЕ ТОПОЧНОГО МАЗУТА

Состав и свойства мазута. Основным видом жидкого топлива, применяемого в котельных, является топочный мазут — продукт прямой перегонки нефти или высокотемпературной переработки промежуточных фракций (крекинг-процесс). В котельных применяют мазуты марок М40, М40В (среднее топливо) и М100, М100В (тяжелое топливо), а в судовых установках Ф5 и Ф12 (легкое топливо).

По элементарному составу мазуты отличаются высоким содержанием углерода (до 87%); водорода содержится до 12,5%, кислорода и азота до 0,5%. Свойства мазутов М40 и М100 приведены в табл. 8.1. Особо следует отметить наличие в мазуте серы, в результате горения которой образуется сернистый ангидрид SO_2.

В некоторых видах мазута содержится вода, которая усложняет эксплуатацию мазутного хозяйства, приводит к уменьшению жаропроизводительности и теплоты сгорания, способствует коррозии мазутопроводов и аппаратуры вследствие растворения в воде некоторых серосодержащих соединений (например, сероводорода).

Плотность мазутов прямой перегонки меньше плотности воды, а плотность крекинг-мазутов всегда больше плотности воды. При относительной плотности ниже 0,98 отстой мазута в емкости протекает за 4—8 сут, а при относительной плотности около 1,05 мазут располагается ниже уровня воды и отстой его практически невозможен.

Важным эксплуатационным показателем топочного мазута является вязкость, характеризующая степень

Таблица 8.1

Свойства топочного мазута

Показатель	М40В	М40	М100В	М100
Теплота сгорания низшая, в пересчете на сухое топливо, ккал/кг, не менее:				
малосернистого и сернистого	9700	9700	9650	9650
высокосернистого	9500	9500	9500	9500
Содержание механических примесей, %, не более	0,07	0,8	0,2	1,5
Зольность, %, не более	0,04	0,12	0,05	0,14
Содержание воды, %, не более	0,3	1,5	0,3	1,5
Вязкость при 80 °С ВУ	6	8	10	16
Содержание серы, %, не более:				
в малосернистом	0,5	0,5	0,5	0,5
в сернистом	2	2	2	2
в высокосернистом	—	3,5	—	3,5
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	90		110	
Температура застывания, °С, не выше	10		25	

Примечания. 1. Буква «В» обозначает, что нефть выпускается с государственным Знаком качества. 2. Для некоторых месторождений допускается содержание серы до 4,3%. 3. Для мазута, прошедшего водные перевозки или слитого при подогреве острым паром, допускается содержание воды до 5%.

его текучести. Вязкость мазута определяет условия его транспортировки, слива, перекачки и сжигания. Измеряют вязкость специальным прибором (вискозиметром) — сравнением времени истечения из отверстия 200 $см^3$ мазута, нагретого до 80 °С, и воды при температуре 20 °С. Вязкость в градусах ВУ (вязкости условной) показывает, во сколько раз мазут вытекает медленнее, чем вода. Например, если при указанных условиях мазут вытекает в 10 раз медленнее, чем вода, то считают, что условная вязкость равна 10° ВУ.

Температура застывания — температура, при которой мазут теряет свою подвижность и застывает в виде неподвижной массы. Температура застывания мазута находится в пределах 10—36 °С.

Температура вспышки мазута — температура, при которой пары его образуют с окружающим воздухом смесь, воспламеняющуюся при поднесении к ней огня. Эта температура для различных марок мазута находится в пределах 90—150 °С. Температура самовоспламенения 350 °С.

Для подачи к горелкам и сжигания мазута требуется его подогрев до 80—120 °С. До указанной температуры можно подогревать только мазут, находящийся под давлением в закрытых емкостях (трубы, змеевики и др.). Температура подогрева мазута в открытых емкостях в целях пожарной безопасности должна быть примерно на 10 °С ниже температуры вспышки.

Для уменьшения липких отложений при сжигании мазута на поверхностях нагрева и в газоходах, а также на дне резервуаров в мазут добавляют специальные жидкие присадки (типа ВНИИНП-102).

Мазутное хозяйство котельных. Основными элементами мазутного хозяйства являются: приемное устройство, мазутохранилище, резервуар для присадки мазута, расходный бак, фильтры грубой и тонкой очистки, подогреватели мазута, охладители конденсата, системы трубопроводов (мазутопроводы, паро- и конденсатопроводы, дренажный трубопровод), насосы различного назначения.

Доставленный в железнодорожных и автомобильных цистернах мазут подогревают до температуры 30—60 °С в зависимости от его марки. Для этой цели чаще всего применяют сухой насыщенный или слабоперегретый пар с давлением 5—6 кгс/см^2, подаваемый непосредственно в цистерну. Возможно также использование для этой цели переносных змеевиковых подогревателей, что исключает обводнение мазута.

Сливаемый из цистерны мазут должен пройти через специальный фильтр, предохраняющий от попадания механических примесей в мазутохранилище. Площадки, где расположены сливные устройства, должны иметь твердые покрытия со стоком для отвода пролитого мазута к местному очистному сооружению.

Мазутные резервуары выполняют металлическими или железобетонными, надземными или подземными. Железобетонные подземные резервуары предпочтительнее по условиям пожарной безопасности, долговечности и меньших потерь в окружающую среду. Резервуары и баки должны сообщаться с атмосферой и иметь отстойники для сбора воды.

Чтобы обеспечить подогрев мазута в хранилище, необходимый для нормальной работы мазутных насосов, применяют следующие методы: установку паровых подогревателей погружного типа в нижней части резервуара; местные шахтные, секционные или электрические подо-

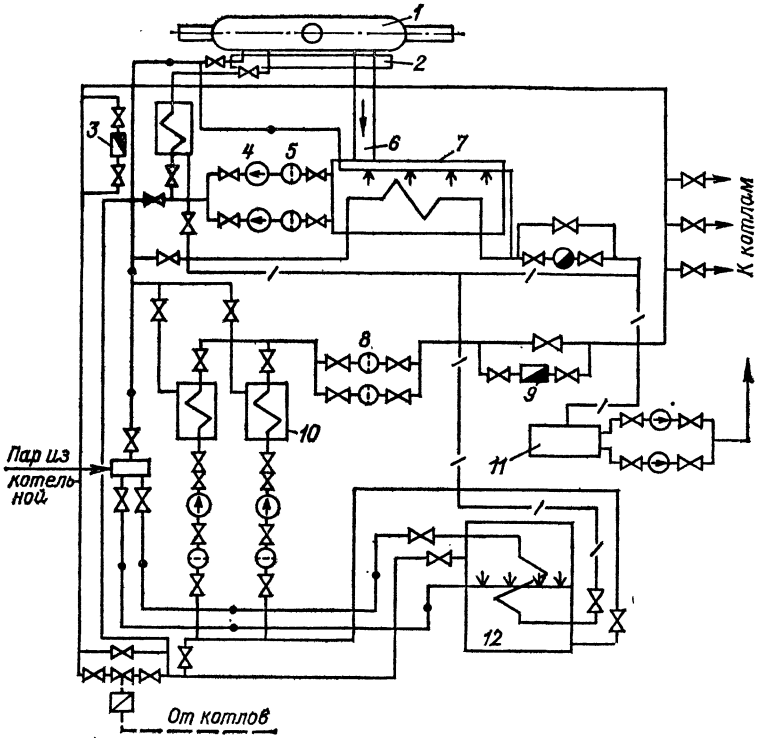


Рис. 8,1. Циркуляционная схема подачи мазута.

1 — цистерна; *2* — эстакада; *3* и *9* — мазутомеры; *4* — насос; *5* — фильтр грубой очистки; *6* — желоб сливной; *7* — приемная емкость; *8* — фильтр тонкой очистки; *10* — подогреватель паровой; *11* — сборник конденсата; *12* — емкость основная.

греватели; выносные подогреватели. Кроме подогрева в хранилищах предусматривают подогрев мазута в мазутопроводах и перед форсунками.

Для подачи мазута к котлам применяют три схемы: циркуляционную (при использовании высоковязких мазутов, когда котельная работает постоянно на мазуте и кратковременно на газе, рис. 8.1); тупиковую (при сжигании маловязких мазутов, когда котельная работает на стабильных нагрузках, превышающих средние, рис. 8.2), комбинированную (при работе котельной на переменных нагрузках и частых переходах с газового топлива на мазут).

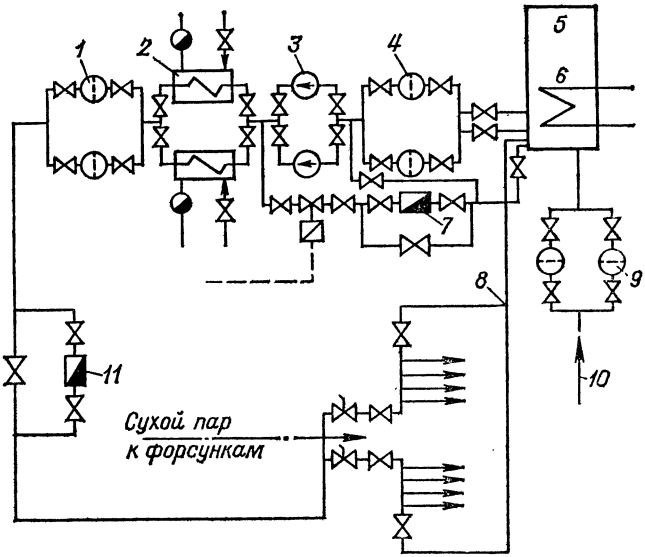


Рис. 8.2. Тупиковая схема подачи жидкого топлива.
1 — фильтр тонкой очистки; *2* и *6* — подогреватели паровые; *3* — насос; *4* и *9* — фильтры грубой очистки; *5* — емкость расходная; *7* и *11* — мазутомеры; *8* — участок циркуляционный; *10* — подача топлива из основной емкости.

Регулирование подачи мазута (давления) осуществляется с помощью клапана с импульсом по производительности котлов или давлению пара в котле.

При циркуляционной схеме мазут отбирается в нижней части резервуара, насосом перекачивается через выносной подогреватель в котельную, а затем в резервуар. При этом улучшается разогрев мазута и уменьшается отложение примесей в резервуаре.

Для перекачки мазута применяют поршневые и винтовые насосы. Мазутопроводы от хранилищ до котельной и рециркуляционный мазутопровод прокладывают в траншеях или туннелях совместно с паропроводами и покрывают их общей изоляцией. Паропроводы должны иметь надежный отвод конденсата. Чтобы обеспечить давление мазута перед форсункой около 20 кгс/см^2, применяют специальные насосы (шестеренные, лопаточные, винтовые, плунжерные).

Сжигание мазута. Основными условиями сжигания мазута в котлах являются: разогрев его до необходимой тем-

пературы, возможно более тонкое и однородное распыливание и хорошее смешение с воздухом. Сгорание мазута происходит в парогазовом состоянии. При нагревании сначала испаряются легкие углеводороды, входящие в состав мазута, а затем более тяжелые. Чем меньше размеры капель топлива, тем больше площадь испарения и тем быстрее происходит сгорание.

Для распыливания жидкого топлива применяют различного типа форсунки: механические (центробежные и ротационные), паровые, паромеханические, воздушные (высоконапорные и низконапорные).

В механических форсунках распыливание происходит при подаче мазута под давлением через сопло небольшого диаметра или за счет центробежных сил, создаваемых при закручивании топлива, или дробления его при вращении элементов форсунки. В форсунках с распыливающей средой, в качестве которой применяют пар или воздух, распыливание происходит вследствие механического воздействия потока распылителя на струю мазута.

Механические форсунки используют в котлах средней и большой производительности, для которых мазут является основным топливом. Достоинством их является небольшой расход электроэнергии, недостатками — установка специальных насосов, узкие пределы регулирования, необходимость периодической очистки от нагара и твердых отложений. Эти горелки нельзя изготавливать небольшой единичной мощности, так как выходные отверстия для мазута получаются очень малыми, что привело бы к их частым засорениям.

Паровые форсунки проще механических по конструкции и в обслуживании, менее подвержены засорению, обладают более широким пределом регулирования мощности. Недостатком этих форсунок является расход пара, составляющий 2—3% от общего количества пара, вырабатываемого котлом. Работа горелок сопровождается сильным шумом.

В форсунках с воздушным распыливанием воздух может подаваться от компрессора, что усложняет обслуживание и снижает эксплуатационные показатели, или от вентилятора. Воздушные форсунки работают с меньшим шумом, чем паровые, и экономичнее их.

При паровом распыливании используют насыщенный пар с давлением до 20 кгс/см^2 (при номинальном режиме); расход пара 0,3—0,5 кг на 1 кг мазута. При воздушном

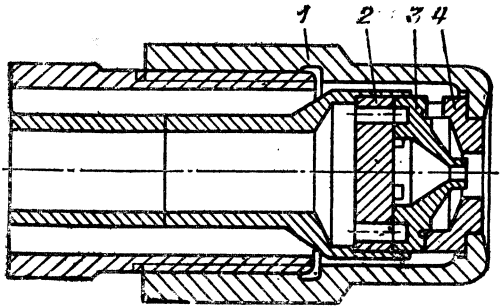


Рис. 8.3. Мазутная форсунка горелок ГМГМ.
1 — накидная гайка; *2* — шайба распределительная; *3* — завихритель топливный; *4* — завихритель паровой.

распыливании в форсунках высокого давления используют воздух с избыточным давлением 3—6 кгс/см^2; расход воздуха 0,6—1 кг (0,5—0,8 м^3) на 1 кг мазута, что составляет 5—8% воздуха, необходимого для полного сгорания. В низконапорных форсунках давление воздуха, подаваемого вентилятором, составляет 200—300 кгс/м^2 и почти весь воздух, необходимый для горения, поступает через форсунку.

Существенным недостатком работы котлов на мазуте является загрязнение поверхностей нагрева котла, что вызывает ухудшение условий теплопередачи по сравнению с работой на газе. Несколько выше и коэффициент избытка воздуха, что приводит к снижению КПД котла.

В котельных, где мазут является резервным (аварийным) топливом, наибольшее распространение получили короткофакельные горелки ГМГМ. Устройство горелки приведено на рис. 7.11, а устройство форсунки этой горелки — на рис. 8.3. Мазут подается к распыливающей головке, в которой установлены: шайба распределительная с одним рядом отверстий, завихрители топливный и паровой, имеющие по три тангенциальных канала. Шайба и завихрители крепятся с помощью накидной гайки. Количество и диаметр отверстий в шайбе распределительной следующие: в горелках ГМГ-1,5М и ГМГ-2М— 8 диаметром 2,5, в горелках ГМГ-4М и ГМГ-5М — 12 диаметром 3 мм. Мазут проходит через отверстия шайбы, по каналам попадает в камеру завихрителя и выходит из сопла, распыливаясь за счет центробежной силы.

Если требуемая тепловая мощность находится в пределах 70—100% от номинальной, можно работать без подачи пара, так как достаточно механического распыливания мазута. При тепловой мощности ниже 70% от номинальной подается пар давлением 1,5—2 кгс/см², который проходит через каналы парового завихрителя и закрученным потоком участвует в распыливании мазута.

Паромеханическая форсунка горелок ГМ конструктивно схожа с форсунками горелок ГМГМ и отличается только размерами накидной гайки, завихрителя топлива, а следовательно, и тепловой мощностью.

На рис. 8.4 показана мазутная форсунка горелок котлов ПТВМ. Особенностью этой форсунки является то, что по ее внутреннему каналу протекает охлаждающая вода.

На рис. 8.5 показана форсунка горелок РГМГ-10, -20, -30. При работе на газовом топливе форсунка выводится из горелки и на оси кронштейна поворачивается вместе с коробом первичного воздуха. При этом под действием пружины кручения центральное отверстие крышки кольца-рамы закрывается захлопками, закрепленными на крышке со стороны топки по обе стороны от отверстия. Затем на место форсунки устанавливают заглушку.

При выведении из горелки и введении в горелку форсунка опирается на направляющий кронштейн двумя шарикоподшипниками, закрепленными на оси в нижних приливах станины. Во введенном положении форсунка

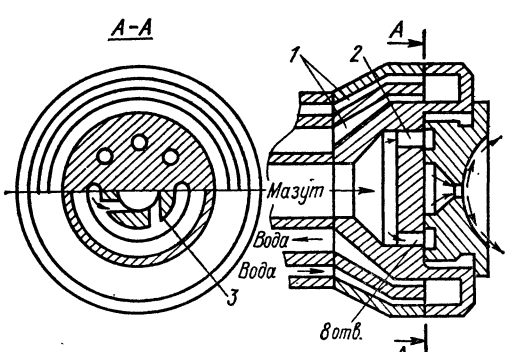


Рис. 8.4. Мазутная форсунка горелок котлов ПТВМ.
1 — каналы охлаждающей воды; *2* — отверстия для выхода мазута; *3* — тангенциальные шлицы для закрутки мазута.

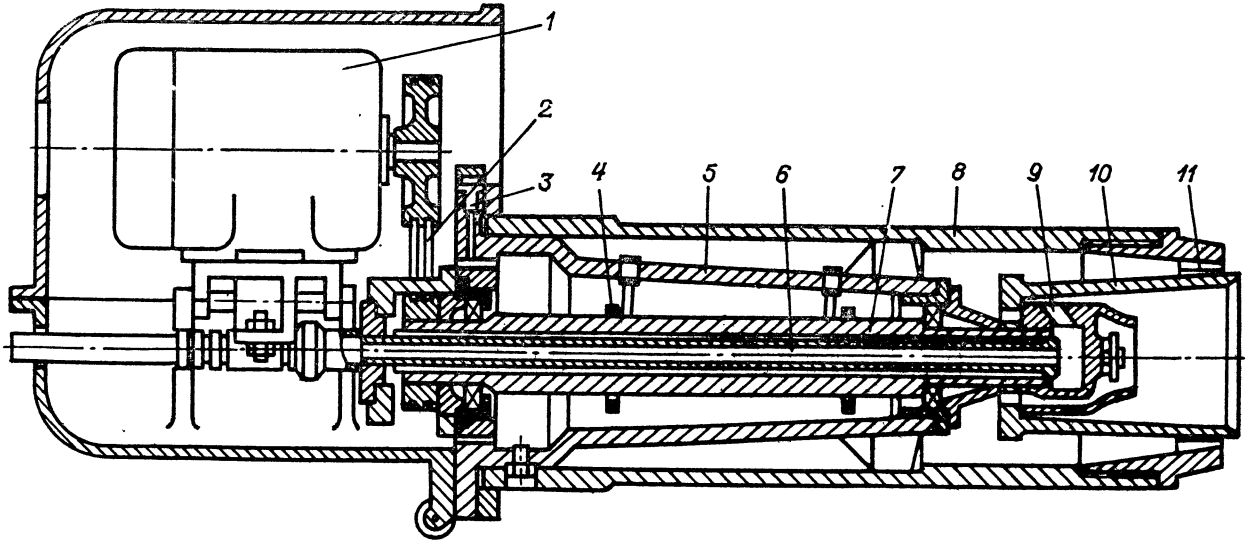


Рис. 8.5. Ротационная форсунка горелок РГМГ-10, -20, -30.

1 — электродвигатель; *2* — клиноременная передача; *3* — воздушник; *4* — маслоразбрызгивающее кольцо; *5* — корпус масляной ванны; *6* — топливоподающая труба; *7* — полый вал; *8* — корпус; *9* — гайка-питатель; *10* — стакан распыливающий; *11* — завихритель первичного воздуха.

буртом корпуса упирается в короб. Уплотнение резиновой прокладки (см. *18* на рис. 7.14) достигается при фиксации положения форсунки. При этом короб первичного воздуха стопорится фиксатором и при натяге уплотняется соединение между наклонными фланцами короба и патрубка, где имеется войлочная прокладка. Положение корпуса подшипников, прикрепленного к корпусу форсунки, должно быть строго горизонтальным, а уровень масла (турбинного) в маслоуказателе — не ниже середины стекла.

При сжигании мазута необходимо следить за тем, чтобы на внутренних поверхностях форсунок не накапливались нагарообразования, смолистые и другие отложения, ухудшающие условия распыливания мазута, что вызывает неполноту его сгорания. О наличии таких отложений можно судить по появлению в топке летающих капель — «звездочек». Поэтому форсунки следует периодически вынимать из горелок, очищать их от отложений и промывать соляровым маслом или другим легким топливом.

При очистке форсунок разрешается пользоваться только деревянным, алюминиевым или красномедным инструментом. Стальные ножи или щетки оставляют на поверхности форсунки риски и царапины, способствующие быстрому образованию нагаров и отложений.

При работе на мазуте конвективная поверхность заносится плотными отложениями. Для ее очистки в некоторых котлах (например, КВ-ГМ) предусмотрена дробеочистная установка. Чугунная дробь диаметром 3—5 мм поступает в верхнюю часть конвективной шахты и, падая в нижний бункер, сбивает отложения.

Переход с одного топлива на другое. Необходимость перехода с газового топлива на резервное может быть вызвана сокращением или прекращением снабжения газом котельной, сезонными изменениями в снабжении топливом или другими причинами.

Для перехода с газового топлива на мазут последний необходимо разогреть до температуры, соответствующей его марке. Затем устанавливают мазутную форсунку в горелку и подают в нее пар на распыливание мазута, несколько уменьшив расход газа, и подают в форсунку мазут под давлением 2—5 кгс/см^2. При воспламенении мазута уменьшают подачу газа и соответственно увеличивают подачу мазута. Снижение расхода газа производят

до минимально допустимого, регулируют режим горения мазута, а затем отключают газ. Если мазутный факел неустойчив, то до выявления и устранения причины газ не отключают. После перевода на мазут всех горелок выключают газовую автоматику и включают автоматику безопасности по мазуту.

Для перехода с мазута на газ отключают автоматику безопасности по мазуту и снижают его давление до 2—5 кгс/см^2. Затем подают в горелку газ и, постепенно увеличивая его расход, соответственно снижают расход мазута, после чего отключают мазут, продувают форсунку паром и вынимают из горелки, а торцевое отверстие форсуночного канала закрывают заглушкой. После перевода всех горелок на газ включают автоматику безопасности по газу.

Глава 9
ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

9.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для наблюдения за режимами работы котлов, газового и вспомогательного оборудования котельные оснащаются комплектом средств измерений (контрольно-измерительных приборов).

Измерением называется нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям, называется косвенным.

Средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем, называется измерительным прибором. В котельных наиболее широко применяют приборы для измерения давления (разрежения), температуры, расхода и количества вещества, анализа газов и газовоздушных смесей.

По способу фиксации измерений приборы бывают: показывающие, по которым можно определить значение измеряемого параметра в каждый данный момент (пружинный манометр, ртутный термометр, тягонапоромер и др.); самопишущие — регистрирующие приборы, фиксирующие значение измеряемого параметра во времени на движущейся бумажной ленте или вращающемся бумажном диске (термометры самопишущие, манометры самопишущие и др.); интегрирующие, в которых значения величины (количество проходящего вещества или электрической энергии) подвергаются интегрированию (суммированию) во времени (газовый ротационный счетчик, водомер).

Средства измерений делят на две группы: рабочие (лабораторные и эксплуатационные) и образцовые, предназначенные для поверки и градуировки по ним других средств измерений и утвержденные в качестве образцовых.

Измерительные устройства включают в себя: первичный измерительный преобразователь (ранее назывался датчиком), промежуточный и передающий измерительные преобразователи, вспомогательные устройства, показывающий или самопишущий измерительный прибор.

Первичный измерительный преобразователь устанавливается непосредственно в месте измерения и воспринимает изменения контролируемого параметра. Промежуточный преобразователь находится в измерительной цепи за первичным. Передающий измерительный преобразователь предназначен для дистанционной передачи сигнала измерительной информации прибору.

Часть конструкции прибора, предназначенная для отсчитывания значений измеряемой величины, называется отсчетным устройством. В показывающих приборах это шкала и стрелка. На шкалах нанесены отметки (знаки), соответствующие некоторому значению измеряемой величины. Промежуток между двумя соседними отметками называется делением шкалы, а разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам, — ценой деления шкалы. Шкалы бывают равномерные — с делениями постоянной длины — и с постоянной ценой деления, а также неравномерные.

Диапазон измерений — это область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений. Пределы измере-

ний — наибольшее и наименьшее значения измеряемой величины.

Важной характеристикой средств измерений является класс точности, т. е. обобщенная характеристика, определяемая пределами основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность. Класс точности не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых с помощью этих средств. Класс точности указан на шкале прибора. Если, например, манометр с верхним пределом измерения давления 16 кгс/см^2 отнесен к приборам класса точности 2,5, то его погрешность не должна превышать $16 \cdot 0{,}025 = 0{,}4$ кгс/см^2.

Отклонения результатов измерений от истинного значения измеряемой величины вызываются погрешностями средств измерений, а также погрешностями, допускаемыми в процессе измерений. Погрешности средств измерений могут быть учтены поверкой рабочих приборов образцовыми или исключены введением соответствующих поправок в результаты измерений. Поправки обычно указывают в поверочных свидетельствах, а относительные погрешности измерения — в паспортах, которые обязательно должны быть приложены к каждому прибору.

Возможны ошибки, вызванные несовершенством метода измерений, неудачным выбором места отбора сигнала измерительной информации (импульса), неправильным использованием прибора, неточностью отсчета показаний прибора и оценки на глаз доли деления шкалы или нахождения наблюдателя сбоку от прибора, неправильной записью результатов измерений.

Правила монтажа, присоединения приборов и импульсных трубок к трубопроводам и каналам, расположение чувствительных элементов первичных преобразователей в потоке, а также порядок обслуживания средств измерений изложены в инструкциях заводов-изготовителей.

Все средства измерений подлежат периодической поверке в органах метрологической службы Государственного комитета стандартов (Госстандарт) СМ СССР или в ведомственных метрологических службах. Поверка рабочих средств измерений, предназначенных для взаимных расчетов (между потребителями и поставщиками газового топлива), обеспечения техники безопасности и охраны окружающей среды, проводится в следующие сроки.

Расходомеры для жидкостей, пара и газа (в том числе манометры и термометры, работающие в комплекте с расходомером)	1 раз в год
Газосчетчики, водосчетчики и теплосчетчики промышленные	1 раз в 2 года
Термометры (кроме образцовых)	1 раз в год
Термометры ртутные образцовые	1 раз в 4 года
Манометры всех типов и тягонапоромеры	1 раз в год
Газоанализаторы всех типов	1 раз в 6 мес
Хроматографы	1 раз в 6 мес
Калориметры газовые	1 раз в 3 мес
Интерферометры	1 раз в год
Электроизмерительные приборы (амперметры, вольтметры и др.)	1 раз в год

Условные обозначения средств измерений приведены на рис. 9.1.

9.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ГАЗОВ

В котельных анализы газов производят в случаях, когда необходимо определить: состав газового топлива, продуктов сгорания и отходящих газов, газовоздушной смеси в горелках при их испытаниях; состав газовоздушной смеси при продувках газопроводов; содержание горючих и вредных газов в воздухе производственных помещений, топок, колодцев, подвалов.

Если требуется получить точные данные о составе контролируемой среды или процентное содержание в ней отдельных компонентов, применяют приборы, называемые газоанализаторами. Если нужно выявить с достаточной для практических целей точностью наличие в контролируемой среде одного-двух газов, применяют газоиндикаторы.

Методы анализа сложных газов делят на химические, основанные на последовательном поглощении отдельных компонентов, входящих в состав анализируемой пробы, и физические, основанные на измерении какой-либо физической величины, характерной для данного компонента.

Газоанализаторы ГХП. В приборах использован волюмометрический (газообъемный) метод газового анализа, основанный на измерении уменьшения объема анализируемой пробы в результате поглощения отдельных компонентов.

Для сокращенного анализа проб газовоздушных смесей или продуктов сгорания на диоксид углерода, кисло-

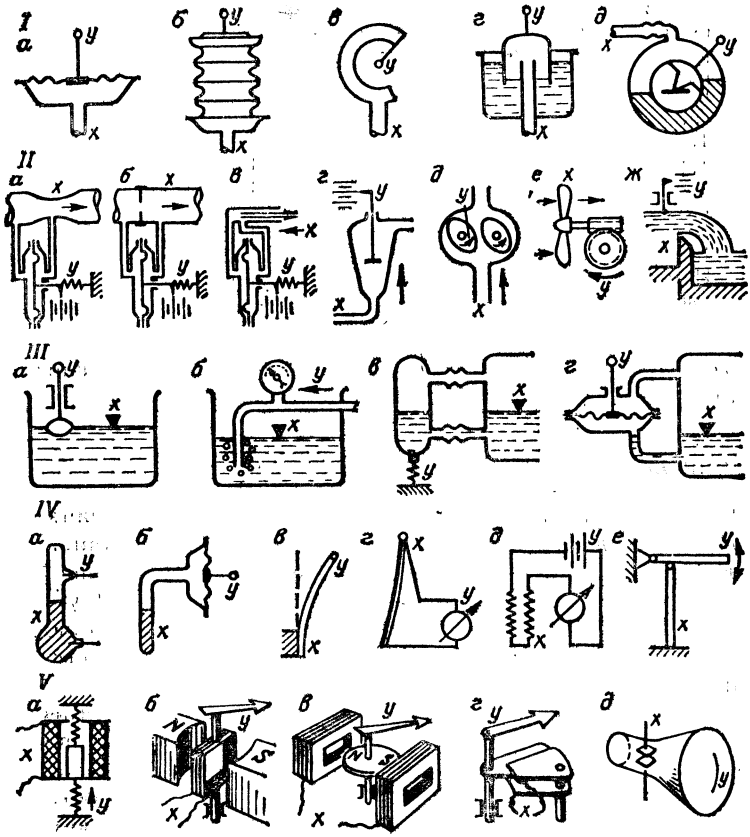


Рис. 9.1. Элементы для измерения.

I — давления (*а* — мембрана, *б* — сильфон, *в* — манометрическая трубка, *г* — колокол, *д* — кольцевые весы); *II* — расхода (*а—в* — дифференциальные расходомеры, *г* — ротаметр, *д* — объемный расходомер, *е* — вертушка, *ж* — перепад); *III* — уровня (*а* — поплавок, *б* — уровнемер давления, *в* — весовой уровнемер, *г* — дифференциальный уровнемер); *IV* — температуры (*а* — контактный термометр, *б* — термометр давления, *в* — биметаллический термометр, *г* — термоэлектрический преобразователь, *д* — термопреобразователь сопротивления); *V* — напряжения или тока (*а* — электромагнитный измеритель, *б* и *в* — магнитоэлектрические измерители, *г* — электростатический измеритель, *д* — электронно-лучевой измеритель; *х* — вход, *у* — выход).

род и оксид углерода широкое применение получили газоанализаторы химические переносные ГХП (типа Орса). В приборе последовательно поглощаются указанные газы соответствующими поглотительными растворами. Прибор ГХП-100 (рис. 9.2) состоит из фильтра, соединительной гребенки с кранами, трех поглотительных сосудов,

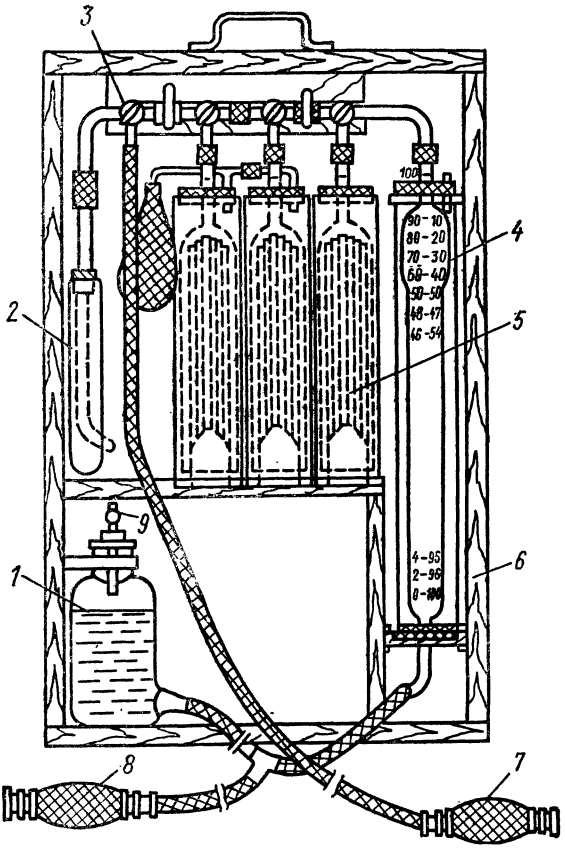


Рис. 9.2. Газоанализатор ГХП-100 (с дополнительной грушей).

1 — уравнительный сосуд; *2* — фильтр; *3* — трехходовой кран; *4* — измерительная бюретка; *5* — поглотительные сосуды; *6* — деревянный футляр; *7* — резиновая груша для отбора пробы; *8* — дополнительная груша для подкачки; *9* — дополнительный кран.

уравнительного сосуда и измерительной бюретки вместимостью 100 см^3, что соответствует 100% объема пробы. Имеются также приборы с двумя парами сосудов, предназначенные для определения только диоксида углерода и кислорода.

Поглотительные сосуды прибора заполняют следующими реактивами: ближайший к измерительной бюретке — раствором едкого калия КОН или едкого на-

трия NaOH для поглощения CO_2 и SO_2; следующий сосуд — щелочным раствором пирогаллола для поглощения O_2; последний — аммиачным раствором полухлористой меди или суспензией закиси меди с бета-нафтолом в серной кислоте для поглощения CO.

Уравнительный сосуд заполнен запирающей жидкостью, в качестве которой применяют насыщенный раствор поваренной соли, слегка подкисленный серной или соляной кислотой и подкрашенный метилоранжем в розовый цвет. При случайном попадании в измерительную бюретку реактивных растворов из поглотительных сосудов запорная жидкость становится желтой.

Для замены достаточно утомительного прокачивания пробы уравнительным сосудом применяют прокачивание с помощью дополнительной груши *8*, которой пользуются следующим образом. После соединения поглотительного сосуда с измерительной бюреткой закрывают кран на пробке уравнительного сосуда, помещают сосуд и грушу на стол. Затем постепенно нажимают на грушу, заполненную водой, и проба из бюретки вытесняется в поглотительный сосуд. Уравнивание менисков жидкостей производят с помощью уравнительного сосуда при открытом кране *9* на его пробке.

До поступления в прибор проба проходит через фильтр, заполненный стеклянной ватой, где происходит очистка пробы от механических примесей. Трехходовой кран служит для присоединения прибора к газоходу через фильтр или к аспиратору, в котором находится исследуемая проба, а также для того, чтобы сообщить измерительную бюретку с атмосферой.

Раствор для поглощения CO_2 считается пригодным, если не изменился его цвет и в нем не образовался осадок. Пригодность раствора для поглощения O_2 проверяют после каждых 20—25 анализов поглощением кислорода, содержащегося в воздухе. Пробу воздуха для этого следует отбирать вне помещения.

Существенным недостатком щелочного раствора пирогаллола является значительная потеря активности реактива при температуре ниже 15 °С и возможность выделения из раствора CO. Количество образующегося CO зависит от количества кислорода, содержащегося в анализируемой пробе, температуры окружающей среды при проведении анализа, условий хранения раствора пирогаллола и других факторов. В случаях, когда необходимо опре-

делить полный состав продуктов сгорания, следует по одной части отобранной пробы определить CO_2 и O_2 на ГХЛ-1, а по другой — содержание горючих газов на хроматографе.

При работе в котельной прибор ГХП следует размещать возможно ближе к месту отбора проб в зоне умеренной и малоизменяющейся температуры воздуха, где нет сквозняка и куда не попадают прямые солнечные лучи. Футляр прибора очень неустойчив, и его следует крепить к столу специальной струбциной.

При пользовании прибором необходимо обеспечить плотность и легкую поворачиваемость стеклянных кранников. Для этого применяют специально приготовленную смазку из вазелина, парафина и мелко нарезанного невулканизированного каучука. Если прибором не пользуются более недели, то в краники прокладывают полоски бумаги, чтобы они не «прикипали». Хранят прибор в закрытом помещении при температуре 5—35 °С и относительной влажности не более 80%.

Для проверки плотности прибора гребенку при отключенных поглотительных сосудах соединяют с атмосферой. Поднимая кверху напорный сосуд, заполняют бюретку и канал гребенки запорной жидкостью. Затем закрывают трехходовой кран и напорный сосуд опускают вниз, создавая разрежение в приборе. Прибор считается плотным, если уровень жидкости в измерительной бюретке останется неизменным в течение 30 с.

Правильность определения содержания диоксида углерода и кислорода в пробе при полном сгорании подтверждается следующей зависимостью:

$$CO_2'/CO_{2\,max} + O_2'/21 = 1.$$

Несоблюдение приведенного равенства может быть вызвано следующими причинами: неправильным выполнением анализа пробы, несоответствием действительного значения $CO_{2\,max}$ принятому в расчете, наличием химической неполноты сгорания. Для уточнения химической неполноты сгорания необходимо отобрать повторно пробу на тех же режимах и выполнить анализ в лабораторных условиях.

Приготовление растворов и зарядку прибора следует производить в химической лаборатории. На свободные (дыхательные) концы сосудов, заполненных щелочным раствором пирогаллола или суспензией закиси меди

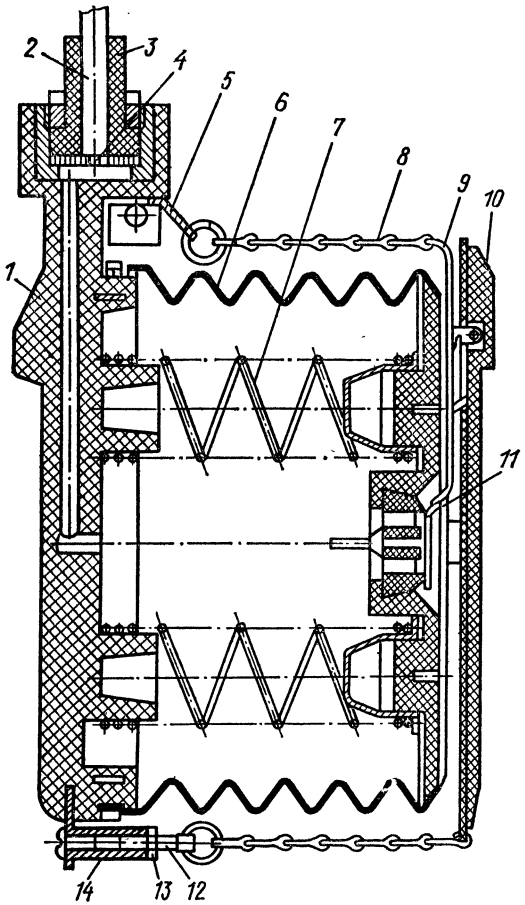


Рис. 9.3. Аспиратор АМ-5.

1 — крышка; *2* — индикаторная трубка; *3* — штуцер; *4* — фильтр; *5* — подвеска; *6* — сильфон; *7* — пружина; *8* — цепочка; *9* — рычаг; *10* — дно; *11* — клапан; *12* — винт; *13* — контргайка; *14* — втулка.

в серной кислоте, должны быть надеты баллончики из кислотощелочностойкой резины для того, чтобы предотвратить поглощение раствором кислорода из воздуха.

Точность определения содержания отдельных компонентов смеси зависит от следующих условий: герметичности прибора; полноты поглощения каждого газа соответствующим раствором; правильности отбора пробы;

точности отсчета объема газа по шкале измерительной бюретки; изменения температуры пробы во время анализа.

Газоопределитель ГХ. Портативный прибор ГХ-4 применяют для экспресс-определения малых концентраций содержащихся в воздухе оксида углерода, оксидов азота, сернистого газа, сероводорода, диоксида углерода. Действие прибора основано на использовании цветных реакций, протекающих в индикаторных трубках между определяемым газом и реактивом. Прибор состоит из аспиратора АМ-5 и индикаторных трубок на определенный газ.

Аспиратор АМ-5 (рис. 9.3) предназначен для просасывания нормированного объема воздуха через индикаторную трубку. Представляет собой сильфонный насос, работающий на всасывание воздуха за счет раскрытия под действием пружины предварительно сжатого рукой сильфона. Выброс воздуха происходит при сжатии сильфона. Время полного раскрытия 8—9 с.

Для выполнения анализа концы трубки обламывают, используя для этого проушины аспиратора. Один конец вставляют (по направлению стрелки) в аспиратор, а другой с помощью шланга присоединяют к емкости, в которой находится исследуемая проба, или непосредственно соединяют с контролируемой средой. Трубка пригодна только для разового употребления. Срок действия трубок на оксид углерода 24 мес.

Объем просасываемой среды за один ход составляет 100 мл. При повышенных концентрациях оксида углерода можно ограничиться одноразовым просасыванием, при малых концентрациях просасывают 10 раз (1000 мл). Содержание оксида углерода устанавливают по границе интенсивной окраски слоя реактива с помощью шкалы, нанесенной на трубку, или совмещением градуировочной части трубки со шкалой, имеющейся на упаковке трубок. За чувствительность определения принята концентрация, соответствующая первому делению шкалы. При неровной границе окраски следует брать среднее значение длины окрашенного слоя.

При определении наличия оксида углерода в воздухе необходимо знать его массу для сравнения с предельно допустимой концентрацией, равной 20 мг/м^3. Поэтому по данным содержания оксида углерода в объемных процентах нужно определить содержание по массе. Соотношение массы CO по измеренному объему при 0 и 20 °C и десятикратном просасывании (1000 мл) составляет:

CO, об. %	0,0005	0,001	0,002	0,0035	0,005
CO при 0 °С, мг/м³	6,25	12,5	25,0	43,7	62,5
при 20 °С, мг/м³	5,80	11,6	23,2	40,6	58

Определение оксида углерода нельзя производить при наличии в пробе пропана и бутана. Эти газы следует предварительно поглотить в защитной трубке ГХ-4ТП.

До пользования следует проверить герметичность аспиратора со вставленной невскрытой индикаторной трубкой путем кратковременной выдержки сжатого до упора аспиратора. Прибор считается герметичным, если по истечении 5 мин высота сжатого сильфона не изменилась. Необходимо также убедиться в том, что рычаг введен под клапан и открывает его в конце хода сильфона.

Преимущества прибора ГХ — простота и быстрота выполнения анализа. Существенным недостатком прибора, особенно при проведении испытаний, является большой расход индикаторных трубок. Поэтому его можно использовать только для предварительного определения наличия оксида углерода. Прибор следует хранить в сухом отапливаемом помещении при температуре 5—25 °С и относительной влажности не более 80%. Воздух в помещении не должен содержать агрессивных газов и паров.

Термохимические газоиндикаторы. К этой группе относятся приборы типа ПГФ (переносный газоиндикатор Файнберга), ИВП-I.VI.I (индикатор взрывоопасности переносный), СТХ-5А (сигнализатор термохимический).

Ранее выпускавшиеся приборы ПГФ имеют следующие модификации: ПГФ2М1-И1АУ4 «метан» — для определения концентрации метана; ИЗГУ4 «эфир» — для определения пропана, этилена, этилового спирта, коксового газа и других горючих газов и паров; И4АУ4 «водород» — для определения концентрации водорода.

Принцип работы прибора основан на определении теплового эффекта сгорания горючего газа на каталитически активной платиновой спирали. Два плеча электрического моста (измерительное *R1* и сравнительное *R2*) изготовлены из платины, а два других плеча — резисторы постоянного сопротивления (рис. 9.4). Питается прибор от двух сухих гальванических элементов *Б*.

При сгорании горючего компонента анализируемой смеси сопротивление измерительного плеча увеличивается и в диагонали моста протекает ток, сила которого пропорциональна концентрации горючего компонента. По показаниям милливольтметра с помощью таблицы, име-

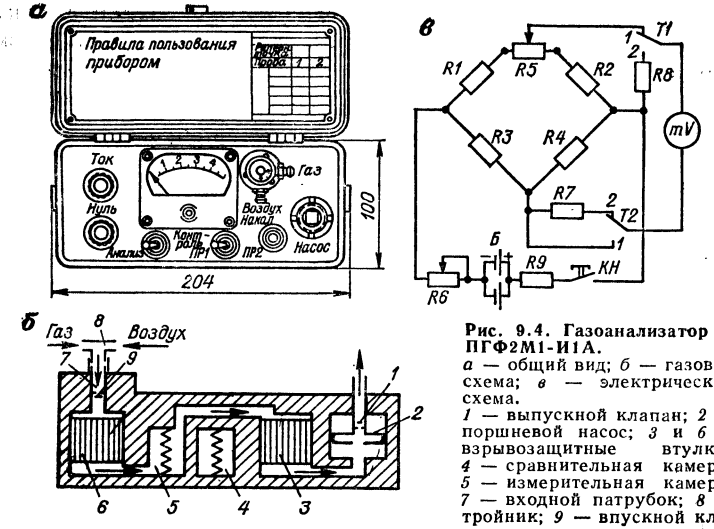


Рис. 9.4. Газоанализатор ПГФ2М1-И1А.
а — общий вид; *б* — газовая схема; *в* — электрическая схема.
1 — выпускной клапан; *2* — поршневой насос; *3* и *6* — взрывозащитные втулки; *4* — сравнительная камера; *5* — измерительная камера; *7* — входной патрубок; *8* — тройник; *9* — впускной клапан.

ющейся на крышке прибора, определяют действительное содержание анализируемого компонента в пробе.

Газовую смесь и чистый воздух закачивают в прибор с помощью поршневого насоса через тройник, присоединенный к входному штуцеру. При равенстве давлений газовой смеси и воздуха на входе в прибор соотношение их 1 : 1. Плохое поступление газовой смеси в прибор может быть вызвано засорением щелей взрывозащитных втулок. Пробы следует отбирать через фильтр, так как попадание пыли и влаги в рабочую камеру может вызвать заниженные показания прибора.

Настройку прибора (установку на нуль) нужно производить чистым воздухом. При выполнении анализа объем прокачиваемой среды должен в 2—3 раза превышать вместимость резинового шланга. После окончания анализа следует несколько раз прокачать через прибор чистый воздух. Температура пробы не должна превышать температуру прибора. При температуре ниже —20 °С с прибором можно работать периодически не более 0,5 ч с выдержкой при нормальной температуре в течение 1 ч. Если прибор длительное время находился в загазованном помещении, то перед анализом необходимо несколько раз прокачать через него чистый воздух и проверить уста-

новку на нуль. Хранить прибор следует при температуре не ниже 5 °С.

Газовый блок проверяют на герметичность 1 раз в 4 мес. Для этого входной штуцер трехходового крана закрывают резиновой пробкой и поднимают шток насоса. Если блок герметичен, то поднятие штока насоса требует больших усилий.

Гарантийное число анализов для каждой пары плечевых элементов 2000. Допустимая погрешность прибора, об. %: при анализе метана по первому пределу ±0,15, по второму 0,5; при анализе пропана соответственно 0,1 и 0,3.

В приборе ИВП-I.VI.I для получения теплового эффекта в схеме электрического моста использовано плечо с каталитически чувствительным оксидом алюминия, пропитанным палладием.

Контролируемая смесь под действием разрежения, создаваемого резиновой грушей, поступает в камеру сгорания через фильтр и взрывозащитное устройство. Такое же устройство имеется и за камерой сгорания. Стрелка милливольтметра входит в сигнальную зону шкалы при наличии в контролируемой среде водорода в диапазоне 5—40%, углеводородных и других газов 5—60% нижнего предела их взрываемости. Для достижения концентрации горючего компонента в камере сгорания, равной концентрации на входе индикатора, необходимо осуществить не менее 10 прососов резиновой грушей. Кнопку «Вкл.» следует держать нажатой не менее 20 с. Отклонение стрелки в течение этого времени на закрашенный сектор свидетельствует о наличии взрывоопасной концентрации. Если при нажатии кнопки стрелка неподвижна, то следует проверить состояние батареек прибора.

Сигнализатор СТХ-5А является переносным, предназначенным для периодического контроля наличия горючих газов (кроме оксида углерода), паров и их смесей в воздухе производственных помещений и выдачи сигналов в диапазоне сигнальных концентраций (5—50% нижнего концентрационного предела воспламенения).

Сигнализатор состоит из источника питания, электрической схемы, пробоотборного устройства, показывающего прибора (рис. 9.5). Питание осуществляется от двух аккумуляторов (НКГ-1,5 VI.I), включенных последовательно, или от одной батареи 3336 «Планета 1» (или 3336

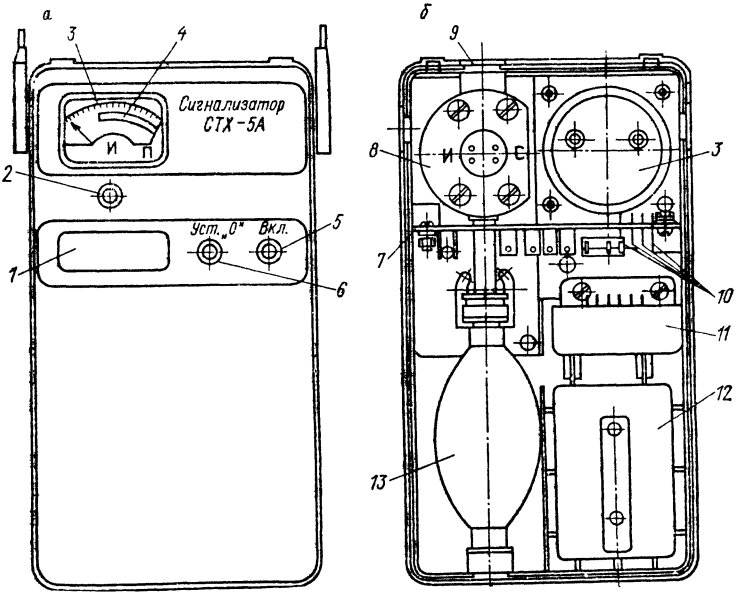


Рис. 9.5. Сигнализатор СТХ-5А.

а — внешний вид; *б* — компоновка узлов на панели.
1 — кнопка; *2* — шлиц для установки механического нуля; *3* — милливольтметр (индикатор); *4* — сигнальная зона; *5* — включатель светодиода; *6* — шлиц установки электрического нуля; *7* — печатная плата; *8* — газовая камера; *9* — штуцер газозаборного устройства; *10* — контрольные штыри; *11* — сигнализатор напряжения; *12* — питательный элемент; *13* — резиновая груша.

«Планета 2»). В электрическую схему входят: сигнализатор напряжения, обеспечивающий стабилизацию напряжения источника питания; измерительный мост с измерительным и сравнительным чувствительными элементами; узел отключения аккумуляторной батареи и выдачи сигнала; показывающий прибор (индикатор). На печатной плате предусмотрены четыре контрольных штыря для проведения проверок прибора при подготовке его к работе.

Индикаторы термохимического действия должны подвергаться проверке на правильность показаний эталонными газовыми смесями ежемесячно, а также после замены плечевых элементов и ремонтов.

Шахтные интерферометры. Принцип действия шахтных интерферометров (ШИ) основан на явлении интерференции, т. е. усиления или ослабления световых волн при

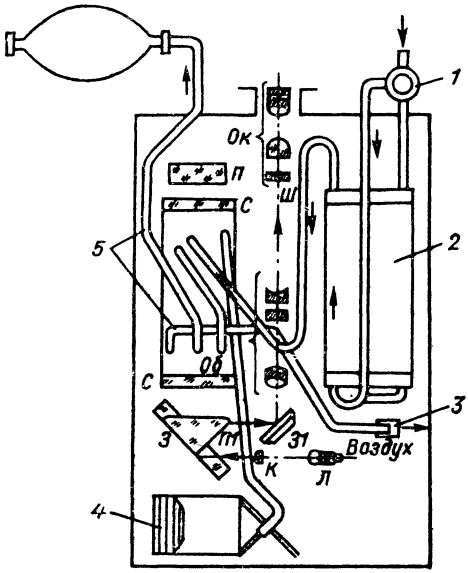


Рис. 9.6. Схема газоиндикатора ШИ-10.

Л — лампа накаливания; *К* — конденсорная линза; *З* — плоскопараллельное зеркало; *С* — плоскопараллельное стекло; *П* и *П1* — призмы; *З1* — зеркало; *Об* — объектив; *Ок* — окуляр; *Ш* — отсчетная шкала; *1* — распределительный кран; *2* — подготовительный патрон; *3* — штуцер; *4* — лабиринт; *5* — соединительные резиновые трубки.

их наложении друг на друга. При прокачивании резиновой грушей проба проходит через поглотительный патрон, заполненный химическим известковым поглотителем (ХПИ) для очистки от пыли и углекислого газа, а затем через патрон, заполненный гранулированным силикагелем для улавливания водяных паров. Далее проба поступает в газовоздушную камеру (рис. 9.6).

При наличии газа в пробе воздуха происходит смещение интерференционной картины (схема хода лучей на рисунке не показана). Смещение, наблюдаемое через окуляр, пропорционально разности между показателями преломления света исследуемой газовой смеси и атмосферного воздуха. Шкала прибора с равномерными делениями градуирована в объемных процентах; цена деления 0,25 об. % метана; пределы измеряемых концентраций от 0 до 6 об. %; допустимая погрешность $\pm 0{,}2$ об. %; температура окружающей среды от —10 до 40 °С. Без

перезарядки поглотительного патрона прибором можно производить не более 600 измерений.

Хроматографы. Хроматографическими газоанализаторами (хроматографами) называются приборы, предназначенные для анализа газовых смесей и основанные на физико-химических методах разделения этих смесей. Наибольшее распространение получила газоадсорбционная хроматография. Применяют хроматографы, как правило, в лабораторных условиях.

Адсорбция — поглощение газа пористым веществом (адсорбентом), происходящее благодаря наличию сил притяжения между адсорбентом и адсорбируемым газом. В качестве адсорбента применяют мелкогранулированный активированный уголь, силикагель, оксид алюминия и другие пористые вещества. Перемещается проба газовой смеси в приборе потоком газа-носителя, в качестве которого используют воздух, гелий, азот и др.

Разделение смеси происходит вследствие различной скорости движения отдельных компонентов пробы в слое адсорбента. Поэтому в чувствительный элемент прибора (термокондуктометрический детектор) отдельные компоненты приходят в определенное время. В детекторе использован эффект каталитического сжигания компонентов на поверхности чувствительного элемента, расположенного на одном из плеч измерительного моста. Сигналы, поступающие от детектора, можно контролировать визуально по отклонению стрелки электрического измерительного прибора или по хроматограмме, нанесенной на ленту самопишущего прибора.

Отбор проб газа и воздуха. Пробы газов и воздуха при необходимости их кратковременного хранения или перевозки отбирают в аспиратор типа Коро или в склянку (бутыль) с тубусом. Пипетки аспиратора типа Коро или склянка (аспираторный сосуд) соединены с напорной склянкой. Аспираторный сосуд до присоединения к месту отбора пробы заполняют 22%-ным раствором хлористого кальция $CaCl$ или поваренной соли $NaCl$ с добавлением небольшого количества серной кислоты. Если открыть оба крана этого сосуда, а напорный сосуд расположить ниже, то вода из аспираторного сосуда будет стекать в напорный. Под влиянием разрежения в аспираторный сосуд будет поступать исследуемая среда. Аспираторный сосуд следует «промыть» отбираемым газом, т. е. набрать в него первую пробу и выпустить в атмосферу через верх-

ний трехходовой кран. При этом будет удален воздух из соединительной линии.

Применяют также отбор проб сухим методом в резиновые камеры с помощью ручного насоса или резиновой груши. Такой метод отбора допустим только при выполнении анализа непосредственно после отбора пробы, так как через резиновую стенку газы диффундируют, что даже при кратковременном хранении пробы может привести к ошибкам. Резиновые груши, применяемые для отбора проб непосредственно в газоанализатор, нередко выходят из строя (засоряется клапан, неплотности в штуцерах), что отражается на результатах анализа и времени отбора проб.

Для отбора проб продуктов сгорания с температурой до 500 °С применяют стальные трубки, а при температуре превышающей 500 °С — специальные охлаждаемые водой стальные или медные трубки. Пробы следует отбирать через установленные для этой цели в обмуровке гильзы. Соединяют трубки с прибором резиновым шлангом, длина которого должна быть минимальной. Необходимо исключить провисание шланга, при котором возможно образование конденсатных пробок.

Пробы отходящих газов за секционным котлом следует отбирать не ближе 250 мм от шибера. В случае, если это место окажется недоступным или если шиберы расположены в непосредственной близости от котла, пробу можно отбирать с фронта котла через лючки для чистки нижних газоходов. Длина трубки должна обеспечить возможность отбора пробы на выходе из газохода.

Газоанализатор кислорода типа МН5106-2. Предназначен для непрерывного измерения объемного содержания кислорода в продуктах сгорания. В приборе использован термомагнитный метод анализа газовой смеси, основанный на возникновении термомагнитной конвекции кислородсодержащей газовой смеси в неоднородном магнитном поле около нагретого электрическим током чувствительного элемента. Изменение электрического сопротивления последнего и служит мерой содержания кислорода в смеси.

Конструктивно газоанализатор имеет блочное исполнение и состоит из следующих элементов (рис. 9.7): блока пробоподготовки; преобразователя; отсчетного устройства на базе потенциометра типа КСП2-005, устанавливаемого на рабочем месте оператора; газозаборного фильтра.

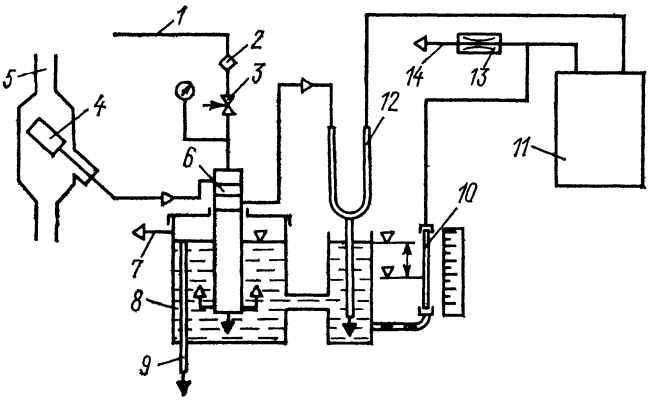


Рис. 9.7. Функциональная схема газоанализатора МН5106-2.
1 — вход конденсата (технической воды); *2* — фильтр; *3* — вентиль; *4*—фильтр газозаборный; *5* —газоход; *6*—побудитель расхода; *7*— сброс лишнего газа; *8* — сосуд уравнительный; *9* — слив отработанного конденсата; *10* — водяной манометр; *11* — преобразователь; *12* — холодильник; *13* — дроссель; *14* — сброс газа в атмосферу.

Отбор проб происходит за счет разрежения в газопроводной линии, создаваемого водоструйным побудителем расхода. Вода, поступающая в побудитель расхода проходит через фильтр и вентиль-регулятор давления воды. Водоструйный побудитель включает в себя: эжектор, лабиринтную камеру, где происходит промывка газовой смеси от агрессивных примесей, газоотделитель, в котором газ выделяется из смеси. Далее вода поступает в уравнительный сосуд, выполняющий функции стабилизатора расхода газа через приемник, а газ поступает в холодильник.

В холодильнике происходит отвод теплоты при испарении воды с постоянно смачиваемой поверхности. При любых значениях температуры окружающего воздуха относительная влажность газовой смеси на входе в преобразователь составляет 100%. Расход газовой смеси через преобразователь контролируется по водяному манометру, измеряющему перепад давления на дросселе.

Преобразователь газоанализатора имеет блочное исполнение и состоит из термостата и электронного блока (рис. 9.8). На крышку термостата выведен «под отвертку» резистор регулировки нуля. В корпусе термостата размещены резисторы подстройки измерительных мостов термомагнитного датчика. Электронный блок предназна-

чен для питания мостовых схем термомагнитного датчика и преобразования сигналов последнего в унифицированные сигналы тока (0—5 мА) и напряжения (0—100 мВ).

Прибор предназначен для использования в невзрывоопасной среде, при температуре окружающей среды 5—50 °С и относительной влажности 30—80%. Параметры электрического питания: напряжение переменного тока 220 В, частота 50 Гц. Температура воды на входе в блок пробоподготовки — не более 45 °С. Содержание растворенного кислорода в воде должно быть не более 0,2 мкг/см^3.

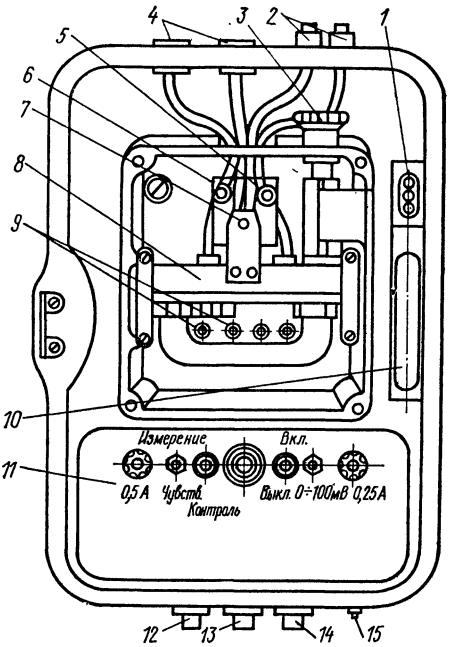


Рис. 9.8. Преобразователь газоанализатора МН5106-2 (со снятой крышкой).

1 — розетка контрольной линии; *2* — вход и выход анализируемого газа; *3* — рукоятка магнитного шунта; *4* — вход и выход сравнительного газа; *5*, *6* и *9* — резисторы; *7* — резистор регулировки нуля; *8* — измерительный преобразователь; *10* — разъем подключения электрического блока; *11* — электронный блок; *12* — разъем выхода; *13* — разъем измерительной линии; *14* — разъем питания; *15* — клемма заземления.

При использовании прибора необходимо: надежно заземлять корпус преобразователя и отсечного устройства; иметь дополнительный разрыв в линии электрического питания, позволяющий обесточить прибор при его ремонте или осмотре. Персонал, обслуживающий прибор, должен иметь квалификационную группу не ниже III.

9.3. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Ртутные термометры. Ртутные технические термометры типа ТТ применяют при измерениях температуры в пределах от —90 до 600 °С. Хвостовая часть технических термометров бывает прямой (обозначение П) или под

углом (обозначение У). Верхний предел измерений термометра должен превышать наибольшую измеряемую температуру не менее чем на 20 °С.

Устанавливают термометры в стандартные карманы, толщина стенок которых должна быть не более 1,5 мм при давлении измеряемой среды 8—15 кгс/см^2 и 2,5 мм — при давлении 15—60 кгс/см^2. Внутренний диаметр кармана не должен быть больше чем на 3 мм диаметра оболочки термометра. Зазор между карманом и термобаллоном должен быть заполнен машинным (компрессорным) маслом при измерении температур до 200 °С, медными или бронзовыми опилками — при измерении более высоких температур. Во всех случаях термобаллон термометра должен находиться на оси потока.

Для уменьшения теплообмена между гильзой и стенкой трубопровода поверхность последнего должна быть покрыта тепловой изоляцией на расстоянии 6—10 диаметров по обе стороны от гильзы.

Если при пользовании техническим термометром температура окружающего воздуха отличается от градуировочной температуры, то к показаниям термометра вводится поправка на выступающий столбик:

$$\Delta t_{\text{в. с}} = n\alpha (t_{\text{гр}} - t_{\text{о. в}}),$$

где n — число градусов в выступающей части ртутного столбика, °С; α — температурный коэффициент видимого расширения ртути в стекле, равный 0,00016, градус$^{-1}$; $t_{\text{гр}}$ и $t_{\text{о. в}}$ — температуры окружающего воздуха, показываемые выступающим столбиком ртути при градуировке и измерениях, °С.

В системах сигнализации используют ртутные термометры — термосигнализаторы, в которых имеются два контакта: один впаян в нижней точке капилляра, другой — на определенной отметке шкалы или подвижный. При подъеме ртути до верхнего контакта замыкается электрическая сеть, что вызывает возникновение сигнала.

Манометрические термометры. Прибор состоит из термобаллона, капиллярной трубки и манометрической пружины, заполненных газом или жидкостью, и передаточного механизма (рис. 9.9). Изменение температуры контролируемой среды приводит к изменению давления в термобаллоне и во всей системе, что вызывает перемещение свободного конца пружины и соответствующее перемещение пера.

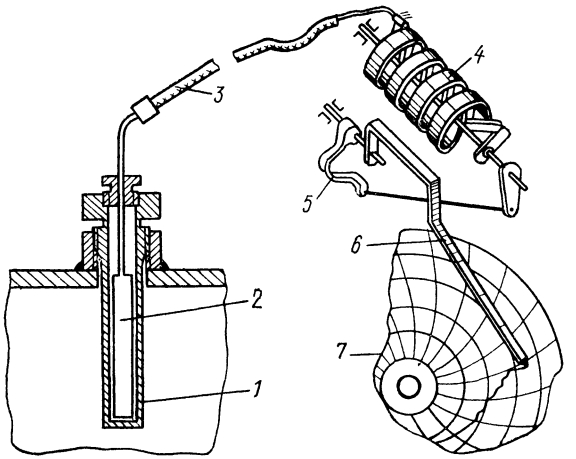


Рис. 9.9. Схема термометра манометрического однозаписного.

1 — защитная трубка; *2* — термобаллон; *3* — капилляр; *4* — манометрическая пружина; *5* — компенсатор; *6* — стрелка с пером; *7* — диаграммная бумага.

Газовые манометрические самопишущие термометры применяют при измерении температуры от —60 до 600 °С. Длина капилляра может достигать 50 м. В качестве привода для диаграмм применены синхронные микродвигатели или часовые механизмы с 8-суточным заводом. В маркировке прибора указывается заполнение, количество записей, тип привода. Например, манометрический термометр газовый самопишущий с одной записью и микродвигателем ТГС-711; двухзаписный ТГ2С-711; с часовым механизмом соответственно ТГС-712 и ТГ2С-712. Классы точности приборов 1 и 1,5.

Приборы предназначены для работы при температуре воздуха 5—50 °С и относительной влажности до 80%. Градуируют приборы при температуре 20 °С. Погрешность прибора при отклонениях температуры капилляра от градуировочной определяют по формуле

$$\Delta t_к = V_к (t_к - t_0)/V_б,$$

где $V_к$ и $V_б$ — объем газа в капиллярной трубке и термобаллоне, см³; $t_к$ и t_0 — температура капилляра при измерении и при градуировке, °С.

Объем $V_к$ зависит от длины капилляра и диаметра канала, равного 0,2—0,5 мм, и составляет 6—8 см³. Объем $V_б$ может составлять 50—130 см³.

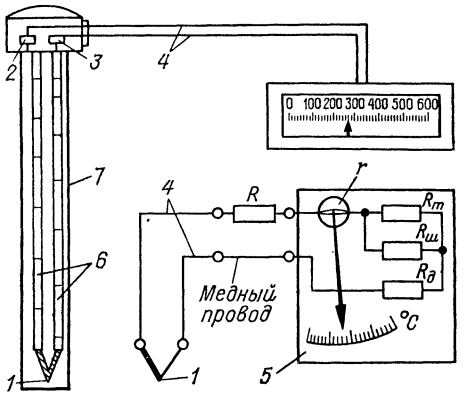


Рис. 9.10. Термоэлектрический преобразователь.
1 — термопреобразователь (термопара); *2* и *3* — свободные концы термопреобразователя; *4* — термоэлектродные (компенсационные) провода; *5* — милливольтметр; *6* — фарфоровые трубки или бусы; *7* — медная или фарфоровая оболочка; R — подгоночная катушка; $R_т$ — полупроводниковый терморезистор; $R_ш$ — шунтирующий резистор; $R_д$ — добавочный резистор.

При пользовании манометрическими термометрами следует обеспечить сохранность капилляра и плотность его присоединения к термобаллону и манометрической пружине, исключить резкие перегибы, которые могут закупорить канал. Капилляр следует крепить к стенам специальными скобами, а в необходимых случаях прокладывать в трубе или под металлическим угольником. Нужно избегать прокладки капилляра вблизи нагретых поверхностей, приборов отопления и т. п.

Преобразователи термоэлектрические. Действие прибора основано на том, что в замкнутой цепи, в которой имеются термоэлектроды — два разнородных, спаянных между собой, проводника (термопара), возникает электродвижущая сила (термоЭДС), если спай и свободные концы этих проводников имеют различную температуру. В комплект измерительного устройства входят: термоэлектроды, компенсационные и соединительные провода, электрический измерительный прибор (рис. 9.10).

Для изготовления термопар (преобразователей термоэлектрических) чаще всего применяют сплавы: хромель—копель и хромель—алюмель. Рабочие концы термоэлектродов соединяют пайкой при диаметре проводов меньше 0,6 мм и электрической дуговой сваркой с предварительным скручиванием концов сварки. Характеристики тер-

мопар следующие: хромель—алюмель (ТХА) — диапазон температур от —200 до 1000, кратковременно 1300, расцветка фиолетовая — серая; хромель — копель (ТХК) — диапазон температур от —200 до 600, кратковременно 800, расцветка фиолетовая — желтая.

Термопары изолируют фарфоровыми или шамотными одно- и двухканальными бусами, магнезитовыми трубочками и защищают оболочками (оправами). Наиболее предпочтительно применение преобразователей термоэлектрических типа 0515 ТХА и 0515 ТХК, инерционность которых не превышает 40 с. На оболочках этих преобразователей имеются подвижные штуцера, при помощи которых удобно выполнять монтаж для измерений.

В качестве измерительных приборов применяют потенциометры переносные постоянного тока типа ПП-63, электронные автоматические типа КВП1, КСП4 и ранее выпускавшиеся ЭПП-09, а также милливольтметры типа М-64, Ш-4500. Потенциометры бывают одноточечные и многоточечные. Многоточечные приборы должны работать с термоэлектродами одной градуировки и одного предела измерений.

Термоэлектродные провода изготавливают из тех же или близких по термоэлектрическим свойствам материалов, что и термоэлектроды. При этом каждую жилу провода следует соединять только с определенным термоэлектродом, положительным или отрицательным по полярности, для чего жилам проводов придают различную расцветку. В обозначении типа термопары положительный термоэлектрод обозначен первым. Для проверки полярности к термопаре подключают измерительный прибор и подогревают спай. Отклонение стрелки прибора вправо указывает на то, что полярность термоэлектродов соответствует указанному на клеммах прибора. Провода должны быть снабжены аттестатами.

Если температура свободных концов выше температуры градуировки, что, как правило, наблюдается вблизи нагретых поверхностей, то измерительный прибор дает заниженные показания. Термоэлектродные провода, являясь продолжением термоэлектродов, позволяют условно перенести свободные концы в место с более низкой и постоянной температурой.

Для термостатирования, т. е. поддержания постоянства температуры свободных концов термоэлектродных проводов, применяют специальные термостаты или устрой-

ства автоматической компенсации изменения температуры свободных концов (компенсационная коробка типа КТ-54).

При использовании термоэлектродов типа ХК и милливольтметра, градуированного в градусах Цельсия, действительную температуру среды определяют по формуле

$$t = t' + C(t'_0 - t_0),$$

где t' — показания милливольтметра, °С; t_0 и t'_0 — температура свободных концов при градуировке и измерении, °С; C — поправочный коэффициент.

Значение C в зависимости от температуры равно: при 100—200 °С — 0,9; при 201—300 °С — 0,83; при 301—400 °С — 0,81.

Провода следует прокладывать открытым способом, с наименьшим количеством изгибов, отдельно от других проводов, обеспечив надежную изоляцию и защиту от возможного механического воздействия. Не допускается прокладка проводов в сырых местах и вблизи нагретых поверхностей. При подключении проводов необходимо обеспечить чистоту контактов соединений.

Термопреобразователи сопротивления. Работа прибора основана на использовании изменения электрического сопротивления проводника при изменении его температуры. Прибор состоит из первичного измерительного преобразователя (тепловоспринимающего элемента), измерительного прибора, источника питания (батареи, аккумуляторы или стабилизированный источник питания типа СВ-4М), соединительных проводов.

Измерительные преобразователи из платины (ТСП) применяют для измерения температуры от —200 до 600 °С, а из меди (ТСМ) — от —50 до 150 °С. По конструкции измерительные преобразователи бывают различного типа: погружаемые и поверхностные; стационарные и переносные; малой, средней и большой инерционности; одинарные и двойные; обыкновенные и виброустойчивые и др.

В качестве измерительных приборов используют мосты уравновешенные электронные автоматические, показывающие с вращающимся циферблатом типа КВМ-1 или автоматические регулирующие со складывающейся диаграммой типа КСМ-4. Эти приборы бывают одноточечные и многоточечные. При необходимости точных измерений применяют потенциометры. Применение логометров нежелательно, так как они не обеспечивают точности измере-

ний. В отличие от преобразователей термоэлектрических температуру измеряемой среды отсчитывают по измерительному прибору без поправки на температуру свободных концов.

Измерительные преобразователи сопротивления типа ТСП выпускают градуировки гр. 21 и гр. 22 с номинальным сопротивлением (при 0 °С) соответственно 46 и 100 Ом, типа ТСМ — гр. 23 и гр. 24 с номинальным сопротивлением 53 и 100 Ом. Погрешность измерения температуры преобразователями ТСП $\pm$ 0,1 °С, ТСМ $\pm$ 1 °С.

Преобразователи присоединяют к измерительному прибору медными проводами. Сопротивление преобразователя и соединительных проводов следует подогнать с помощью подгоночных катушек под сопротивление, указанное в паспорте прибора. Колебания напряжения для равновесных мостов не должны превышать $\pm$10% от номинала, а для логометров $\pm$20%. Во всех схемах увеличение напряжения ведет к перегреву преобразователя, а следовательно, к завышению показаний. Перед установкой преобразователя следует проверить его исправность и сопротивление изоляции с помощью мегомметра с номинальным напряжением 500 В. Сопротивление при нормальной температуре и влажности воздуха должно быть не менее 20 МОм.

В измерительный прибор преобразователь может быть включен по двух- или трехпроводной схеме. Трехпроводная схема предпочтительнее, так как способствует устранению влияния сопротивления соединительных проводов и температуры воздуха на результаты измерений.

9.4. ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ

Классификация приборов. Приборы для измерения давления классифицируются по назначению и по принципу действия. По назначению приборы делят на следующие группы: манометры избыточного давления, манометры абсолютного давления, вакуумметры (для измерения разрежения), мановакуумметры, дифференциальные манометры (дифманометры) — для измерения разности давлений в двух точках системы, барометры — для измерения атмосферного (барометрического) давления. По принципу действия приборы, применяемые в котельных, бывают жидкостные (в которых давление уравновешивается столбом жидкости) и с упругим чув-

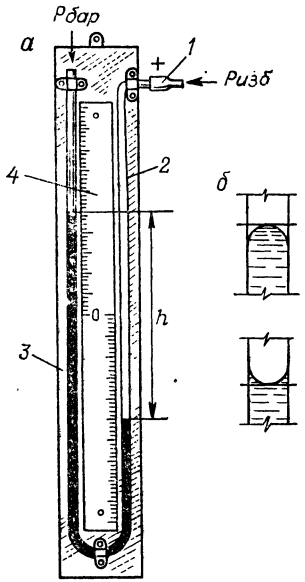


Рис. 9.11. Двухтрубный мановакуумметр.

а — общий вид; *б* — измерение уровня несмачивающей и смачивающей жидкости.
1 — соединительная трубка; *2* — стеклянная измерительная трубка; *3* — доска; *4* — шкала.

ствительным элементом (пружина, мембрана, сильфон и др.).

Жидкостные мановакуумметры. Применяют для измерения давления в газопроводах или воздуховодах и разрежения в топках и газовом тракте. Выбор жидкости (вода, спирт, керосин) зависит от значения измеряемого давления, а также от температуры воздуха в том месте, где установлен прибор.

В стеклянных мановакуумметрах двухтрубных и чашечных свободный конец трубки сообщается с атмосферой, а другой конец присоединен к месту отбора импульса давления. Избыточное давление соответствует разности уровней жидкости в колонках прибора и не зависит от размеров поперечного сечения трубки. Диаметр трубки в целях уменьшения влияния капиллярности должен быть не более 5—6 мм.

Выпускают мановакуумметры типа МВ, с пределами измерения от 0 до 100, 250, 600, 1000 мм вод. ст. (кгс/м^2). Прибор градуируют от нулевой точки, находящейся в середине шкалы (рис. 9.11); деления (в миллиметрах) располагаются вверх и вниз от нуля.

Если прибор залит этиловым спиртом или другой жидкостью, то истинное давление, кгс/м^2, определяют по формуле

$$p = h_{изм}\rho_{ж},$$

где $h_{изм}$ — разность уровней жидкости, измеренная по шкале прибора, мм; $\rho_{ж}$ — плотность жидкости, залитой в прибор, г/см^3.

Жидкостные мановакуумметры устанавливают вертикально. Отсчеты уровня жидкости производят так, чтобы глаза наблюдателя находились на уровне касательной к мениску (у воды — вогнутого, у ртути — выпуклого).

Импульсные трубки для измерения статического давления мановакуумметром и другими приборами присоединяют в таких местах, где поток не имеет завихрений, а скорость его наименьшая.

Тягонапоромеры. По принципу работы тягонапоромеры аналогичны U-образным мановакуумметрам. Отличаются они тем, что одна трубка заменена резервуаром, площадь сечения которого в 500—700 раз больше площади сечения другой трубки, расположенной наклонно. Отсчёт показаний шкалы ведут по уровню жидкости в трубке, пренебрегая при этом изменением уровня жидкости в резервуаре. Точность измерения по тягонапоромеру значительно выше, чем у двухтрубного мановакуумметра, так как при расположении трубки наклонно каждому миллиметру высоты подъема жидкости соответствует несколько миллиметров на шкале прибора.

Тягонапоромеры жидкостные типа ТНЖ-Н (рис. 9.12) применяют для измерения давления, разрежения или разности давлений. Верхний предел измерений, кгс/м^2: 25, 40, 60, 100, 160; статическое давление 0,2 кгс/см^2. Заполняют прибор этиловым спиртом (плотность около 0,8 г/см^3 при температуре 20 °С), подкрашенным красителем.

Регулируют горизонтальную установку прибора по уровню с помощью регулировочного винта. Шкалу можно передвигать поворотом маховичка для совмещения нулевого деления с уровнем жидкости. При этом оба штуцера прибора должны быть свободными. После того, как шкала перемещена в крайнее правое положение, необходимо спирт из прибора слить, переместить шкалу в крайнее правое положение и снова залить прибор спиртом.

Жидкостные дифманометры. Дифманометры типа ДТ-5 и ДТ-50 состоят из двух стеклянных трубок, сообщающихся между собой через верхнюю и нижнюю колодки, двух продувочных, двух рабочих и уравнительного вентилей, колонки для присоединения манометра, ловушек для запорной жидкости, шкалы с визирами. Рабочая жидкость в приборе ДТ-5 — дистиллированная вода, в ДТ-50— ртуть; статическое давление соответственно 5 и 50 кгс/см^2; верхний предел измерения давления 250 мм вод. ст. и 700 мм рт. ст.

При пользовании прибором необходимо строго соблюдать порядок включения, выключения и продувки прибора с помощью соответствующих вентилей. Заполнение

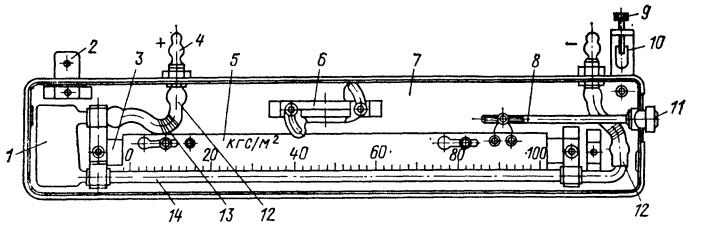
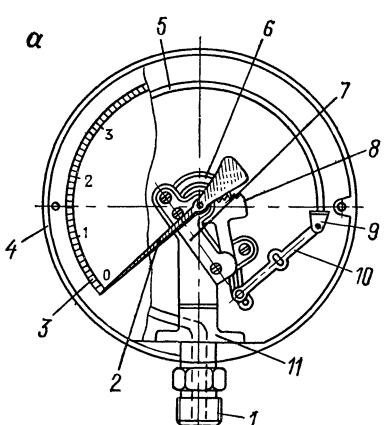


Рис. 9.12. Тягонапоромер типа ТНЖ-Н.

1 — стеклянный сосуд; *2* — жесткое ушко; *3* — шкалодержатель; *4* — штуцер; *5* — шкала; *6* — уровень; *7* — корпус; *8* — винт передвижения шкалы; *9* — винт наклона прибора; *10* — подвижное ушко; *11* — маховичок; *12* — резиновые трубки; *13* — проволочная спираль; *14* — измерительная трубка.

ртутью прибора должны производить лица, специально проинструктированные.

Тягонапоромеры дифференциальные жидкостные типа ТДЖ градуированы в паскалях. Прибор представляет собой один или несколько чашечных, вертикально расположенных манометров. Выпускают прибор с числом трубок 1, 2, 3, 4, 6 с пределами измерения от 1,6 до 6,3 кПа (160—630 кгс/м^2). Разность давлений можно измерять при статическом давлении не более 10 кПа. Все узлы прибора укреплены на раме из листовой стали, к которой приварены верхний и нижний кронштейны, а к кронштейнам прикреплены стеклянные трубки и шкала. Сосуд с жидкостью (бачок) крепится при помощи резиновых шайб и фиксируется в нужном положении с помощью винтов. Измерительную часть можно подсве-



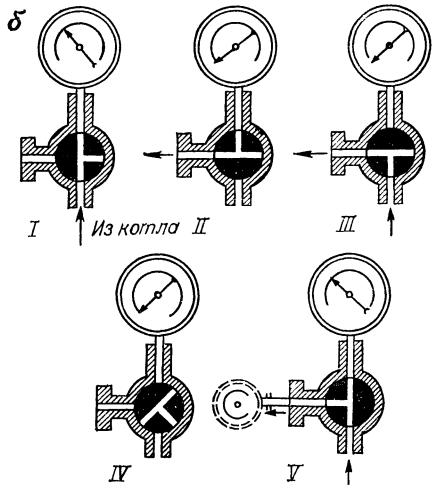


Рис. 9.13. Манометр с одновитковой пружиной.

а — передаточный механизм; *б* — положения трехходового крана. *1* — штуцер; *2* — стрелка; *3* — шкала; *4* — корпус; *5* — трубка; *6* — спиральная пружинка (волосок); *7* — рычаг; *8* — шестеренка; *9* — пробка с шарнирной осью; *10* — поводок; *11* — держатель. *I* — рабочее положение; *II* — проверка на нуль; *III* — продувка сифонной трубки; *IV* — положение для набора конденсата; *V* — проверка образцовым манометром.

тить, расположив источник света несколько выше верхней кромки прибора. Для выполнения измерений прибор включают так, чтобы абсолютное давление в бачке было всегда больше, чем в измерительной трубке.

Пружинные манометры. В пружинных манометрах чувствительным элементом является трубчатая пружина овального сечения, изготовленная из латуни. При увеличении давления пружина стремится распрямиться, воздействуя при этом с помощью поводка на зубчатый сектор, который в свою очередь вращает маленькую шестерню и скрепленную с ней стрелку манометра (рис. 9.13).

Технические пружинные манометры выпускают диаметром 100 мм (класс точности 1,5; 2,5) и 160 мм (класс точности 1,5), пределы показаний, кгс/см^2: от 0 до 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 60. Манометры подбирают так, чтобы рабочее давление находилось в пределах 1/3—2/3 значения шкалы, а при резких колебаниях — в средней части шкалы. В манометрах, устанавливаемых

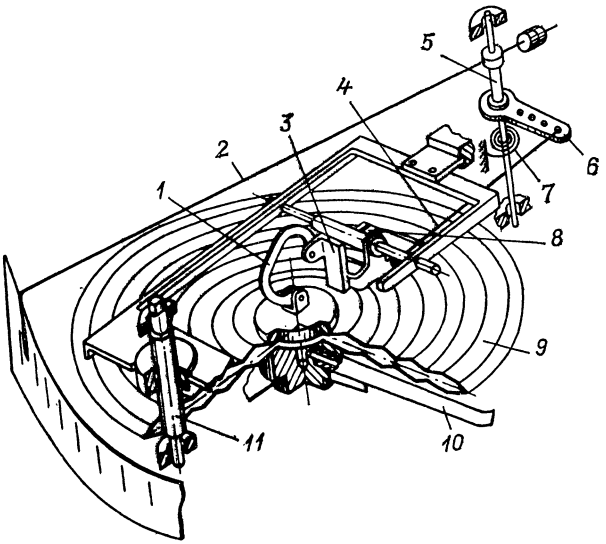


Рис. 9.14. Напоромер мембранный типа НМП-52.
1 — поводок; *2* — стрелка; *3* — рычаг; *4* — тяга; *5* — ось; *6* — рычаг с отверстиями; *7* — спиральная пружина; *8* — винт настройки; *9* — мембранная коробка; *10* — трубка импульсного давления; *11* — корректор нуля.

в котельных, максимально допустимое давление отмечается красной чертой.

Манометры типа ОБМ1 изготавливают с радиальным штуцером, ОБМ1б — с задним фланцем и радиальным штуцером, МОШ1 — с передним фланцем и осевым штуцером для щитовой установки. Если манометр расположен ниже точки его присоединения к барабану котла или паропроводу, то присоединительная трубка будет заполнена конденсатом и прибор будет показывать суммарное давление пара и столба воды.

Перед манометром устанавливают трехходовой кран, который позволяет проверить: положение стрелки на нуле при сообщении манометра с атмосферой; правильность показаний контрольным прибором; продуть сифонную трубку, применяемую при измерении давления пара и горячей воды. В трубке образуется гидравлический затвор, предохраняющий внутренний механизм манометра от воздействия высокой температуры и колебаний давления пара. Установка трехходового крана перед манометром на газопроводах не рекомендуется, так как

он может служить местом утечки газа через контрольный фланец.

В вакуумметрах (типа ОБВ, ВОШ) нулевая отметка шкалы находится справа, так как при измерении разрежения стрелка прибора движется против часовой стрелки. В мановакуумметрах (типа ОБМВ, МВОШ) нулевая отметка находится в средней части шкалы.

Мембранные манометры. В мембранных манометрах чувствительным элементом является мембрана-пластина или мембранная коробка. Давление, передаваемое в прибор, действует на мембрану, которая прогибается и с помощью толкателя приводит в действие передаточный механизм, что вызывает соответствующее перемещение стрелки прибора. Примером мембранного напоромера показывающего является НМП-52 (рис. 9.14). Мембранная коробка состоит из двух спаянных гофрированных дисков. Наличие избыточного давления внутри коробки вызывает перемещение центра верхней мембраны, которое через передаточное устройство вызывает перемещение стрелки.

Приборы этого типа имеют пределы измерений, кгс/м^2: 16, 25, 40, 60, 100, 160, 250, 400, 600 и 4000. Соединительную трубку испытывают на герметичность давлением не менее 0,6 кгс/см^2. Если в контролируемой среде наблюдается пульсация давления, то на присоединительной трубке, как и перед манометрами других типов в таких случаях, устанавливают дроссель или демпфирующую вставку. Перегрузки не должны превышать 25% от верхнего предела измерений. Принцип работы мембранных тягомеров типа ТММП-52 и тягонапоромеров типа ТНМП-52 такой же, как у напоромера НМП-52.

Схема манометра с многовитковой трубчатой пружиной очень близка к показанной на рис. 9.9. Импульс измеряемого давления поступает на пружину по капиллярной трубке. При повышении давления свободный конец пружины начинает раскручиваться, вращая при этом ось. Вращение оси через систему рычагов передается стрелке с пером самопишущего устройства. Диаграммный бланк вращается часовым механизмом или синхронным электродвигателем.

Самопишущие дифманометры. По конструктивному признаку самопишущие дифманометры бывают поплавковые типа ДП, сильфонные ДС, кольцевые ДК, мембранные ДМ, колокольные ДКО. Приборы этих типов

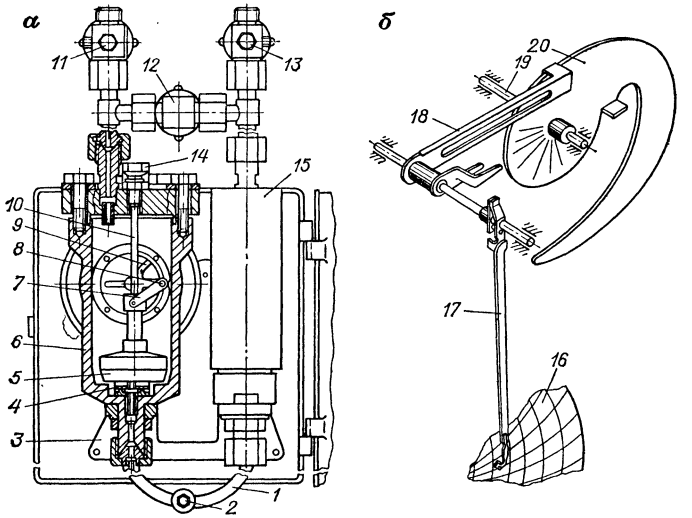


Рис. 9.15. Дифманометр ДП.

а — дифманометрическая часть; *б* — механизм расходомера. *1* — соединительная трубка; *2* — пробка сливного отверстия; *3* — кронштейн; *4* — предохранительный клапан; *5* — поплавок; *6* — поплавковый сосуд; *7* — рычаг; *8* — ось; *9* — сектор; *10* — арретирующий стержень; *11* и *13* — запорные вентили; *12* — уравнительный вентиль; *14* — пробка для залива прибора; *15* — сменный сосуд; *16* — диаграмма; *17* — перо; *18* — щуп; *19* — выходная ось; *20* — лекало.

могут быть показывающими и суммирующими. Поплавковый дифманометр (рис. 9.15) состоит из двух соединенных между собой стальных цилиндрических сосудов, заполненных до определенного уровня ртутью или маслом (ДПМ). В сосуде большего постоянного диаметра, называемом плюсовым или поплавковым, находится стальной поплавок, второй сосуд минусовой или сменный.

В комплект прибора входят семь сосудов, меняя которые можно измерять перепады давления в различных пределах. При наличии перепада давления уровень ртути в сосудах меняется, причем во всех случаях максимальное перемещение поплавка одинаковое. Движение поплавка передается рычагом *7* на ось *8* и далее с помощью передаточных устройств на перо.

Мембранный дифманометр (рис. 9.16) состоит из двух блоков: мембранного и дифференциально-трансформаторного преобразователя. Мембранный блок включает в себя две мембранные коробки (полости которых заполнены жидкостью), расположенные в герметичных камерах плю-

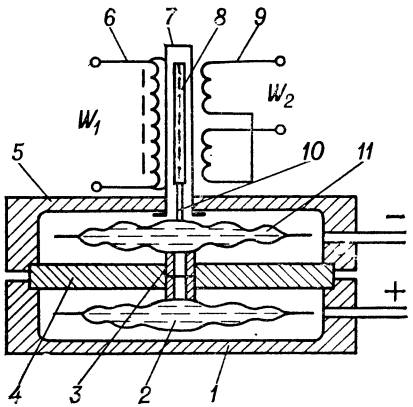


Рис 9.16. Схема мембранного дифманометра.

1 — фланец плюсовой коробки; *2* — плюсовая мембранная коробка; *3* — мембранный герметичный блок; *4* — разделительная перегородка; *5* — фланец минусовой коробки; *6* — первичная обмотка; *7* — разделительный стакан; *8* — плунжер; *9* — вторичная обмотка; *10* — шток; *11* — минусовая мембранная коробка.

сового и минусового давления. С центром минусовой мембранной коробки жестко связан шток, на котором насажен плунжер, перемещающийся в немагнитном разделительном стакане. Катушки трансформаторного преобразователя закрыты колпаком.

При наличии перепада давления в камерах жидкость из плюсовой мембранной коробки перетекает в минусовую коробку, вызывая прогиб ее вверх и перемещение плунжера. При этом меняется напряжение в обмотках W_1 и W_2 и меняется выходное напряжение пропорционально смещению плунжера.

Сильфонный дифманометр (рис. 9.17) состоит из двух сильфонов, связанных между собой штоком и размещенных в отдельных полостях. Внутренние полости сильфо-

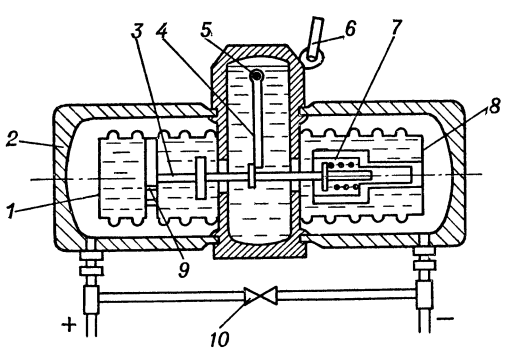


Рис. 9.17. Дифманометр сильфонный типа ДСС.

1 — сильфон плюсовой камеры; *2* — сильфонный блок; *3* — шток; *4* — рычаг; *5* — торсионная трубка; *6* — поводок; *7* — пружина; *8* — сильфон минусовой камеры; *9* — дроссель; *10* — перепускной вентиль.

нов заполнены жидкостью, содержащей 67% дистиллированной воды и 33% технически чистого глицерина. Сильфон представляет собой цилиндр с гофрированными стенками, изготовляемый из латуни, бериллиевой бронзы и специального сплава.

В левую полость сильфонного блока поступает плюсовое давление, в правую — минусовое. При увеличении перепада давления левый сильфон сжимается и жидкость из него перетекает в правый сильфон, который разжимается, оказывая воздействие на пружину. Эти пружины сменные, что позволяет производить измерения в нескольких диапазонах перепада давления. При сжатии левого сильфона шток перемещается вправо и с помощью рычага закручивает торсионную трубку. Поворот оси торсионного вывода через поводок и систему рычагов передается на самопишущее устройство.

При температуре ниже —17 °С необходим обогрев прибора во избежание замерзания сильфонной жидкости и деформации сильфонов.

Установка приборов измерения давления. Места отбора импульса давления должны находиться на прямолинейных участках трубопровода или газохода, не имеющих местных сопротивлений и не подверженных вибрации. Температура приборов и окружающего воздуха для обеспечения погрешности в пределах паспортных данных должна быть 20—23 °С. Относительная влажность воздуха — не более 80%.

Для отбора импульса статического давления в стенке трубы (металлического канала) просверливают отверстие диаметром 3—6 мм. Над этим отверстием к трубе приваривают штуцер для присоединения импульсной линии. Для удобства пользования пневмометрическими трубками применяют специальную разъемную муфту. При пользовании жидкостными приборами необходимо соблюдать следующие требования: трубки должны быть заполнены чистой жидкостью, предназначенной для данного прибора; отсчет показаний следует вести по выпуклой (при заполнении ртутью) или вогнутой части мениска (при заполнении водой, спиртом); трубки прибора и резиновые шланги должны быть очищены от грязи и пыли; в резиновых шлангах не должно быть резких перегибов и сужений проходного сечения и должна быть обеспечена полная герметичность шлангов и мест их присоединения к манометру.

Импульсные металлические линии должны выполняться из стальных трубок при температуре контролируемой среды более 400 °С и из медных или латунных трубок (с внутренним диаметром 8—15 мм) при температуре менее 400 °С. Расстояние от точки отбора импульса до прибора должно быть не более 50 м, а для мембранных приборов не более 30 м.

9.5. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА И КОЛИЧЕСТВА ВЕЩЕСТВА

Количество вещества, проходящее через сечение трубопровода (канала) в данный момент, называют расходом и измеряют расходомером. Для измерения количества вещества, проходящего через сечение за длительное время, применяют суммирующие приборы — счетчики или расходомеры со счетчиками.

Ротационные счетчики. Ротационные объемные газовые счетчики типа РГ выпускают шести типоразмеров с номинальным расходом 40, 100, 250, 400, 600 и 1000 м³/ч. Счетчик работает по принципу ротационного насоса, состоящего из двух роторов восьмеричной формы, расположенных в чугунном корпусе и приводимых в движение потоком газа (рис. 9.18). Вал одного из роторов соединен через редуктор со счетным механизмом, фиксирующим объем проходящего газа в соответствии с частотой вращения роторов.

Счетчики могут работать с минимальным расходом не менее 10% и максимальным (не более 6 ч в сутки) не более 120% от номинального; температура газа и воздуха в помещении 0—50 °С; давление газа не более 1 кгс/см². Порог чувствительности счетчиков и допустимые погрешности приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Порог чувствительности и погрешности ротационных счетчиков РГ

Показатель	40	100	250	400	600	1000
Порог чувствительности, м³/ч	0,6	1,5	3,75	6,0	9,0	15,0
Погрешность, %, при расходе от номинального:						
от 10 до 20%	3	2	2	2	2	2
от 20 до 100%	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

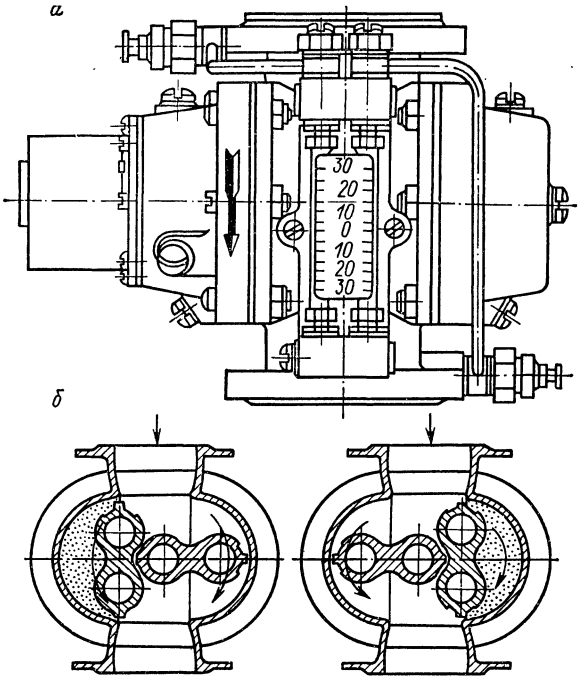


Рис. 9.18. Схема ротационного газового счетчика.
а — общий вид; *б* — схема движения роторов.

Каждый счетчик снабжен дифференциальным манометром для проверки перепада давления, зависящего от количества проходящего газа и его плотности. Перепад давления в счетчиках всех типоразмеров при номинальном расходе газа не должен превышать 30 кгс/м^2. Повышение перепада давления в дифференциальном манометре, а также стук вращающихся роторов говорит о необходимости промывки и ревизии механизмов счетчика. Резкое снижение перепада указывает на увеличение зазора между роторами и корпусом.

Счетчик устанавливают строго по уровню, не допуская перекосов и вибраций. Счетчики пропускной способностью 250 м^3/ч и более имеют в нижней части корпуса основание для установки на фундамент.

Расходомеры турбинные. Газовые автоматические счетчики ТУРГАС предназначены для автоматического непрерывного измерения объемного расхода и количества газа

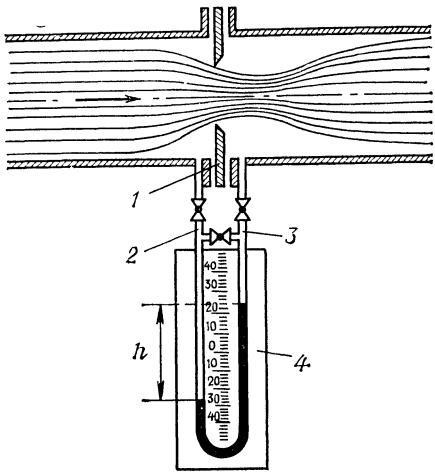


Рис. 9.19. Схема измерения расходов газа по перепаду давления.
1 — диафрагма; *2* — трубка плюсового давления; *3* — трубка минусового давления; *4* — доска со шкалой.

(воздуха). Комплект расходомера-счетчика состоит из турбинного преобразователя (датчика) объемного расхода ПРГ и электронного блока измерения БИР. Разработан ряд приборов, включающих пять типоразмеров по пределам измерения и три модификации по функциональному исполнению блока БИР: БИР-1 — измеритель расхода, БИР-2 — измеритель суммарного количества, БИР-3 — измеритель расхода и количества.

Пределы измерения расходомеров-счетчиков, $м^3/ч$: 100, 200, 400, 800 и 1600; основная погрешность по расходу и количеству, % (в зависимости от диапазона измерений): ± 1, $\pm 1{,}5$; рабочее давление 6 $кгс/см^2$; температура измеряемой среды 0—60 °С.

Дроссельные расходомеры. Принцип действия дроссельных расходомеров основан на том, что при проходе газа (жидкости, пара) через местное сужающее (дросселирующее) устройство скорость потока увеличивается, а давление падает. Перепад давления в сужающем устройстве тем больше, чем больше расход измеряемой среды (рис. 9.19). В качестве сужающего устройства чаще всего применяют камерные и бескамерные диафрагмы, а для измерения разности давлений перед диафрагмой и за ней — показывающие или самопишущие дифманометры, присоединенные к диафрагме импульсными линиями.

Диафрагма представляет собой диск из нержавеющей стали толщиной 2,5; 3,6; 8 мм с центральным отверстием, имеющим острую кромку, расположенную со стороны входа измеряемой среды. На кромке не должно быть зазубрин, вмятин и заусенцев; ось диафрагмы должна строго совпадать с осью трубопровода.

Важной характеристикой диафрагмы является ее модуль m, представляющий собой квадрат отношения площади отверстия диафрагмы с диаметром d_0 к площади сечения трубопровода $D_{тр}$: $m = (d_0/D_{тр})^2$. Применяют диафрагмы на трубопроводах диаметром не менее 50 мм при условии, что m не меньше 0,05 и не больше 0,7.

В качестве приборов для измерения перепада давления применяют переносные дифманометры типа ДТ-5 и ДТ-50, а также дифманометры типа ДП, ДМ, ДСП и ДСС.

Методика расчета диафрагм, а также требования, предъявляемые при их установке на трубопроводах и присоединении к измерительным приборам, изложены в «Измерении расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами» (РД 50-213—80), «Методическом материале по применению РД 50-213—80» и «Изменении № 1» (М., Изд-во стандартов, 1985).

Импульсные линии, соединяющие диафрагмы с дифманометром, должны быть герметичными, иметь минимальную длину и прокладываться вертикально или с уклоном не менее 1 : 10. Дифманометр должен находиться на уровне глаз наблюдателя в хорошо освещенном и защищенном от теплоизлучающих поверхностей и сквозняков месте. Уравнительные вентили дифманометров расхода газа должны быть закрыты и опломбированы газосбытовой организацией.

При измерении перепада давления в дроссельных органах паропроводов в трубках дифманометра, заполненных ртутью, будет находиться конденсат. Уровень этой разделительной жидкости должен быть одинаковым в обеих трубках. В этом случае действительное значение перепада составит (мм рт. ст.)

$$\Delta p_{д.\,м} = h(13{,}6 - \rho_р)/13{,}6,$$

где h — разность высот ртути в трубках дифманометра, мм; $\rho_р$ — плотность разделительной жидкости, кг/см^3.

Средний за время наблюдений перепад давления по показаниям дифманометра определяют по формуле

$$\sqrt{p_{ср}} = (\sqrt{p_1} + \sqrt{p_2} + \cdots + \sqrt{p_n})/n,$$

где n — число отсчетов; p_1, p_2, ..., p_n — значения отдельных отсчетов, мм рт. ст.

Объем газа (пара, воды), прошедшего за определенный период времени через дроссельную диафрагму, определяют путем обработки (с помощью планиметра) записи

на диаграмме мгновенных значений расхода. Так как расчет диафрагм выполняют для определенных значений температуры, абсолютного давления и плотности газа, то при отклонении указанных параметров от расчетных к показателям, полученным по диаграмме, вводятся поправки

$$V = V_{\text{пр}} K_T K_{\text{р}} K_{\rho} = V_{\text{пр}} \sqrt{T_{\text{р}}/T_{\text{д}}} \sqrt{p_{\text{д}}/p_{\text{р}}} \sqrt{\rho_{\text{р}}/\rho_{\text{д}}},$$

где $V_{\text{пр}}$ — объем газа по диаграмме, м^3; индексом «р» обозначены параметры вещества в расчетных условиях, индексом «д» — в действительных условиях.

В котельной должны быть паспорта сужающего устройства, дифманометра и расходомера, составленные организацией, эксплуатирующей узел учета. Паспорт сужающего устройства должен содержать: параметры газа, принятые при расчете, данные расчета, сведения, удостоверяющие, что качество изготовления устройства соответствует действующим требованиям. В паспорте расходомера должны быть указаны: наибольший, средний и наименьший расходы газа; действительные параметры газа; схема участка газопровода на длине 100 диаметров перед устройством и 10 диаметров за ним; тип и размеры соединительных сосудов (если они имеются) и другие сведения.

Глава 10
АВТОМАТИЗАЦИЯ КОТЕЛЬНЫХ

10.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Термины и определения. Назначение и работа систем безопасности и регулирования характеризуются следующими основными терминами и определениями.

Автоматика — отрасль науки и техники, исследующая и применяющая: теорию автоматического управления, принципы построения автоматических систем и технические средства, образующие эти системы.

Технологический объект управления (ТОУ) — совокупность технологического оборудования и реализуемого на нем технологического процесса.

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) — совокупность управляемого объекта (нескольких объектов) и автоматического управляющего устройства (нескольких устройств), взаимодействующих между собой. Предназначена для выработки и реализации управляющего воздействия на технологический объект управления в соответствии с принятым критерием управления.

Критерий управления АСУ ТП — характеристика в числовых значениях качества работы технологического объекта управления.

Автоматическая система регулирования (АСР) — автоматическая система управления с замкнутой цепью воздействия, в которой управляющие воздействия вырабатываются в результате сравнения истинного значения управляемой величины с предписанным значением (сигналом задатчика).

Задатчик — элемент системы, позволяющий менять задание автоматическому регулятору. Задание — определенное значение регулируемой величины, которое должен автоматически поддерживать регулятор.

Регулируемый параметр — параметр, определяющий одно из основных свойств технологического объекта регулирования и подлежащий измерению в процессе управления.

Контроль предельных положений — контроль только граничных значений параметра.

Контроль непрерывный — контроль, при котором происходит непрерывное или через определенные промежутки времени контролирование или измерение процессов или режимов работы.

Программная автоматическая система управления — система, которая содержит предписание изменять управляемую величину в соответствии с заранее заданной последовательностью изменения во времени.

Обратная связь — дополнительная связь структурной схемы автоматической системы управления, направленная от выхода ко входу рассматриваемого участка цепи воздействий. Предназначена для придания системе требуемых динамических свойств.

Возмущающее воздействие (возмущение) — всякое воздействие, которое нарушает требуемую функциональную связь между управляющим воздействием и регулируемой

величиной (например, изменение расхода пара, изменение температуры теплоносителя).

Регулирующее воздействие — воздействие на объект регулирования с целью восстановления заданного значения регулируемого параметра.

Первичный преобразователь — измерительный элемент (датчик), предназначенный для выработки сигнала, характеризующего значение измеряемого параметра, удобного для передачи управляющему элементу.

Управляющий элемент — элемент системы, преобразующий и усиливающий малую мощность на выходе измерительного элемента регулируемой величины и управляющего исполнительным элементом.

Исполнительный элемент — элемент системы, вырабатывающий входной сигнал воздействия на исполнительный механизм.

Исполнительный механизм — механизм, предназначенный для управления исполнительным органом в соответствии с командным сигналом. В системах автоматического регулирования предназначен для перемещения затвора регулирующего органа.

Регулирующий орган — исполнительный орган, воздействующий на технологический процесс путем изменения пропускной способности.

Логическое устройство — элемент системы, осуществляющий заданные логические зависимости между входным и выходным сигналами — функции «Да», «Нет», «И», «Или», «Запрет».

Точность управления — обратная величина погрешности системы в переходном и установившемся режимах, определяемой отклонением выходного значения от заданного.

Устойчивость системы — свойство системы возвращаться к состоянию установившегося равновесия после устранения возмущения, нарушившего равновесие.

Надежность системы — вероятность выполнения системой запроектированных функций, на которые система рассчитана в течение определенного времени.

Свето-звуковая индикация — сигнализация о нарушении технологического режима или безопасной эксплуатации оборудования.

Система сигнализации — автоматическая система передачи на расстояние условных (сигнальных) знаков об изменении состояния контролируемого объекта.

Автоматическая блокировка — вид автоматизации, осуществляющей определенную внешнюю связь между элементами объекта, приводящую к изменению состояния всех связанных элементов при изменении состояния одного из них.

Авария — внезапное разрушение объекта или его части.

Предаварийная ситуация — изменение технологических параметров объекта, способное привести к аварии.

Виды автоматизации. Автоматические системы управления, применяемые в котельных, предназначены для повышения надежности и экономичности сжигания газа, уменьшения численности обслуживающего персонала и облегчения условий его труда. В зависимости от уровня насыщения объекта средствами автоматизации различают частичную, комплексную и полную автоматизацию.

При частичной автоматизации ряд функций управления отдельными агрегатами или даже их частями передается комплексу технических средств, а основные функции управления (регулирование контролируемых параметров, оптимизация технологического процесса) выполняет человек. При комплексной автоматизации обеспечивается контроль, технологическая защита, управление и автоматическое регулирование объекта. Человек выполняет функции оптимизации технологического процесса, текущее обслуживание и ремонт комплекса технических средств.

Полная автоматизация возможна только с применением управляющих вычислительных машин (УВМ) и обеспечивает не только контроль и защиту объекта, но и оптимизацию технологического процесса. Участие человека в работе таких систем сводится к наблюдению за работой оборудования и устранению возможных неполадок.

Основными технологическими средствами систем автоматики являются элементы: измерения, сравнения, усилительно-преобразовательные, исполнительные, корректирующие (включаемые в схему для повышения устойчивости и улучшения динамических свойств). В качестве примера на рис. 10.1 приведены элементы исполнения.

Подсистемы автоматизации выполняют следующие функции: измерений и контроля, управления, технологической защиты, блокировки, сигнализации, регулирования.

Автоматический контроль предназначен для непрерывного или периодического (дискретного) получения

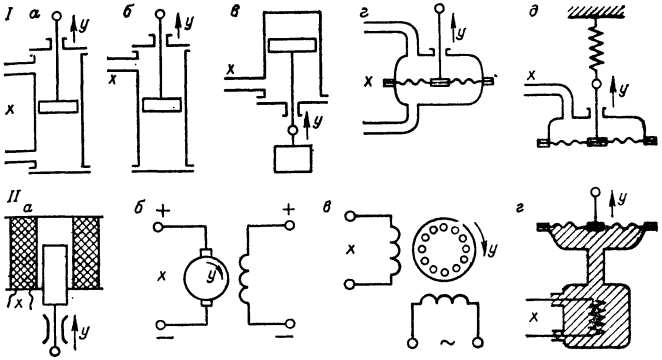


Рис. 10.1. Исполнительные элементы.

I — пневмогидравлические (*а—в* — поршневые двигатели, *г* и *д* — мембранные механизмы); *II* — электрические (*а* — электромагнит, *б* — двигатель постоянного тока, *в* — двигатель переменного тока, *г* — тепловой двигатель; *x* — вход, *y* — выход).

информации с помощью показывающих, сигнализирующих или регистрирующих приборов и передачи обслуживающему персоналу информации о количественных и качественных показателях технологического процесса (температуры и давления воды, давления газа и воздуха перед горелками и т. д.). Перечень контролируемых параметров работы котлов, вспомогательного оборудования и общекотельных определяется проектом, в соответствии с действующими требованиями.

Автоматическое управление предназначено для пуска и остановки котлов, насосов, вентиляторов, дымососов и т. д. Эти системы предусматривают, например, включение подпиточного насоса при убыли воды из системы, включение аварийного насоса в случае остановки работающего. Приведение в действие устройства может осуществляться по посылаемому датчиком сигналу, контролирующему данный параметр или агрегат, а может осуществляться персоналом с пульта или непосредственно у агрегата (частично автоматизированные системы). При дистанционном управлении электродвигателями со щита непосредственно у агрегата предусматривают выключатели аварийной остановки.

Функциональная схема автоматического управления приведена на рис. 10.2. Она состоит из двух частей: объекта регулирования *О*, режимы которого нарушаются возмущениями *М*, и управляющего устройства, включа-

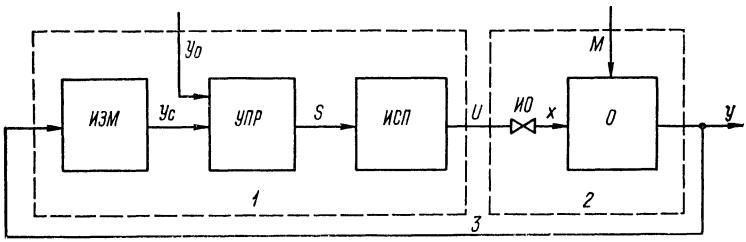


Рис. 10.2. Функциональная схема системы автоматического управления.
1 — управляющее устройство; *2* — объект управления; *3* — обратная связь.

ющего в себя: первичный преобразователь (датчик) *ИЗМ*, управляющий элемент *УПР* и исполнительный *ИСП*.

Первичный преобразователь вырабатывает сигнал, характеризующий значение контролируемого параметра y. Для этого значения параметра (давления, температуры и др.) преобразуются в электрический сигнал с соответствующими значениями силы тока и напряжения.

Управляющий элемент сравнивает действительное значение контролируемого параметра y_c с сигналом заданного значения параметра y_0 и вырабатывает сигнал управления S. Если мощность этого сигнала недостаточна для воздействия на исполнительный элемент, в цепь сигнала вводится усилительный элемент.

Исполнительный элемент вырабатывает управляющее воздействие U на исполнительный орган *ИО*, который вырабатывает входное воздействие x на объект регулирования.

Технологическая защита (автоматика безопасности) котлов предназначена для снижения производительности или прекращения горения при возникновении предаварийных ситуаций. Защита должна обладать: высокой чувствительностью к контролируемым параметрам, надежностью и быстродействием, стабильностью характеристик во времени, минимальной чувствительностью к воздействию окружающей среды; защита должна быть снабжена устройствами, фиксирующими первопричину срабатывания.

Действие технологической защиты на снижение производительности котла предусматривается при отключении одного из дутьевых вентиляторов или дымососов (если на котле их два и более), отключении воздухоподогревателя, открытии предохранительных клапанов для снижения давления в котле и т. п.

Прекращение подачи газа к горелкам предусматривается в следующих случаях: невоспламенение или погасание факела при включении одной из растопочных горелок; погасание факела горелок, отключение которых при работе котла недопустимо; отклонение давления газа перед горелками ниже заданного предела; повышение температуры и давления воды или понижение давления на выходе из водогрейного котла; понижение расхода воды ниже допустимого; повышение давления пара в барабане парового котла, повышение или понижение уровня воды в барабане; неисправность цепей защиты, включая исчезновение напряжения; отклонение разрежения от заданных пределов; понижение давления воздуха перед горелками с принудительной подачей воздуха.

Система технологической защиты состоит из первичного преобразователя (датчика), логического устройства, исполнительного органа. При достижении контролируемым параметром предаварийных значений поступает сигнал в логическое устройство. Сигнал в устройстве расшифровывается, и затем вырабатывается команда исполнительному органу и производится свето-звуковая индикация.

Системы сигнализации предназначены для оповещения обслуживающего персонала об изменении состояния объекта регулирования. В зависимости от поставленной задачи сигнализация может быть командной, технологической, предупредительной, аварийной и др.

В котельных без постоянного обслуживающего персонала предусматривают передачу сигнала на диспетчерский пункт о неисправности в котельной. На щите в котельной фиксируется причина неисправности. В котельных с постоянным обслуживающим персоналом проектом с учетом местных условий предусматривают светозвуковую сигнализацию в случаях: остановки котла (при срабатывании защиты); повышения и понижения давления газа; понижения давления воды в каждом питательном трубопроводе (при постоянно работающих питательных насосах); повышения и понижения давления воды в обратном трубопроводе тепловой сети; повышения и понижения уровня воды в баках (деаэраторных, конденсатных, питательной воды и др.); понижения давления (разрежения) в деаэраторе; понижения pH в обрабатываемой воде (в схемах водоподготовки с подкислением); повышения температуры подшипников электродвигате-

лей и вспомогательного оборудования (при наличии соответствующего требования заводов-изготовителей).

Автоматическая блокировка бывает: аварийная, замещения, запретно-разрешающая, технологическая. Аварийная блокировка отключает элементы объекта, расположенные впереди (по ходу процесса) при аварии в каком-либо звене. Блокировка замещения включает резервные механизмы взамен вышедших из строя. Запретно-разрешающая блокировка предназначена для запрета изменений режимов и условий работы котлов (вспомогательного оборудования), опасных для человека и котлов (оборудования).

Технологическая блокировка исключает: включение дутьевого вентилятора при неработающем дымососе; розжиг горелок без вентиляции топки; включение в работу основных горелок, пока не включены растопочные или до появления факела запальника; подачу газа к горелке в случае полного закрытия воздушной заслонки перед горелкой или отключения дутьевого вентилятора, работающего на горелку. При мощности электродвигателя насоса, превышающей 40 кВт, предусматривают блокировку, запрещающую пуск насоса при открытой задвижке на напорном патрубке.

Автоматическое регулирование предназначено для поддержания с определенной точностью заданных режимов технологического процесса. При этом подлежат регулированию: уровень воды в барабане котла; давление и уровень воды в баке деаэратора; расход топлива на котел в соответствии с необходимой теплопроизводительностью; соотношение «газ—воздух»; разрежение в топке; температура воды деаэрированной и поступающей в деаэратор; уровень воды в баке деаэратора; давление пара за редукционной установкой; уровень воды в баках конденсата и осветленной воды; температура прямой воды, температура исходной воды (при установке осветлителей).

10.2. АВТОМАТИКА ГАЗИФИЦИРОВАННЫХ КОТЛОВ АГК-2У И АГК-2П

Общие сведения. Системы автоматики газифицированных водогрейных (АГК-2У) и паровых (АГК-2П) котлов разработаны на основе ранее применявшейся автоматики АГК-2. По устройству и принципу работы эти системы во многом аналогичны и имеют много общих узлов.

По виду используемой энергии для работы основных узлов — автоматика пневматическая. Рабочей средой для питания импульсной системы является газ, отбираемый перед регулятором расхода газа (импульсный газ).

Автоматика обеспечивает: пропорциональное регулирование температуры воды в системе отопления в зависимости от изменения температуры наружного воздуха; автоматическое регулирование процесса горения; позиционное регулирование уровня воды в барабане парового котла; стабилизацию давления пара в паросборнике; автоматическую защиту котла; сигнализацию на диспетчерский пункт о нарушении нормального режима работы котла. Автоматика устойчиво работает при изменении температуры воздуха в котельной в пределах 5—35 °С.

Подача газа к котлу прекращается в случаях: падения разрежения в топке ниже 1,2 кгс/м^2; снижения давления газа перед горелкой ниже 20 кгс/м^2; погасания пламени запальника; перегрева воды в водогрейных котлах выше 95 °С; повышения давления пара в паросборнике выше 0,7 кгс/см^2 и недопустимого снижения уровня воды в барабане парового котла; неисправности узлов автоматики.

Система АГК-2У. Приборы, входящие в состав системы, и взаимная их связь показаны на рис. 10.3. Стабилизацию давления газа перед горелками осуществляет регулятор давления прямого действия. Прибор обеспечивает поддержание давления после себя в пределах 80—100 кгс/м^2 при входном давлении 85—250 кгс/м^2. Стабилизатор давления выпускают в двух модификациях: на пропускную способность 50 и 250 м^3/ч.

Система автоматики включает в себя: регулятор расхода газа (главный клапан), регулятор соотношения температур, регулятор воздуха (пропорционирующий клапан), электромагнитный клапан, запальное устройство, стабилизатор тяги, реле контроля тяги, реле для сигнализации об отключении подачи газа к котлу (сигнальное), кран рода работ для переключения автоматики на разные режимы работы.

Регулятор расхода газа совместно с регулятором соотношения температур и датчиками температуры наружного воздуха и горячей воды обеспечивает автоматическое регулирование температуры горячей воды, поступающей в систему отопления. При повышении температуры наружного воздуха керосин в термобаллоне датчика наружного воздуха расширяется, что сопровождается растяже-

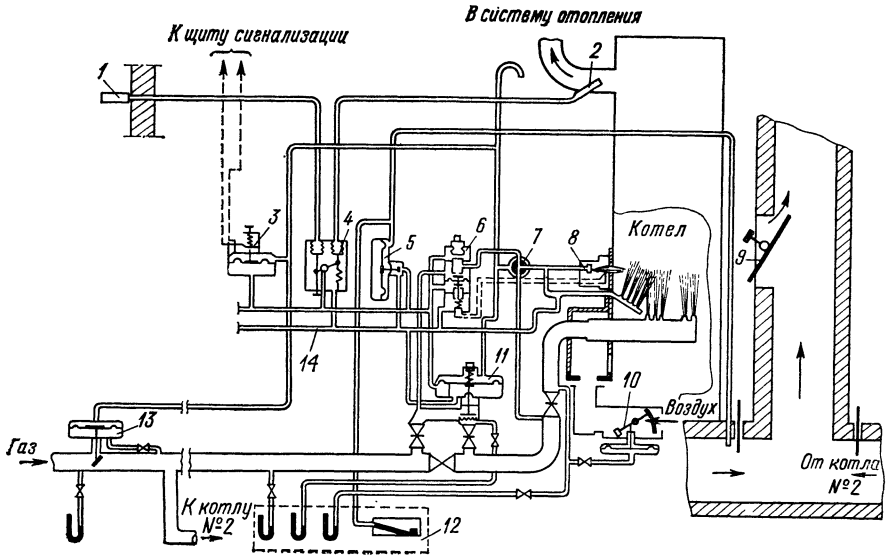


Рис. 10.3. Схема автоматики АГК-2У.

1 — датчик температуры наружного воздуха; *2* — датчик температуры горячей воды; *3* — сигнальное реле; *4* — регулятор соотношения температур; *5* — реле тяги; *6* — электромагнитный клапан; *7* — кран рода работ; *8* — запальник; *9* — стабилизатор тяги; *10* — регулятор воздуха; *11* — регулятор расхода газа; *12* — пульт приборов: *13* — стабилизатор давления газа; *14* — линия сброса.

нием рабочего сильфона и открытием клапана. Увеличивается сброс газа из командной полости регулятора расхода газа и уменьшается поступление газа к горелке. Регулирование температуры воды осуществляется в пределах 45—95 °С при изменении температуры наружного воздуха от +10 до —20 °С.

Система работает следующим образом. Газ поступает в регулятор и в среднюю полость электромагнитного клапана (ЭМК). При нажатии на кнопку ЭМК открывается средний клапан, верхний и нижний закрываются и газ поступает к крану рода работ, установленному в положение «Пуск» и к запальному устройству и запальной горелке. Одновременно с нажатием на кнопку ЭМК зажигают газ, выходящий из запальника. В нагретой от пламени запального устройства термопаре возникает термоЭДС, и обмотка сердечника ЭМК оказывается под напряжением. Пламя запального устройства зажигает газ, выходящий из отверстий запальной горелки.

Через 1—1,5 мин после зажигания запальника кнопку электромагнитного клапана отпускают. При этом нижний клапан ЭМК остается закрытым, а средний и верхний открытыми. При нажатии на пусковую кнопку регулятора расхода газ поступит к основным горелкам.

Давление газа у основных горелок передается в подмембранную полость регулятора воздуха, заслонка которого регулирует расход воздуха пропорционально давлению газа перед горелкой. При отклонении одного из контролируемых параметров открывается клапан соответствующего датчика, командный газ поступает в линию сброса, давление в подмембранной полости регулятора расхода газа падает, мембрана вместе с клапаном опускается и прикрывает проход газа к горелкам.

Регулятор расхода воздуха (пропорционизатор) служит для обеспечения соотношения «газ—воздух». Присоединяют пропорционизатор к поддувальному пространству. Импульсный газ от газопровода проходит в герметизированную полость под мембрану, положение которой зависит от давления газа перед горелками: чем больше давление газа, а следовательно, и его расход, тем больше приподнята мембрана.

Имеются пропорционизаторы двух типов: с заслонкой и с диском (большой и малой модели). В первых мембрана штоком связана с заслонкой, которая при перемещении мембраны изменяет степень открытия профилированных

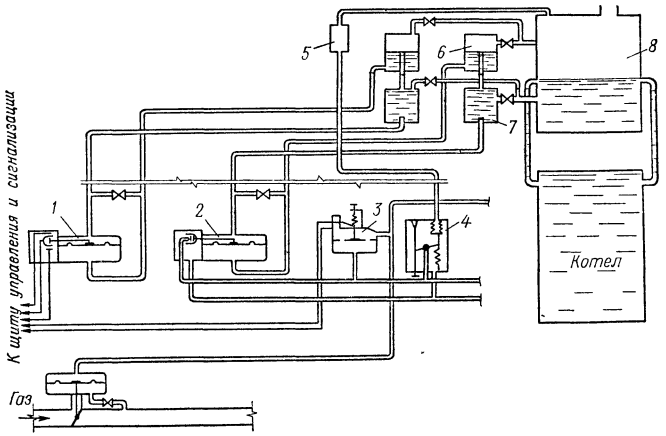


Рис. 10.4. Схема дополнительных элементов автоматики АГК-2П.
1 — регулятор уровня; *2* — реле уровня; *3* — сигнальное реле; *4* — стабилизатор давления пара; *5* — бачок конденсатный; *6* — бачок постоянного уровня; *7* — отстойник; *8* — паросборник.

окон, через которые поступает воздух. В пропорционизаторе другого типа мембрана связана штоком с диском, который, передвигаясь по вертикали, меняет площадь открытия окон.

Стабилизатор тяги устанавливают на вертикальном участке сборного газохода или в нижней части трубы. Стабилизатор состоит из прямоугольного каркаса, нижняя часть которого закрыта перегородкой, свободно поворачивающейся заслонки и прикрепленного к ней груза (противовеса). Если тяги нет, заслонка под действием противовеса принимает вертикальное положение. При наличии разрежения давление воздуха, действующее со стороны помещения на верхнюю часть заслонки, заставляет последнюю поворачиваться в сторону газохода. Воздух из котельной поступает в газоход, что вызывает уменьшение тяги за счет охлаждения отходящих газов и увеличения сопротивления их движению в трубе.

Стабилизатор тяги требует тщательной регулировки положения противовеса и частой проверки работы. Важно обеспечить плотное прилегание заслонки к каркасу, в противном случае при малых разрежениях в газоходе присосы воздуха в еще большей мере ухудшат тягу.

Система АГК-2П. Паровой вариант автоматики отличается от системы АГК-2У в основном следующим: регу-

лятор соотношения температур заменен стабилизатором давления пара, добавлены устройства автоматики подпитки (рис. 10.4).

В качестве чувствительного элемента стабилизатора давления пара использован сильфон-измеритель, соединенный через конденсатный бачок с паровым объемом котла. Изменение давления пара приводит к перемещению сильфона и к большему или меньшему открытию сопла истечения командного газа в сбросную линию. Это определяет командное давление в подмембранной полости регулятора расхода газа и изменение открытия клапана подачи газа. Стабилизатор давления обеспечивает также отключение газа в случае повышения допустимого давления пара.

Автоматика подпитки котла состоит из регулятора уровня позиционного действия, который обеспечивает включение и отключение водяного насоса при достижении водой нижнего или верхнего уровня в барабане котла, реле уровня, бачков постоянного уровня и отстойника. Регулятор и реле уровня — мембранные дифманометры, измеряющие разность уровней в бачках постоянного уровня и барабане котла. Реле уровня обеспечивает прекращение подачи газа при повышении или понижении уровня воды в котле от заданного предела настройки.

Размещение приборов автоматики. Стабилизатор давления газа установлен на горизонтальном участке газопровода, при этом расстояние от регулятора до спуска газопровода к котлу и других местных сопротивлений должно быть не менее 1 м. При расходе газа на котельную, превышающем 250 м³/ч, возможна установка двух параллельно включенных регуляторов.

Сигнальное реле, пульт приборов, реле тяги, электромагнитный клапан, регулятор соотношения температур (стабилизатор давления пара в паровом котле) закреплены к регулятору расхода газа и установлены перед фронтом котла. Правильность установки регулятора расхода и регулятора давления газа проверяют по уровню. Пульт приборов устанавливают по уровню тягомера. Запальное устройство крепят к фронтовому листу котла таким образом, чтобы обеспечивалось зажигание первых огневых отверстий основных горелок.

Включение и выключение автоматики. До включения автоматики следует проверить в соответствии с производственной инструкцией готовность котла и провентили-

ровать топку. После этого открывают запорные устройства на входе и выходе воды из котла, включают циркуляционный насос, проверяют разрежение в топке и производят продувку газопровода. Далее кран рода работ переводят в положение «Автомат. пуск», открывают кран перед регулятором расхода газа, с помощью манометра измеряют давление газа перед регулятором. Затем вносят горящий факел в запальное окно, нажимают на кнопку электромагнитного клапана и разжигают запальное устройство.

После розжига запальной горелки необходимо кнопку электромагнитного клапана отпустить и, нажав на пусковую кнопку регулятора расхода газа, проследить по манометру за заполнением газом импульсной системы. Для воспламенения газа на основной горелке следует медленно открыть кран перед ней, переключить кран рода работ в положение «Работа». Для паровых котлов при достижении заданного давления пара открыть задвижку отбора пара и перевести тумблер на щите управления в положение «Авт.».

Для отключения котла необходимо закрыть краны горелок перед регулятором расхода газа и за ним, установить кран рода работ в положение «Выключено», перевести тумблер «ТВ» на щите управления и сигнализации в положение «Ручн.», а тумблер «ТЗ» в положение «Останов».

10.3. АВТОМАТИКА ГАЗИФИЦИРОВАННЫХ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ АГОК

Общие сведения. Автоматика АГОК предназначена для котельных с секционными котлами, оборудованными инжекционными горелками низкого давления. Система обеспечивает полуавтоматический пуск и автоматическое отключение котла, подпитку системы отопления водой, сигнализацию на диспетчерский пункт о нарушении нормального режима работы котла и фиксацию причины отключения, пропорциональное регулирование температуры горячей воды в системе отопления в зависимости от изменения температуры наружного воздуха, регулирование процесса горения.

Питается система от электрической сети напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Автоматика устойчиво работает при изменении температуры воздуха в котельной в пределах 10—35 °С и при относительной влажности воздуха до 80%.

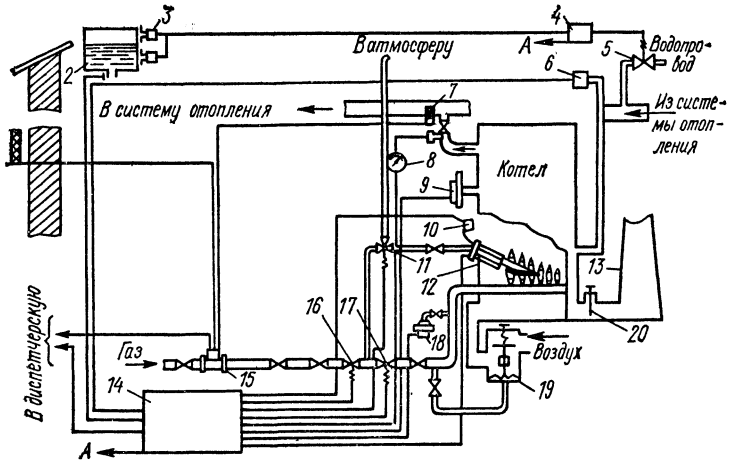


Рис. 10.5. Схема автоматики АГОК.

1 — датчик температуры наружного воздуха; *2* и *3* — реле уровня; *4* — блок подпитки; *5* — вентиль СВМ; *6* — реле контроля протекания жидкости; *7* — датчик температуры горячей воды; *8* — термометр манометрический электроконтактный; *9* — датчик тяги; *10* — устройство зажигания; *11* — электромагнитный распределитель; *12* — запально-контрольная горелка; *13* — стабилизатор тяги; *14* — щит автоматики; *15* — регулятор расхода газа; *16* — контрольный вентиль; *17* — рабочий вентиль; *18* — датчик давления; *19* — регулятор воздуха; *20* — ручной шибер.

Подача газа к котлам прекращается в случаях: отсутствия циркуляции воды в системе отопления; снижения уровня воды в расширительном баке; погасания пламени запальной горелки; перегрева воды в котле выше 95 °С; снижения разрежения в топке до 0,5—0,6 кгс/м^2; падения давления газа перед горелками ниже допустимых значений для данного типа горелок.

Устройство автоматики. Автоматика безопасности включает в себя следующие узлы (рис. 10.5): щит управления и сигнализации, в котором расположены блок общекотельной безопасности и блоки безопасности отдельных котлов; запально-контрольное устройство (ЗКУ); первичные преобразователи, контролирующие температуру воды, давление газа, разрежение в топке, наличие циркуляции воды, уровня воды в расширительном баке; запорные вентили с электромагнитным приводом; блок автоматической подпитки. Регулирование процесса горения осуществляется с помощью стабилизатора тяги и пропорционализатора воздуха, описанного выше в системе АГК.

Датчики, контролирующие циркуляцию воды в системе и уровень ее в расширительном баке, связаны с блоком общекотельной безопасности. Датчики остальных, контролируемых на каждом котле, параметров связаны с котловыми блоками. В случае нарушения одного из контролируемых параметров срабатывает схема блокировки, закрываются электромагнитные вентили соответствующего котла. Причина отключения фиксируется загоранием сигнальной лампы на щите. Если котельная связана с диспетчерским пунктом, то туда поступает аварийный сигнал остановки котла или котельной.

ЗКУ состоит из газовой инжекционной горелки с расходом газа около 0,3 м³/ч, запального электрода, контрольного электрода и вспомогательных электродов, выполненных из жаропрочной стали. Запальный электрод соединен проводами с катушкой зажигания и блоком контроля пламени (БКП), который размещен в котловом блоке щита автоматики. Катушка зажигания (КЗ) предназначена для подачи на запальный электрод высокого напряжения (15 кВ). Возникающий при этом искровой разряд между электродом и корпусом горелки обеспечивает поджигание газовоздушной смеси запальной горелки.

Так как газовое пламя обладает способностью не только проводить электрический ток, но и выпрямлять его, то при наличии пламени, омывающего контрольный электрод, замыкается электрическая цепь электрод—пламя—корпус. Это фиксируется прибором контроля пламени, после чего срабатывают клапаны с электромагнитным приводом и газ поступает к основной горелке. При погасании пламени сопротивление между контрольным электродом и вспомогательными электродами становится бесконечно большим, электрическая цепь разрывается и прибор срабатывает на отключение газа.

ЗКУ располагают в топке таким образом, чтобы было обеспечено надежное поджигание рабочей горелки факелом запальной горелки при минимально допустимом давлении газа перед горелками. Корпус запальной горелки с электродами не должен выступать за пределы огневых отверстий рабочей горелки.

В качестве сигнализатора перегрева воды использован электроконтактный термометр, датчик которого установлен на выходном патрубке котла. Если температура воды достигнет 96 °С, стрелка манометра дойдет до пре-

дельно допустимого значения и в котловой блок щита автоматики поступит аварийный сигнал.

В качестве прибора контроля давления газа использован сигнализатор падения давления. В приборе имеется мембрана, на которую действуют силы пружины и контролируемого давления газа. При падении давления газа перед горелкой ниже допустимого значения изменяется соотношение сил, действующих на мембрану, и положение ее меняется. Это приводит к нарушению контакта, что вызывает подачу аварийного сигнала.

Для контроля разрежения в топке применено устройство, состоящее из корпуса дискообразной формы, металлической мембраны, узла настройки и контактной группы. Мембрана, соединенная с корпусом эластичной манжетой, образует полость, сообщающуюся с топкой. В верхней части мембраны имеется шарнирная подвеска, позволяющая мембране совершать колебания. При разрежении в топке на наружную поверхность мембраны действует атмосферное давление и мембрана отведена от контактного устройства. При разрежении 0,5—0,6 кгс/м^2 мембрана принимает вертикальное положение и электрический контакт размыкается, что приводит к отключению газа.

В качестве датчика циркуляции воды в системе отопления используют электроконтактные манометры, которые устанавливают в непосредственной близости от циркуляционного насоса. Действие реле основано на использовании перепада давления, возникающего по обе стороны расположенного в потоке жидкости местного сопротивления, например диафрагмы. Перепад давления между точками отбора импульса должен быть в пределах 0,1—0,3 кгс/см^2. При отсутствии движения воды, а следовательно, и перепада давления срабатывает микровыключатель, расположенный в корпусе реле, и в котловой блок поступает электрический сигнал.

Подпитка системы ведется при помощи клапана типа СВМ-40, установленного на водопроводной линии. Клапан электрически связан с реле уровня поплавкового типа, установленным в расширительном баке. Сигналы от реле поступают на исполнительный орган через щит подпитки. Клапан подпитки включается и выключается при получении соответствующего сигнала от реле, в зависимости от уровня воды в расширительном баке. Если давление в водопроводе меньше давления в системе отопления, то подпитка ведется с помощью насоса.

На газопроводе каждого котла установлены два электрических односедельных устройства отсечки газа типа ВНД-80, работающих по принципу открыто—закрыто. При наличии электропитания сердечник втянут внутрь электромагнита и запорный механизм приподнят. При срабатывании одного из датчиков автоматики безопасности цепь питания электромагнитов разрывается и клапан под действием веса запорного механизма отсекает подачу газа.

Между контрольным и рабочим клапанами к газопроводу присоединен электромагнитный распределитель, в котором имеются три штуцера: для присоединения к газопроводу, для подачи газа к запально-контрольной горелке во время работы котла и для присоединения к трубопроводу безопасности в периоды, когда котел не работает. При наличии электропитания золотник клапана втянут в электромагнит и газ поступает к запально-контрольной горелке. Если напряжение с обмотки электромагнита снято, золотник под действием пружины опускается в нижнее положение, перекрывает выход газа к запально-контрольной горелке и открывает канал, соединяющий газопровод с атмосферой.

В случае поступления сигнала о нарушении любого из контролируемых параметров котла подается команда на отсечку подачи газа в рабочую горелку. При этом контрольный и рабочий клапаны закрываются, а электромагнитный распределитель открывает трубопровод безопасности. При прекращении циркуляции воды в системе отопления или аварийном снижении уровня воды в расширительном баке автоматически прекращается подача газа к горелкам всех котлов.

Регулятор расхода газа РРГА состоит из электрического измерительного устройства, электронного фазочувствительного усилителя переменного тока и исполнительного органа — реверсивного электродвигателя и регулирующей заслонки, расположенной в корпусе регулятора.

Измерительное устройство представляет собой мостовую схему, в противоположные плечи которой включены сопротивления, тепловоспринимающие элементы (датчики) температур наружного воздуха и горячей воды. В качестве таких элементов применены термопреобразователи сопротивления. Когда сопротивления противоположных плеч мостовой схемы равны, последняя нахо-

дится в равновесии. При изменении температуры наружного воздуха меняется сопротивление соответствующего плеча, что вызывает нарушение баланса мостовой схемы. Сигнал разбаланса поступает на фазочувствительный усилитель, где усиливается до величины, достаточной для управления исполнительным механизмом, в качестве которого использован реверсивный двигатель. Двигатель через редуктор изменит положение регулирующей заслонки, что приведет к изменению расхода газа.

Отработка системы регулирования продолжается до тех пор, пока не восстановится баланс моста. С помощью концевых выключателей производится искусственное опрокидывание фазы в измерительной схеме и реверс электродвигателя. Одновременно с помощью сигнальных ламп подается сигнал о необходимости отключения или включения одного из котлов.

При размещении приборов автоматики на котле должно быть исключено интенсивное воздействие на них теплового излучения и вибрации. С этой целью приборы устанавливают не менее чем на 0,25 м от фронта котла. Датчики давления, тяги и перегрева крепят с помощью жестких кронштейнов. У каждого котла устанавливают монтажную соединительную коробку, где сосредоточено присоединение проводов питания элементов автоматики электрическим током. Регулятор расхода газа располагают на горизонтальном участке газопровода. Датчик температуры наружного воздуха устанавливают на северной или восточной стороне здания на уровне второго этажа, а температуры горячей воды — на коллекторе прямой воды котельной в специальной гильзе, заполненной маслом.

Если в котельной установлен один регулятор, то эффективность его работы зависит от количества котлов: чем больше котлов, тем меньше экономия топлива. При повышении температуры наружного воздуха понижается производительность всех котлов, которая может оказаться меньше нижнего предела экономичной работы.

Включение и выключение автоматики. До включения автоматики следует проверить в соответствии с производственной инструкцией готовность котла и провентилировать топку в течение 10—15 мин. Затем проверяют, закрыты ли запорные устройства газопроводов, и открывают краны на трубопроводах безопасности и продувочном устройстве включаемого котла и на импульсных трубках.

Порядок включения автоматики:

— включить в работу циркуляционный насос и проверить, открыт ли кран на ЭКМ;

— включить электропитание на общекотельном блоке, для чего тумблер поставить в положение «Вкл.» и проверить, горит ли лампа «Питание». Включить питание на котловом блоке, для чего поставить тумблер в положение «Вкл.» и проверить, горят ли лампочки «Питание», «Тяга», «Пламя», «Давление»;

— открыть общее запорное устройство котла и закрыть кран на продувочном трубопроводе;

— ручку переключателя шунта установить на цифру, соответствующую номеру включаемого котла, и проверить, горит ли лампочка «Шунт»; при этом лампочка «Давление» гореть не должна;

— ручку тумблера «Пуск» включаемого котла нажать вниз в положение «Пуск» и проследить, погасли ли лампочки «Тяга» и «Давление»; через 4—5 с нажать ручку тумблера КЗ вниз, в положение «Вкл. КЗ»; при устойчивом пламени на ЗКУ отпустить сначала тумблер «Пуск», а затем тумблер «Выкл. КЗ»;

— медленно открыть рабочую задвижку, наблюдая при этом за давлением газа, а через смотровое окно за его воспламенением; установить давление газа в соответствии с режимной картой;

— установить разрежение в топке в соответствии с режимной картой;

— перевести тумблер пуска на блоке котла в положение «Диспетч.», а переключатель очередности пуска котлов перевести либо в положение пуска следующего котла, либо, если пущено достаточное количество котлов, в положение «Диспетч.».

После включения в работу одного котла закрыть кран на продувочном трубопроводе.

Регулятор расхода газа включается в работу после того, как температура воды в системе отопления достигнет значения, близкого к температуре, соответствующей графику регулирования (по температуре наружного воздуха). При работающем регуляторе отключающие устройства работающих котлов должны быть полностью открыты.

Для отключения автоматики необходимо: средний тумблер отключаемого котла поставить в среднее положение; медленно закрыть рабочую задвижку и убедиться,

что горелка погасла; закрыть общее запорное устройство, открыть кран на продувочном трубопроводе котла, закрыть контрольную задвижку, выключить котловой блок тумблером, открыть шиберы газоходов котла.

10.4. СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ТИПА АМКО

Общие сведения. Система предназначена для котельных с чугунными котлами производительностью до 1 Гкал/ч. Имеются модификации общекотельных приборов для котельных с водогрейными (АМКО-ОК-I) и паровыми (АМКО-ОК-II) котлами и котловые устройства и приборы для водогрейных котлов с горелками низкого (АМКО-К-I) и среднего (АМКО-К-II) давления газа и паровых котлов с горелками низкого (АМКО-К-IV) и среднего (АМКО-К-V) давления газа.

Котловые приборы и устройства системы электрически объединены блоком управления, розжига и сигнализации БУРС-1, обеспечивающим управление работой котлов, световую сигнализацию при предаварийных ситуациях, запоминание первопричины аварии, передачу сигнала об аварии на диспетчерский пульт (рис. 10.6).

Система обеспечивает автоматическое регулирование в заданных пределах температуры горячей воды, давления пара, уровня воды в паровом котле, подачи воздуха и тяги в соответствии с подачей газа, а также полуавтоматический пуск и остановку котла. Система питается от электрической сети напряжением 220 В, устойчиво работает при температуре окружающего воздуха от 5 до 50 °С и относительной влажности в пределах 30—80%.

Подача газа к котлу прекращается в случаях: повышения температуры воды за котлом или давления пара в паросборнике выше допустимого значения; падения разрежения в топке; повышения или понижения давления воды за котлом или уровня воды в паросборнике выше или ниже допустимого значения; погасания пламени в топке; отсутствия напряжения питания автоматики; падения давления воздуха перед горелками (при наличии дутьевого вентилятора).

Устройство автоматики. Регулирование температуры горячей воды на выходе из котельной или давления пара в общей паровой магистрали осуществляется общекотельным позиционным регулирующим прибором ПРП. Датчиками температуры наружного воздуха и горячей воды

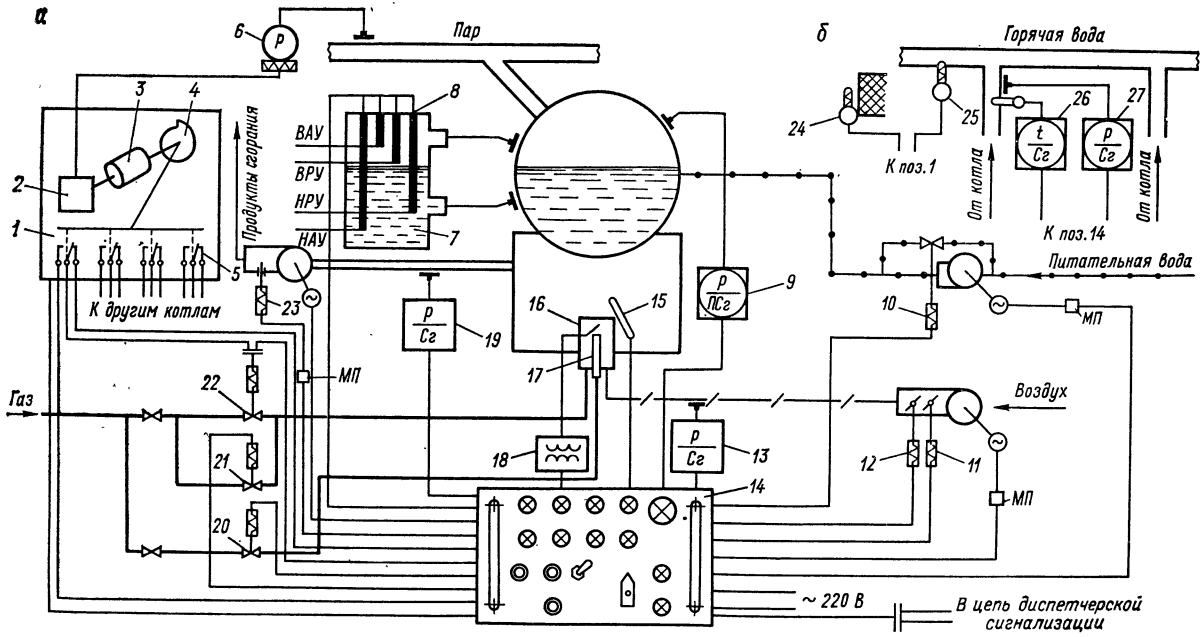


Рис. 10.6. Принципиальная схема автоматики АМКО.

а — для паровых котлов; *б* — особенности для водогрейных котлов.
1 — регулирующий прибор ПРП; *2* — транзисторный усилитель; *3* — электродвигатель; *4* — кулачки; *5* — микропереключатели; *6* — манометр типа МЭД; *7* — уровнемерная колонка; *8* — электроды; *9* и *27* — электроконтактные манометры; *10*—*12* и *23* — исполнительные механизмы типа ЭИМ; *13* и *19* — датчики-реле давления; *14* — блок типа БУРС-1; *15* — контрольный электрод; *16* — основная горелка; *17* — электрозапальник; *18* — катушка зажигания; *20* и *21* — соленоидные клапаны «большого горения» и «малого горения»; *22* — соленоидный клапан запальника; *24* и *25* — термометры сопротивления; *26* — датчик повышения температуры воды за котлом.

являются медные термометры сопротивления или манометры электрические дистанционные — при регулировании давления пара.

Регулирующий прибор суммирует сигнал от датчиков, сравнивает суммированный сигнал с сигналом задатчика (настройки) и усиливает его до значения, необходимого для запуска реверсивного двигателя, на валу которого жестко закреплен кулачок. Вращаясь вокруг своей оси, кулачок воздействует поочередно на шесть микропереключателей и на дифференциально-трансформаторный датчик обратной связи.

При повышении температуры наружного воздуха срабатывает первый микропереключатель и разрывает цепь питания соленоидного клапана большого горения, уменьшая подачу топлива к первому котлу на 60%. Первый котел будет работать в режиме двухпозиционного регулирования. При дальнейшем повышении температуры наружного воздуха срабатывает второй микропереключатель и разрывает цепь питания соленоидного клапана «большого горения» второго котла, уменьшая на 60% подачу топлива. Котел также будет работать в режиме двухпозиционного регулирования, а первый котел — на сниженной нагрузке. Температура наружного воздуха продолжает расти — срабатывает третий микропереключатель и полностью отключает первый котел. Дальнейшее повышение температуры наружного воздуха вызывает уменьшение подачи топлива на 60%, а затем отключение третьего котла.

Четвертый котел постоянно работает без главного регулятора. Автоматическое управление работой четвертого котла обеспечивается терморегулирующим устройством. Если котел отключен главным регулятором, то на соответствующем блоке управления и сигнализации загорается табло «Котел отключен главным регулятором».

При понижении температуры наружного воздуха котел может автоматически включаться на полную нагрузку, если перед этим он работал на сниженной нагрузке. Если котел в процессе регулирования был отключен, то при понижении температуры наружного воздуха автоматического включения его в работу не происходит.

Комплект котловых приборов и устройств включает в себя блок управления, розжига и сигнализации; запальное устройство с катушкой зажигания; контрольный

электрод; датчики защиты от повышения и понижения давления воды, контроля температуры воды; датчик-реле напора и тяги; газовые электромагнитные клапаны. На паровых котлах имеются датчики давления пара, двухпозиционный регулятор уровня воды. Воздушная заслонка и питательный насос мембранного типа снабжены электромагнитными исполнительными механизмами.

Для управления питательным насосом парового котла при двухпозиционном регулировании уровня воды служит уровнемерная колонка с электродами нижнего и верхнего уровня (НРУ и ВРУ). Электроды электрически изолированы от корпуса колонки. Если питательный насос приводится в действие электродвигателем, то исполнительным органом является магнитный пускатель; для насосов мембранного типа функции исполнительного органа выполняет электромагнитный механизм типа ЭИМ.

Соотношение «газ—воздух», а также регулирование разрежения осуществлено электрической блокировкой управления соленоидными клапанами «большого горения» (СКБГ) и «малого горения» (СКМГ) и электромагнитными исполнительными механизмами (ЭИМ), открывающими заслонки на газовом и воздушном тракте.

При возникновении по любому из приведенных выше параметров (кроме погасания пламени) предаварийной ситуации размыкается контакт соответствующего датчика защиты, обесточиваются клапаны «большого горения» и «малого горения» и подача газа к горелкам прекращается. Повторный пуск газа после выяснения и устранения причины отключения производит обслуживающий персонал.

При погасании пламени клапаны также обесточиваются, гаснет лампа «Нормальная работа», но включаются катушка зажигания, тепловое реле времени и соленоидный клапан запальника (СКЗ). Если в течение 8—15 с пламя не восстановится, тепловое реле времени через промежуточное реле обесточит электромагнитный клапан запальника и подача газа через него прекратится. Для включения горелок надо взвести (нажать на кнопку возврата) тепловое реле времени.

Блок управления, розжига и сигнализации смонтирован на кронштейне на фронте котла либо в другом месте, недалеко от котла. Электромагнитные исполнительные механизмы устанавливают в местах расположения воздушной заслонки, а также на питательном насосе мембран-

ного типа. Рабочее положение газовых клапанов — строго горизонтальное, электромагнитного сервоклапана — вертикальное.

Блок соленоидов установлен в непосредственной близости от газовых клапанов, а трансформатор зажигания — вблизи от горелки, с учетом минимального воздействия теплового излучения котла. Датчики реле давления воздуха и разрежения размещены недалеко от места отбора соответствующих импульсов. В местах установки приборов не должно быть значительных вибраций. К клеммным рядам приборов должен быть обеспечен свободный доступ.

Включение и выключение автоматики. При включении пакетного выключателя на блоке БУРС-1 подается напряжение на магнитные пускатели вентилятора, питательного насоса, дымососа, к цепям автоматики. Загорается лампочка «Сеть», открываются воздушные заслонки «малого горения» и «большого горения» с помощью электромагнитных исполнительных механизмов (ЭИМ-МГ и ЭИМ-БГ); происходит вентиляция топки. Затем вручную открывают подачу воды к питательному насосу, открывают трубопровод безопасности, подают газ к клапанам СКМГ и СКБГ. Через 2—5 мин (время, необходимое для вентиляции топки) нажимают на кнопку «Пуск» на блоке БУРС-1.

При розжиге запального устройства отключается схема зажигания, с помощью ЭИМ-МГ открывается заслонка «малого горения», открывается соленоидный клапан «малого горения» и зажигается основная горелка. Совместная работа СКЗ и СКМГ продолжается 30—100 с с выдержкой времени второго теплового реле, после чего СКЗ отключается, открывается заслонка «большого горения» и загорается лампа «Нормальная работа». Затем закрывают трубопровод безопасности.

После прогрева котла, но не ранее времени выдержки второго теплового реле (30—100 с) тумблер на блоке БУРС-1 надо перевести в положение «Нормальная работа», что обеспечивает включение СКБГ и ставит его работу в режим зависимости от общекотельного регулятора, питание к которому подается одновременно с подачей питания на блок БУРС-1.

Если розжиг запального устройства не произошел, то в течение 8—15 с (выдержка теплового реле времени) будут отключены схема зажигания и соленоидный клапан и загорится лампа «Авария». Одновременно откроются

воздушные заслонки и начнется вентиляция топки. Повторное включение автоматики следует производить после выявления и устранения причин неудачного розжига.

Для выключения автоматики необходимо отключить газ и нажать на кнопку «Стоп». При этом гаснет лампа «Нормальная работа» и включается «Факела нет». Открывают трубопровод безопасности и после вентиляции топки (2—5 мин) отключают питание БУРС-1 пакетным выключателем на лицевой панели блока. Отключаются электродвигатели вентилятора, дымососа, питательного насоса, гаснут лампы «Факела нет» и «Сеть».

При аварийном отключении котла гаснет сигнальная лампа «Нормальная работа» на БУРС-1, а на блоке аварийной сигнализации зажигается табло, показывающее причину отключения, и табло «Факела нет». Одновременно передается сигнал на диспетчерский пункт.

10.5. СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ТИПА АМК-У

Общие сведения. Система представляет собой комплекс приборов и устройств, различное сочетание которых обеспечивает образование следующих модификаций: АМК-У-I-Г — для паровых котлов производительностью от 0,7 до 1 т/ч; АМК-У-II-Г — то же, производительностью 0,2—0,4 т/ч; АМК-У-III-Г — то же, производительностью 1,6 т/ч.

Система обеспечивает: двухпозиционное регулирование и поддержание в заданных пределах основных технологических параметров котла (давление пара, уровня воды в котле, подачи воздуха в соответствии с подачей газа); автоматику безопасности (прекращение подачи газа при предаварийном повышении давления пара, падении уровня воды, понижении давления воздуха, падении разрежения, отклонении давления газа от заданных значений, при погасании пламени горелки, при пропадании электроэнергии); световую сигнализацию о нормальной работе котла, аварийную световую и звуковую сигнализацию по параметрам автоматики безопасности, полуавтоматический пуск и остановку котла.

Устройство автоматики. Принципиальная схема системы приведена на рис. 10.7. Основными ее узлами являются: блок питания газовый БПГ с электромагнитами «большого горения» и «малого горения», блок управления БУ-М-У, уровнемерная колонка, устройство за-

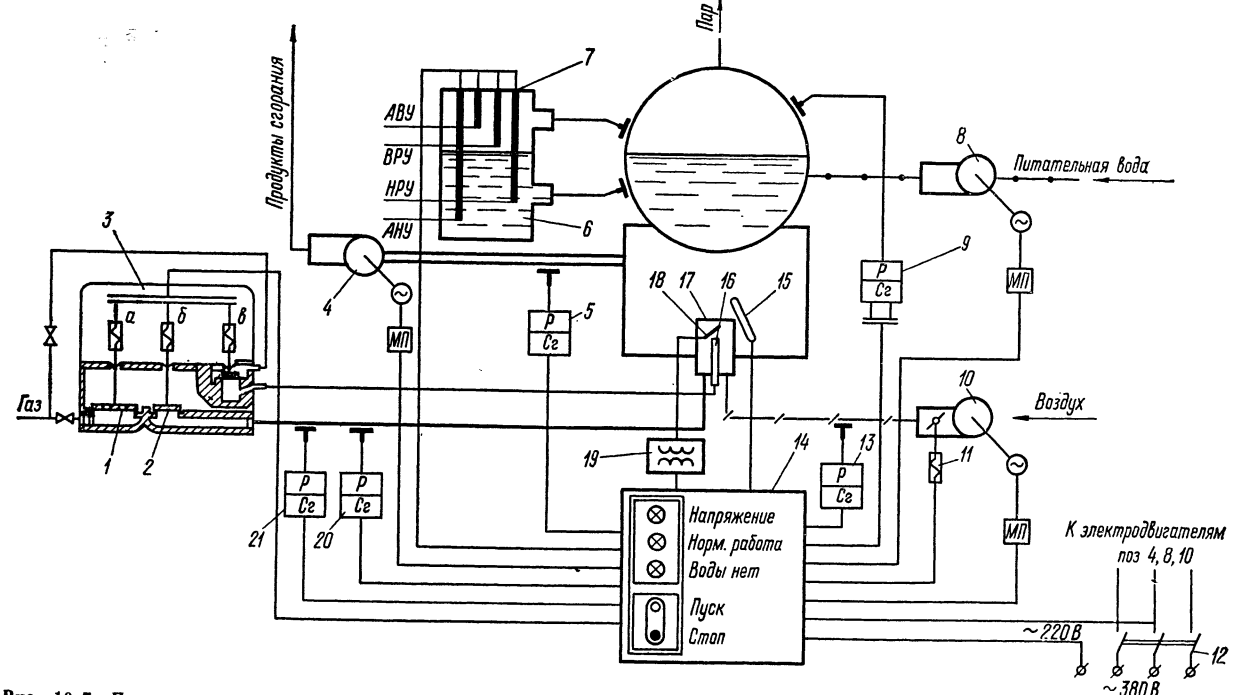


Рис. 10.7. Принципиальная схема автоматики АМК-У.

1 и *2* — клапаны; *3* — блок питания БПГ (*а—в* — электромагниты); *4* — дымосос; *5*, *9*, *13*, *20* и *21* — датчики-реле давления; *6* — уровнемерная колонка; *7* — датчики уровня; *8* — питательный насос; *10* — вентилятор; *11* — исполнительный механизм; *12* — рубильник; *14* — блок управления БУ-М-У; *15* — контрольный электрод; *16* — запальная горелка; *17* — основная горелка; *18* — электрод зажигания; *19* — катушка зажигания.

жигания и контроля работы горелки. Питание блока осуществляется переменным током напряжением 220 В с частотой 50 Гц.

В корпусе блока питания расположены три клапана: «большого горения» и «малого горения», соответствующие 100 и 40% тепловой мощности горелки, а также клапан запальника. Плунжеры всех клапанов штоками соединены с сердечниками электромагнитов и пружинами прижаты к седлам. Если электромагниты обесточены, все три клапана закрыты, и газ к основной горелке и запальнику не поступает. Если электромагнит данного клапана оказывается под напряжением, усилие пружины преодолевается. Плунжер приподнимается и открывает проход газу.

Таким образом, блок питания позволяет осуществить не только подачу и отсечку, но и ступенчатое регулирование расхода газа, а также включение или отключение газового запальника.

При отклонении параметров работы котла от заданных пределов разрываются контакты датчиков, срабатывает схема защиты, собранная в блоке управления, обесточиваются электромагниты клапанов и прекращается подача газа к котлу. При этом гаснет лампа «Нормальная работа». Повторный пуск котла после устранения причины срабатывания автоматики безопасности возможен только нажатием на кнопку «Пуск».

Датчиками автоматики безопасности служат: при повышении давления — сильфонный датчик-реле ДД-10-20К; при повышении и понижении давления газа — мембранный датчик-реле ДН-250-10К с пределами настройки соответственно 180—200 и 80—120 кгс/м^2; понижения разрежения (для АМК-У-I-Г) — мембранный датчик-реле ДНТ-100.

Схема контроля наличия пламени также связана с блоком управления. Контроль основан на детекторных (проводящих) свойствах пламени между корпусом горелки и контрольным электродом. При погасании пламени срабатывают электромагнитные клапаны блока питания и закрываются клапаны *1* и *2*, прекращая подачу газа к горелке, но клапан запальника остается в работе. Лампа «Нормальная работа» гаснет. Если через 25—40 с пламя не восстановится, тепловое реле времени через промежуточное реле обесточивает электромагнитный клапан *в* в блоке *3* и подача газа через запальник прекра-

тится. Для пуска котла надо ввести (нажать на кнопку возврата) тепловое реле времени под крышкой блока БУ-М-У.

Поддержание давления пара в заданных пределах и регулирование подачи воздуха осуществляется схемой двухпозиционного регулятора, собранного в блоке БУ-М-У. Датчиком является сильфонный датчик-реле типа ДД-10-20К, настроенный на заданное давление.

Если давление пара ниже заданного, газ поступает к горелке через клапаны «большого горения» и «малого горения». Когда давление пара достигает верхнего предела настройки, клапан «большого горения» закрывается, и расход газа падает до 40%. Одновременно пропорционально сокращается расход воздуха благодаря электрической блокировке управления электромагнитным клапаном «большого горения» и электрическим исполнительным механизмом *11*, который воздействует на заслонку вентилятора. При падении давления до заданного нижнего предела клапан «большого горения» вновь открывается, а электрический исполнительный механизм возвращает заслонку вентилятора в положение максимального открытия.

Таким образом, котел работает в режимах 40 или 100% тепловой мощности горелки; причем клапан «малого горения» постоянно открыт. Положение максимального и минимального открытия заслонки вентилятора устанавливают с помощью регулировочных винтов, имеющихся в приводе заслонки.

Регулирование уровня воды в котле осуществляется также по схеме двухпозиционного регулятора, в котором использованы датчики типа ДУ, жестко установленные в уровнемерной колонке. Датчики определяют: нижний (НРУ) и верхний (ВРУ) регулируемые уровни воды, а также аварийный нижний (АНУ) и аварийный верхний (АВУ) уровни. При достижении водой ВРУ происходит отключение двигателя питательного насоса, при опускании воды до НРУ двигатель питательного насоса включается.

Включение и выключение автоматики. Для включения системы необходимо открыть крышку блока БУ-М-У и нажать кнопку теплового реле времени («взвести» реле времени), если контакты его разомкнуты, подать напряжение питания на блок рубильником. Подать воду к питательному насосу, открыть трубопровод безопасности,

подать газ к клапанам. После этого производят полуавтоматический розжиг горелки.

Полуавтоматический розжиг осуществляется нажатием кнопки «Пуск» на блоке управления. На цепи автоматики подается напряжение, включаются в работу электродвигатели вентилятора, дымососа и питательного насоса, загорается лампа «Напряжение». При этом производится вентиляция топки и автоматический контроль давления пара, газа, воздуха и разрежения. По прошествии времени, необходимого для вентилирования топки, производят повторное нажатие кнопки «Пуск», в результате которого включается катушка зажигания и электромагнитный клапан запальника. Газ поступает к запальной горелке и поджигается искрой, возникающей между горелкой и электродом.

После появления пламени запальника, фиксируемого контрольным электродом, включаются электромагниты блока БПГ и открываются клапаны «большого горения» и «малого горения». Одновременно включаются электромагнитные исполнительные механизмы, открывающие заслонки вентилятора и дымососа. Схема зажигания отключается и загорается лампа «Нормальная работа». После достижения в котле рабочего давления пара полностью открывают запорное устройство на паропроводе.

Если при включении автоматики газ не воспламенился в течение 25—40 с (в зависимости от настройки теплового реле времени), подача газа к запальнику прекратится. Для повторного включения нужно нажать на кнопку возврата теплового реле времени.

Для выключения автоматики следует прекратить подачу газа, нажать на кнопку «Стоп», через время, требующееся для вентиляции топки (2—5 мин), вновь нажать на кнопку «Стоп», снять напряжение блока БУ-М-У рубильником.

10.6. СИСТЕМА «КОНТУР»

Система состоит из однотипных субблоков, являющихся функционально законченными элементами. По габаритным и присоединительным размерам все субблоки одинаковы. К внешним цепям системы субблоки подключаются с помощью штепсельных разъемов.

По выполняемым операциям субблоки подразделяются на: измерительные (типов Р-013 и Р-012), предназначен-

ные для суммирования сигналов первичных преобразователей, сравнения их с заданными значениями и выработки сигнала рассогласования; регулирующие (типов Р-011 и Р-015), предназначенные для формирования регулирующего или корректирующего воздействия путем преобразования сигнала рассогласования; функциональные (типов Ф-016 и Ф-026), осуществляющие динамическое и дискретное преобразование сигналов.

В качестве основных типов первичных преобразователей, применяемых в системе, используются: дифтягомер ДТ-2, манометр МЭД, дифманометр ДМ, термопреобразователи сопротивления градуировки 21 и 22, термоэлектрические преобразователи градуировки ХА, ХК.

Отдельные приборы системы образуются путем объединения двух субблоков — одного из измерительных с одним из регулирующих — в одном корпусе, предназначенном для щитового монтажа. Различным сочетанием субблоков образуются конструктивно одинаковые приборы 12 типов.

В состав системы «Контур» входят регулирующие приборы Р25 с импульсным выходным сигналом (рис. 10.8). Регулятор выполняет следующие функции:

— алгебраическое суммирование сигналов, поступающих от первичных преобразователей с неунифицированными (естественными) электрическими выходными сигналами, и сигналов от задатчика; формирование и усиление сигнала рассогласования (разности сигналов текущего значения регулируемого параметра и задатчика);

— формирование на выходе регулятора импульсов постоянного или переменного тока для управления исполнительным механизмом с постоянной скоростью;

— формирование совместно с исполнительным механизмом с постоянной скоростью законов регулирования;

— демпфирование сигналов рассогласования;

— дистанционное управление исполнительным механизмом;

— индикацию положения исполнительного механизма и сигнала рассогласования.

Питание регулятора осуществляется от однофазной сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц. Мощность, потребляемая регулятором, без мощности, потребляемой исполнительным механизмом, не более 20 В·А. Рабочая температура при эксплуатации 5—50 °С, верхний предел относительной влажности 80%.

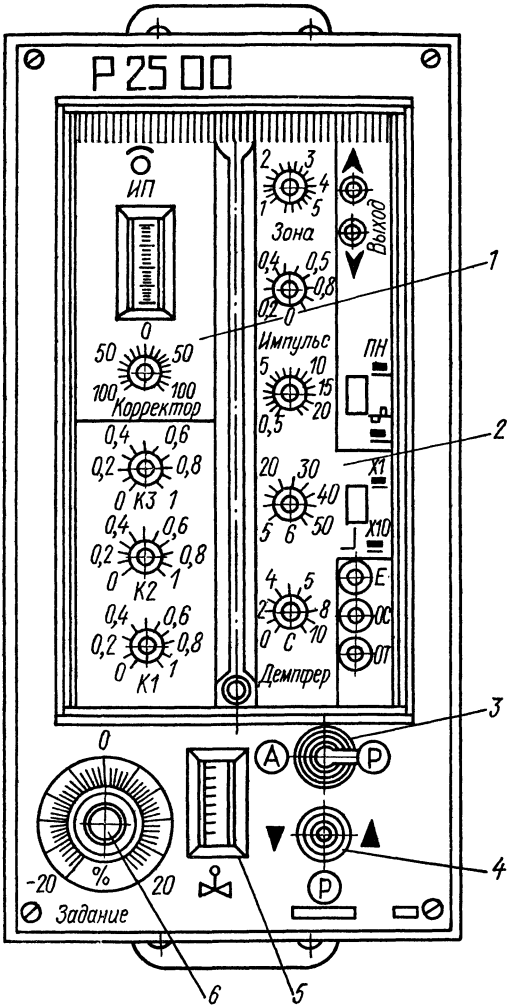


Рис. 10.8. Лицевая панель регулятора Р25.

1 и *2* — субблоки; *3* — переключатель управления; *4* — переключатель «Больше»—«Меньше»; *5* — индикатор положения рабочего органа; *6* — задатчик.

Имеются три модификации Р25, определяемые видом и номинальным диапазоном изменения входных сигналов, видом и количеством подключаемых первичных преобразователей. Каждая модификация имеет 4 исполнения (без индикаторов, с индикатором согласования и положения, с индикатором рассогласования, с индикатором положения). Обозначают Р25 двумя цифрами, указывающими модификацию и исполнение (например, Р25.1.3).

Регуляторы содержат органы ручного управления исполнительным механизмом, индикатор положения исполнительного механизма и ряд вспомогательных элементов входных и выходных цепей.

10.7. ЩИТ АВТОМАТИЗАЦИИ Щ-К2 (Щ-ДЕ)

Характеристика щита. Щит предназначен для автоматизации котлов ДЕ и ДКВР, работающих на топливе газ—мазут. Изготовлены щиты бескаркасно из стального листа толщиной 2 мм. Внутренняя коммутация выполнена проводом сечением 1 мм^2 марки ПВ, ПР или ПРЛ. На концы проводов, подключаемых к клеммникам, приборам, регуляторам и коммутирующей аппаратуре, надеты маркировочные оконцеватели. Весь жгут проводов внутренней коммутации забандажирован и укреплен на специальных скобах.

Автоматические системы регулирования щита построены на регуляторах Р25 системы «Контур». Все измерительные приборы, автоматические регуляторы, сигнальное табло, органы контроля и управления расположены на лицевой панели щита (рис. 10.9).

Щит в комплекте со средствами контроля и автоматизации, предназначенными для работы с ним, обеспечивает:

дистанционный контроль разрежения в топке, давления воздуха за дутьевым вентилятором, температуры отходящих газов за котлом и экономайзером, силы тока электродвигателя дымососа;

дистанционное управление электродвигателями дымососа и дутьевого вентилятора, питательным клапаном с целью поддержания необходимого уровня воды в барабане котла, направляющим аппаратом дымососа с целью поддержания необходимого разрежения в топке, направляющим аппаратом дутьевого вентилятора с целью регулирования подачи воздуха к горелкам, регулирующим

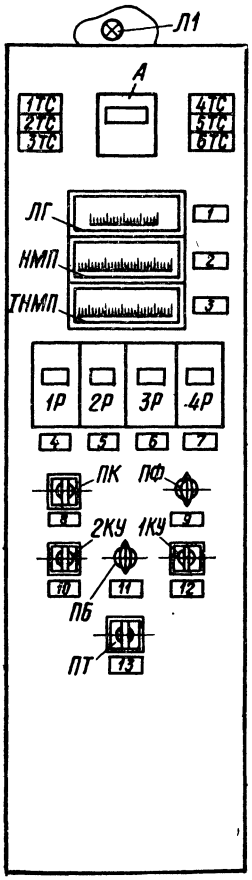


Рис. 10.9. Лицевая панель щита Щ-К2.

Л1 — освещение щита; *А* — амперметр; *1ТС—6ТС* — световые табло; *ЛГ* — манометр (температура отходящих газов); *НМП* — напоромер (давление газов); *ТНМП* — тягонапоромер (разрежение в топке); *1Р—4Р* — регуляторы топлива, воздуха, разрежения, уровня; *ПК* — ключ управления котлом; *ПФ* — переключатель фотодатчиков; *2КУ* — ключ дутьевого вентилятора; *1КУ* — ключ дымососа; *ПБ* — переключатель блокировки; *ПТ* — переключатель топлива; *1—13* — рамки для надписей.

органом на газопроводе (мазутопроводе) с целью регулирования давления пара в барабане котла;

блокировку электродвигателей дутьевого вентилятора и дымососа;

технологическую защиту по следующим причинам: повышение или понижение давления газа (мазута) перед горелками, понижение давления воздуха перед горелками, понижение разрежения в топке, погасание факела горелки, понижение или повышение уровня воды в барабане котла, исчезновение напряжения питания системы технологической защиты;

автоматическое регулирование расхода воздуха на горение (соотношения «топливо—воздух»), уровня воды в барабане, разрежения в топке, давления пара в барабане;

световую и звуковую аварийную сигнализацию отклонения давления газа (мазута) за допустимые пределы, понижения разрежения в топке ниже допустимого предела, понижения давления воздуха перед горелками ниже допустимого предела, погасания факела горелки, отклонения уровня воды в барабане котла за допустимые пределы, аварийной остановки котла, дымососа, дутьевого вентилятора.

Принцип действия технологической защиты. Отключение топлива, поступающего к горелкам, при срабатывании защиты по всем параметрам, кроме разрежения в топке и уровня воды в барабане котла, происходит мгновенно. По двум указанным параметрам отключе-

ние топлива происходит с выдержкой во времени 15—20 с. Этим исключается влияние кратковременных изменений разрежения или уровня воды, не могущих вызвать аварии котла, а потому не опасных.

Когда система технологической защиты находится во включенном (дежурном) состоянии, контакты датчиков, непрерывно контролирующих включенные в схему параметры, замкнуты. Соответствующие им промежуточные реле и электрические магниты, управляющие клапаном-отсекателем, находятся под напряжением. Клапан-отсекатель на топливе открыт. В таком состоянии система защиты находится до тех пор, пока все включенные в нее параметры находятся в пределах нормы.

В случае отклонения одного из параметров за допустимые пределы размыкается контакт соответствующего датчика, обесточиваются промежуточное реле и электромагнит, управляющий клапаном-отсекателем топлива; загорается световое табло «Котел отключен» и включается звуковая сигнализация.

К органам контроля технологической защиты относятся шесть световых двухламповых табло типа ТСВ, установленных в верхней части лицевой панели щита. Во включенном состоянии табло не горит, а при срабатывании защиты загораются лампы только одного табло, указывающего причину срабатывания, а также лампы табло «Котел отключен».

Управление (открытие) клапанов-отсекателей осуществляется рычагами клапанов по месту их установки. К органам управления относятся переключатель котла *ПК*, переключатель топлива *ПТ* и переключатель фотодатчиков *ПФ*.

Рукоятка переключателя котла имеет четыре фиксированных положения: вертикальное — защита отключена; 90° от вертикали по часовой стрелке — предварительное включение (розжиг горелок); 135° по часовой стрелке — защита полностью включена (поставлена в дежурное состояние); 45° от вертикали против часовой стрелки — защита отключена предварительно.

Рукоятка переключателя топлива имеет два фиксированных положения: вертикальное — котел работает на мазуте; горизонтальное (повернута на 90° против часовой стрелки) — котел работает на газе.

Рукоятка переключателя фотодатчика имеет два фиксированных положения: вертикальное — контролируется

факел левой горелки; 45° от вертикали против часовой стрелки — контролируется факел правой горелки.

К технологической защите относится и система сигнализации — световая и звуковая. Система предназначена для оповещения оперативного персонала об остановке котла технологической защитой и о причине этой остановки. Датчики и промежуточные реле для систем защиты и сигнализации общие. Электрическое питание защиты и сигнализации автономно.

Световая сигнализация включается в работу подачей питания в систему сигнализации в щите котла. Звуковая сигнализация и запоминание причины срабатывания защиты включаются только в положении рукоятки ключа *ПК* «Включено». Ключ опробования сигнализации и съема звука расположен на щите вспомогательного оборудования.

Регулирование уровня воды в барабане котла. Система состоит из первичного преобразователя дифманометрического типа ППДМ-23014, автоматического регулятора Р25.1, исполнительного механизма электрического однооборотного типа МЭО и регулирующего органа — питательного клапана. Первичный преобразователь, исполнительный механизм и регулирующий орган установлены непосредственно на объекте регулирования — паровом котле, регулятор установлен на щите Щ-К2.

Первичный преобразователь связан с котлом импульсными трубками через отборное устройство, с регулятором — электрическими проводами. Органы контроля и управления системы находятся на лицевой панели Р25, а органы ручного управления — непосредственно на исполнительном механизме. К органам управления отнбсятся: задатчик, переключатель управления, тумблер дистанционного управления. К органам контроля относятся два светодиода «Выход».

Задатчик позволяет изменять в случае необходимости заданное значение уровня воды. Переключатель управления позволяет выбирать род управления исполнительным механизмом. Если рукоятка переключения установлена в положение *А*, система работает в автоматическом режиме, если в положении *Р*, — в режиме дистанционного управления. При отклонении рукоятки тумблера вправо до упора исполнительный механизм открывает питательный клапан, при отклонении влево до упора закрывает питательный клапан.

Светодиоды контролируют знак управляющего воздействия регулятора: верхний загорается, когда текущее значение уровня воды меньше заданного и требуется открывание питательного клапана, нижний загорается, когда требуется закрывание клапана.

Включение автоматической системы регулирования уровня воды можно производить только после того, как в барабане установится номинальное рабочее давление. После этого дистанционно или вручную устанавливают такой уровень воды, который должен поддерживать автоматический регулятор.

Управление электродвигателями вентиляторов. Система управления электродвигателями дымососа и дутьевого вентилятора предназначена для: дистанционного пуска и остановки электродвигателей; остановки электродвигателей аварийным выключателем, расположенным в непосредственной близости от электродвигателя; сигнализации подготовки цепей управления к пуску (световая сигнализация), аварийной остановки электродвигателей (световая и звуковая сигнализация).

Органы контроля и управления системы расположены на лицевой панели Щ-К2. К ним относятся: тягонапоромеры типа ТНМП-52 со шкалой $\pm 12{,}5$ кгс/м^2 и со шкалой 0—160 кгс/м^2, контролирующие соответственно разрежение в топке и за дутьевым вентилятором; амперметр переменного тока, контролирующий ток статора электродвигателя дымососа; лампы сигнальные с красной линзой для дымососа и дутьевого вентилятора; ключи управления электродвигателя дымососа *1КУ* и дутьевого вентилятора *2КУ*, переключатель блокировки *ПБ*.

Органы управления, расположенные по месту установки электродвигателей, — выключатели аварийной остановки АВ-1 и АВ-2; органы контроля, расположенные на щите вспомогательного оборудования, — ревун сигнальный, ключ опробования сигнализации, ключ съема звука.

Включение и выключение автоматики. После подготовки котла к работе в соответствии с производственной инструкцией следует убедиться в том, что в систему подано напряжение питания. Затем выполняют все предпусковые операции в соответствии с паспортом установок первичных преобразователей защиты, устанавливают необходимый уровень воды в барабане котла, нормальное разрежение в топке и давление воздуха перед горелками.

После этого на лицевой панели щита гаснут соответствующие сигнальные табло.

Когда останутся гореть только табло «Котел отключен», «Факела нет» и «Давление топлива низко», следует повернуть рукоятку ключа управления в положение «Предварительно включено». При этом положении рукоятки включается электрический запальник и гаснет сигнальное табло «Факела нет». После появления факела запальника подают газ на горелки, для чего взводятся рычаги ПКН, установленного на газопроводе перед котлом, а затем открывают вручную запорное устройство каждой горелки. После зажигания газа на горелках с выдержкой времени отключается запальник. Рукоятка ключа пуска котла устанавливается в положение «Включено» и защита котла вводится в дежурное состояние.

Плановая остановка котла осуществляется плавным изменением одного из параметров, включенных в систему защиты. При выходе этого параметра за допустимые пределы сработает защита и котел остановится. При этом проверяется работа системы защиты.

10.8. КОМПЛЕКТЫ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ

Комплекты средств управления (КСУ) имеют следующие модификации: КСУ-1-Г-2 для водогрейных одногорелочных котлов на газе низкого давления; КСУ-1-Г-3 для водогрейных котлов на газе среднего давления; КСУ-2П-1-Г для паровых котлов под разрежением; КСУ-2П-2-Г для паровых котлов под наддувом; КСУ-2П-3-Г для прямоточных котлов под наддувом; 1КСУ-ГМ для одногорелочных водогрейных котлов производительностью от 4 до 30 Гкал/ч типа КВ-ГМ.

Напряжение питания комплекта — трехфазная сеть 380/220 В или 220/127 В с колебаниями в пределах от +10 до —15%. Частота переменного тока 50 ± 1 Гц. Потребляемая мощность не более 300 В·А.

Комплекты совместно с первичными преобразователями и исполнительными устройствами обеспечивают двухпозиционное регулирование основных технологических параметров котлов, программный пуск и остановку котла, аварийную защиту котла по следующим параметрам: неисправность блоков комплекта, понижение или повышение давления газа перед горелками, понижение давления воздуха, понижение разрежения в топке, погасание

пламени, взрыв в топке котла, отключение дымососа; повышение или понижение давления воды и повышение температуры воды на выходе из котла, повышение давления и температуры пара на выходе из котла, предаварийное повышение или понижение уровня воды в барабане парового котла.

Автоматика обеспечивает световую и звуковую сигнализацию с запоминанием первопричины аварии по каждому из аварийных параметров, автоматический пуск и остановку котла, рабочую сигнализацию.

Электронная схема комплекта КСУ-1 построена на базе элементов дискретной автоматики, реализованных с помощью микросхем, транзисторов и других электроэлементов. Основу комплекта составляют многоканальные блоки, каждый канал которого или сам блок выполняет определенную логическую функцию.

В комплект входят: блоки управления и сигнализации (БУС), запального устройства (БЗУ), контроля пламени (БКП), ввода сигналов (БВС), задержки сигналов (БЗС), аварийной защиты (БАЗ), вспомогательных элементов (БВЭ), формирования команд (БФК), программированного таймера (БПТ), формирования воздействий (БФВ), герконовых реле (БГР), питания (БП); соленоидные клапаны рабочий (СКР), контрольный (СКК), запальника (СКЗ), безопасности (СКБ), «малого горения» (СКМГ), «большого горения» (СКБГ); катушка зажигания (КЗ); электрозапальник газовый (ЭЗГ); исполнительные механизмы шибера дымохода (ИМШД), воздушной заслонки (ИМВЗ).

Комплект расположен в навесном шкафу, на задней стенке которого размещена коммутационная аппаратура: магнитные пускатели, реле, клеммные колодки. Автоматический выключатель сети установлен на левой боковой стенке шкафа. Органы оперативного управления и сигнализации расположены в верхней части лицевой стороны дверки шкафа. Электрическое соединение субблоков с общими цепями осуществляется с помощью разъемов. Принципиальная схема КСУ-1 приведена на рис. 10.10.

При срабатывании первичных преобразователей, контролирующих параметры автоматики безопасности, а также при пропадании напряжения питания обесточиваются исполнительные реле, разрывая цепи питания отсечных клапанов, и подача газа к котлу прекращается. Одновременно загораются световое табло «Авария» и

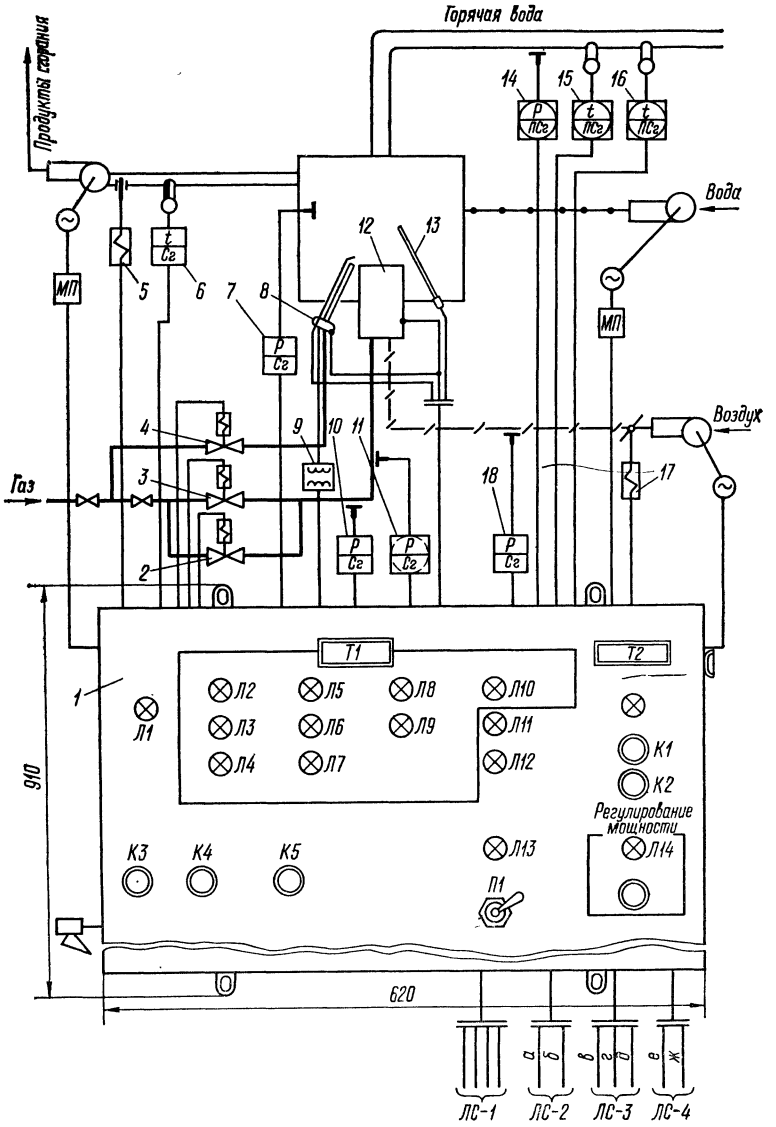


Рис. 10.10. Принципиальная схема КСУ-1-Г.

1 — шкаф комплекта; *2* и *3* — отсечные клапаны; *4* — клапан-отсекатель запальника; *5* и *17* — исполнительные механизмы типа ЭИМ; *6* — датчик-реле температуры; *7*, *10*, *11* и *18* — датчики-реле тяги, давления, напора; *8* — электрозапальник; *9* — катушка зажигания; *12* — горелка; *13* — контрольный электрод; *14* — манометр электроконтактный; *15* и *16* — термометры мано-

сигнальная лампа первопричины аварии, замыкается цепь питания источника звукового сигнала. Снятие звукового сигнала производится нажатием кнопки «Отключение звуковой сигнализации». Отключение световой аварийной сигнализации должно производиться только после устранения причины появления аварийного сигнала нажатием кнопки «Отключение световой сигнализации». После сброса сигнализации и послеостановочной вентиляции топки (60 с) комплект вновь готов к работе, но пустить его можно только с помощью кнопки «Пуск», а не дистанционно.

Если при включении светового табло «Авария» и сигнальной лампы «Комплект неисправен» их не удается отключить нажатием на кнопку, значит повысилось напряжение питания интегральных микросхем и сработала защита. Необходимо отключить сетевой автоматический выключатель и устранить неисправность.

При повышении температуры отходящих газов и при выходе из строя резервных узлов комплекта включаются соответствующие сигнальные лампы предупредительной сигнализации «Температура отходящих газов высокая» и «Нет резервирования». Котел при этом продолжает работать, и необходимо принять меры для устранения причин, вызвавших включение сигнализации. Нажатием кнопки «Контроль сигнализации» проверяют исправность сигнальных ламп и источника звукового сигнала.

Автоматическое регулирование может осуществляться в двух режимах: совместно с общекотельным устройством и без него. Выбор режима регулирования осуществляется тумблером «Работа с общекотельным устройством».

При работе без общекотельного устройства датчиком в системе регулирования является термометр манометри-

---

метрические; *Т1* — табло «Авария»; *Т2* — табло «Работа»; *Л1—Л14* — лампы: *Л1* — «Сеть», *Л2* — «Нет пламени»; *Л3* — «Разрежение низкое», *Л4* — «Давление воздуха низкое», *Л5* — «Давление воды низкое», *Л6* — «Давление воды высокое», *Л7* — «Температура воды высокая», *Л8* — «Давление газа низкое», *Л9* — «Давление газа высокое», *Л10* — «Комплект неисправен», *Л11* — «Нет резервирования», *Л12* — «Температура отходящих газов высокая», *Л13* — «Котел отключен общекотельным устройством», *Л14* — «Включено»; *К1* — *К5* — кнопки: *К1* — «Пуск», *К2* — «Стоп», *К3* — «Отключение звуковой сигнализации», *К4* — «Отключение световой сигнализации», *К5* — «Контроль сигнализации»; *П1* — переключатель «Работа с общекотельным устройством»; *ЛС-1—ЛС-4* — линии связи: *ЛС-1* — «Питающая сеть», *ЛС-2* — «Сигналы диспетчеру» (*а* — «Включение питающего напряжения», *б* — «Авария»), *ЛС-3* — «Дистанционное управление» (*в* — «Пуск», *г* — «Останов», *д* — «Включение регулирования»), *ЛС-4* — «Сигналы от общекотельного устройства регулирования» (*е* — «Пуск» — «Стоп», *ж* — «Малое горение» — «Большое горение»).

ческий ТПГ-СК *15*. Если температура горячей воды находится в интервале между нижним и верхним регулируемыми значениями (стрелка манометра находится между обоими неподвижными контактами и оба контакта разомкнуты), газ к горелке поступает через два клапана: «большого горения» (100% мощности горелки) и «малого горения» (40%); заслонки на воздухо-, водо- и газоходе полностью открыты. Замыкание контакта при достижении верхнего регулируемого значения температуры отключает клапан «большого горения», срабатывают исполнительные механизмы *5* и *17* типа ЭИМ, перекрывая частично воздуховод и газоход и устанавливая соответствующее соотношение «газ—воздух». Котел переходит в режим «малое горение». При последующем падении температуры воды вновь открывается клапан «большого горения» и изменяется положение заслонок.

При работе с общекотельным устройством комплект КСУ-1 выполняет следующие команды: остановка котла; пуск котла; 100%-ного открытия регулирующего органа подачи газа и заслонок на воздуховоде и газоходе («большое горение»); 40%-ного открытия регулирующих органов на «малое горение».

Включение устройства регулирования мощности при первом пуске (как с общекотельным устройством, так и без него) осуществляется вручную путем нажатия на кнопку «Регулирование мощности включено», сопровождающегося загоранием соответствующей сигнальной лампы, причем это включение автоматикой пуска разрешается только после прогрева котла (минимально 120 с после установки устойчивого горения факела).

При поступлении от общекотельного устройства сигнала на отключение клапаны закрываются, включается лампа «Котел отключен общекотельным устройством» и после 60 с послеостановочной вентиляции комплект готов к принятию сигнала пуска. По сигналу пуска от общекотельного устройства производится автоматический розжиг.

Если в процессе нормальной работы с общекотельным устройством возникнет сигнал аварии или будет нажата кнопка «Стоп», то котел отключится, и пуск его может быть осуществлен только с помощью кнопки «Пуск», а включение устройства регулирования мощности — с помощью соответствующей кнопки.

При включении автоматики соблюдают следующий порядок:

— подают питание на комплект с помощью выключателя «Сеть» на блоке БУС, при этом должен загореться светодиод «Сеть», расположенный на лицевой панели БУС;

— проверяют работу всех светодиодов аварийной и технологической сигнализации нажатием кнопки «Контроль», расположенной на лицевой панели БУС. При этом должны загореться все светодиоды и сработать звуковая и аварийная сигнализация;

— для включения горелки необходимо нажать на кнопку «Пуск» и начнется прохождение программы пуска. При нормальном прохождении пуска должны отработать в соответствии с программой все исполнительные устройства автоматики. При сбое программ произойдет ее сброс, сработает звуковая сигнализация и загорится светодиод параметра, из-за которого произошел сбой включения. Путем последовательного нажатия кнопок отключить звуковую и световую сигнализацию, после чего провести технологические операции для устранения причины, вызвавшей сброс включения автоматики.

После окончания послеостановочной вентиляции топки провести повторное включение автоматики. Если автоматика повторно не включается или при нажатии кнопки «Пуск» загорится светодиод «Комплект неисправен», то больше включение не производить. Исправление неисправности должен производить специалист по автоматике.

Для выключения автоматики оператору достаточно нажать на кнопку «Стоп», а при полном окончании работы отключить автоматический выключатель сети в шкафу комплекта.

Глава 11
ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГАЗИФИЦИРОВАННЫХ КОТЕЛЬНЫХ

11.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Подготовка кадров. Руководящие и инженерно-технические работники, занимающиеся проектированием, строительством, монтажом и эксплуатацией газопроводов, установок, использующих газовое топливо, наладкой газового оборудования, работами по пуску газа, устройству

и эксплуатации каналов для отвода продуктов сгорания, лица, ответственные за газовое хозяйство, а также преподаватели курсов и учебных комбинатов, занятые подготовкой кадров для газовых хозяйств, должны пройти обучение и перед допуском к работе сдать экзамен на знание «Правил безопасности в газовом хозяйстве» Госгортехнадзора СССР и соответствующих глав СНиП.

К обслуживанию котлов, работающих на газовом топливе, и систем газоснабжения котельных допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование. В связи с тем что одним из условий безопасного использования газового топлива является обнаружение утечек газа по его запаху, особое внимание при медицинском освидетельствовании должно быть обращено на отсутствие дефектов обоняния.

Обучение персонала котельных должно вестись по утвержденным программам. Обслуживание котлов с целью освоения практических навыков в действующей котельной разрешается только под наблюдением инструктора или старшего оператора котельной.

Право обслуживания котлов на газовом топливе и газового оборудования подтверждается удостоверением, выданным на основании протокола квалификационной комиссии, назначенной предприятием. В работе комиссии обязательно должен участвовать представитель местного органа Госгортехнадзора и представитель профсоюзной организации. Всем сдавшим экзамен под личную расписку выдаются инструкции, определяющие безопасные методы работы по их профессиям.

Повторную проверку знаний обслуживающий персонал должен проходить не реже одного раза в год, а также в случаях перехода на обслуживание котлов другого типа или оснащенных другим газовым оборудованием и другими системами автоматики. О дне проведения повторной проверки местный орган Госгортехнадзора должен быть оповещен не менее чем за 5 дней. Необходимость присутствия своего представителя при проверке решает сам местный орган.

Каждому из работников котельной разрешается обслуживать только те установки или оборудование, на которые у него имеется удостоверение о соответствующей учебной подготовке. В своей работе операторы (машинисты), слесари, электрики должны строго руководствоваться производственными инструкциями, экземпляры

Таблица 11.1

Численность операторов котельной

Количество котлов	Суммарная производительность, Гкал/ч		
	0,1—4	4,1—20	20,1—150
1	0,8	1,0	1,0
2	0,9	1,4	2,0
3	1,0	2,0	2,0
4	1,4	2,0	2,0
5	1,8	2,0	2,0
6—10	1,8	2,0	3,0

Примечания 1. При установлении численности операторов в расчет принимается количество котлов, подготовленных к эксплуатации в период максимальной нагрузки в отопительный сезон. 2. В случае неизбежных кратковременных отлучек оператора его может подменить рабочий другой профессии, имеющий право (удостоверение) на работу с данными котлами, с оформлением приема—сдачи смены в вахтенном журнале. 3. В котельных, оснащенных дистанционными пультами управления, численность операторов устанавливается с применением коэффициента 0,6

которых должны быть вывешены на рабочих местах и выданы каждому на руки. Выполнение во время дежурства каких-либо работ, не предусмотренных инструкцией, запрещается.

Численность обслуживающего персонала определяют в соответствии с действующими нормативными документами * (табл. 11.1).

Квалификационная характеристика операторов. Оператор должен знать:

— устройство и принцип работы водогрейных и паровых котлов; основные тепловые процессы, происходящие в котлах, и способы достижения наиболее экономичных режимов их работы;

— устройство и правила обслуживания газовых горелок, топок, гарнитуры и арматуры котлов, вспомогательного оборудования (дымососов, дутьевых вентиляторов, насосов, теплообменников);

— физико-химические свойства газового топлива и способы его рационального сжигания в котлах;

* «Нормативы численности рабочих, занятых обслуживанием котельных и тепловых сетей» (Центральное бюро нормативов по труду при НИИ труда Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам. Москва, 1983 г.).

— основные сведения из теплотехники, электротехники, материаловедения;

— устройство, назначение и принцип действия газового оборудования и правила его обслуживания;

— устройство, назначение и принцип действия используемых средств измерений и автоматического регулирования процесса горения газового топлива, а также защиты котлов и правила пользования этими средствами;

— по чертежам и в натуре технологические схемы трубопроводов и оборудования котельной и их назначение;

— основные способы наружной и внутренней очистки котлов от накипи и сажи;

— способы подготовки питательной и подпиточной воды в котельных;

— требования к водному режиму котлов и меры по его поддержанию на уровне, обеспечивающем безопасную и надежную работу котлов;

— правила безопасных методов работы и производственной санитарии;

— признаки и причины возникновения неисправностей в работе котлов, газового и тепломеханического оборудования, способы предупреждения и ликвидации неисправностей и аварий;

— порядок ведения сменного журнала и оперативной документации;

— правила Госгортехнадзора СССР и МЖКХ РСФСР по устройству и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов, трубопроводов пара и горячей воды, безопасности в газовом хозяйстве котельной, производственные инструкции, противопожарные мероприятия; правила технической эксплуатации и ухода за оборудованием, приспособлениями и инструментом;

— назначение и содержание режимных карт; нормы расхода топлива, электроэнергии, воды и других материалов на выработку 1 Гкал теплоты или 1 т пара;

— правила внутреннего распорядка и организации труда на своем рабочем месте; основы экономики труда и производства.

Оператор котельной должен уметь:

— подготавливать к работе и включать котлы в сроки, установленные инструкцией, обслуживать котлы и вспомогательное оборудование (насосы, дутьевые вентиляторы, дымососы), следить за их состоянием;

— подготавливать к работе газовое оборудование; включать горелки и поддерживать необходимый режим их работы;

— питать котлы водой, проверять исправность резервного питательного насоса, вводить в котел необходимые реагенты; следить за уровнем воды в паровом котле; поддерживать водный режим котлов, обеспечивающих безопасную и надежную их работу;

— производить продувку парового котла и водоуказательных приборов, присоединительных трубок манометров, проверку предохранительных клапанов;

— предупреждать возможные аварии и неполадки в работе оборудования, а в случае возникновения быстро принимать меры к их ликвидации;

— выключать газовое оборудование ГРП (ГРУ) и горелки, а также останавливать котел в плановом и аварийном порядке в соответствии с эксплуатационными инструкциями;

— экономно расходовать топливо, электроэнергию и воду;

— пользоваться средствами измерений (контрольно-измерительными приборами) и средствами автоматики регулирования и безопасности, проверять их работу; бережно обращаться со средствами измерений автоматики и инструментом;

— применять рациональные приемы организации труда и рабочего места;

— пользоваться имеющимися на рабочем месте технологическими схемами, чертежами и технической документацией; вести оперативную документацию; читать технические чертежи;

— производить самостоятельно мелкие ремонтные работы (набивку сальников, замену прокладок, небольшие обмуровочные работы, ремонт отдельных мест тепловой изоляции и др.), выполнять слесарные и ремонтные работы в объеме, необходимом для самостоятельного устранения возникающих в процессе работы оборудования неполадок текущего характера и принимать участие в планово-предупредительных осмотрах и ремонтах;

— оказывать первую доврачебную помощь пострадавшему.

Проектно-исполнительная и эксплуатационная документация. По каждой котельной у владельца должна храниться проектно-исполнительная документация, вклю-

чающая: задание на проектирование и проект газоснабжения, в который внесены все изменения, имевшие место при выполнении монтажных работ и в процессе эксплуатации, или добавлены соответствующие документы, имеющие силу проекта (разрешающие письма, ссылки на другие проектные решения или нормали). К исполнительным чертежам системы газоснабжения должны быть приложены копии чертежей из других разделов проекта по данной котельной (дымовой трубы, сборных газоходов, систем вентиляции и др.), на которые имеются ссылки в проекте газоснабжения.

В исполнительной документации должны быть: акты приемки в эксплуатацию тепломеханического оборудования котельной, систем автоматики и акты их ввода в эксплуатацию; аксонометрическая схема газопроводов, чертежи газового и воздушного трактов, приточно-вытяжной вентиляции; паспорта или формуляры на все установленное оборудование; сертификаты на фасонные части и трубы; паспорта дымососов и дутьевых вентиляторов, газовых горелок, экономайзеров, автоматики оборудования ГРП (ГРУ), средств измерений; паспорт на устройства приточно-вытяжной вентиляции; строительные паспорта на газопроводы, ГРП (ГРУ); план трассы наружного газопровода с указанием колодцев, каналов, подвалов в радиусе 50 м от подземного газопровода; акт окончательной приемки газового оборудования в эксплуатацию; акты проверки контура заземления, изолирующих фланцев; паспорт (свидетельство или акт поверки) газоиндикатора, газоанализатора.

На паровые котлы, пароперегреватели, экономайзеры с избыточным давлением свыше 0,7 кгс/см^2 и водогрейные котлы с температурой воды свыше 115 °С, подлежащие регистрации в органах Госгортехнадзора, в котельной должны иметься паспорта, в которых указывают: площади поверхности нагрева, допускаемые давление и температуру теплоносителя, год изготовления, дату ввода в эксплуатацию и другие данные. В шнуровой книге представитель местного органа Госгортехнадзора записывает результаты проведенного и срок следующего технического освидетельствования.

В котельных должны быть: производственные инструкции по обслуживанию котлов, газового и вспомогательного оборудования, систем автоматики; выписка из приказа о назначении лица, ответственного за газовое хо-

зяйство котельной; список операторов и других работников котельной с указанием даты сдачи экзамена по безопасным методам работы, подписанный руководителем предприятия и скрепленный печатью; график работы персонала котельной; графики профилактических осмотров и ремонтов оборудования.

Оперативная документация включает ведомость почасовых записей контролируемых параметров, а также журналы: сменный (вахтенный); проводимого технического обслуживания, плановых осмотров и ремонтов газового оборудования; проверки автоматики безопасности и контрольно-измерительных приборов; распоряжений начальника котельной (начальника цеха, участка); инструктажа по безопасным методам работы; регистрации нарядов на газоопасные работы; обхода трассы подземного газопровода; проверки работы изолирующих фланцев; проведения тренировочных занятий; предписаний должностных лиц контролирующих органов.

Сменный журнал предназначен для записи в хронологическом порядке произведенных за смену переключений и других работ, периодических операций по проверке, осмотру и опробованию оборудования. Оператор должен делать записи в суточной ведомости всех основных параметров работы котла по показаниям средств измерений.

Журналы дефектов и неисправностей служат для записи старшим по смене замеченных во время работы неполадок, устранение которых требует участия ремонтного персонала. При записи указываются оборудование, прибор или устройство, требующие исправлений, характер дефекта и необходимые мероприятия по его устранению. Регистрируются также дефекты и неисправности, устраненные силами сменного персонала.

В журнале распоряжений по котельной начальник котельной или лицо, его заменяющее, записывает оперативные распоряжения со сроком их действия более суток. Если распоряжение касается дежурного персонала всех смен, то должны расписаться старшие всех смен.

Если на газопроводах имеются изолирующие фланцы, то в соответствии с Инструкцией по защите подземных трубопроводов от коррозии МЖКХ РСФСР следует вести записи результатов ежегодных измерений в журнале.

В крупных котельных в журнале контроля за присосами записывают результаты определений состава отхо-

дящих газов, выполняемых не реже одного раза в неделю. По составу газов определяют коэффициент избытка воздуха в различных местах газового тракта и величину присосов на отдельных его участках. Одновременно с определением присосов проверяют состояние обмуровки и изоляции.

В журнале предписаний должностных лиц контролирующих органов отмечаются обследования, выполняемые представителями Госгортехнадзора, Госгазнадзора, газосбытовых организаций и др. Если в результате обследования потребителю представлен акт-предписание, то это отмечается в журнале.

В небольших котельных число журналов может быть сокращено (например, распоряжения по котельной можно включить в сменный журнал, журналы дефектов оборудования, средств измерений и автоматики соединить).

Приемка и сдача смен. В котельной должен быть утвержденный начальником котельной или лицом, соответствующим ему по должности, график работы дежурного персонала. Замена одного дежурного другим допускается лишь с разрешения лица, утвердившего график.

Дежурный, приступая к работе, должен принять, а после окончания работы сдать смену. Сдача и приемка смены оформляется подписями дежурных, сдавшего и принявшего смену. Уходить с дежурства, не сдав смену, запрещается. Принимать и сдавать смену во время пуска и остановки оборудования можно только с разрешения вышестоящего дежурного персонала. Приемка и сдача смены во время ликвидации аварии запрещается. В этом случае пришедший на смену оператор должен помогать дежурному оператору. Нельзя сдавать смену больному оператору или явившемуся на смену в нетрезвом состоянии.

При вступлении на дежурство необходимо ознакомиться с записями в журналах (сменном и контролирующих лиц). Оператор, сдающий смену, должен ознакомить принимающего смену с режимом работы котла и оборудования, сообщить о ремонтных работах, которые производились или должны производиться.

Принимающий смену оператор должен проверить:

— исправность нормального и аварийного освещения и сигнализации для вызова администрации;

— уровень воды в барабанах паровых котлов и исправность водоуказательных приборов; давление пара; тем-

пературу перегретого пара; давление в водогрейном котле; температуру отходящих газов за котлом; соответствие режима работы котла параметрам, указанным в режимной карте;

— состояние обмуровки котлов и газоходов, взрывных клапанов; исправность предохранительных клапанов и продувочной арматуры;

— положение запорных устройств на газопроводах, шиберов и заслонок в газоходах и воздуховодах работающих котлов, а также находящихся в резерве и на ремонте;

— состояние оборудования ГРП (ГРУ); давление газа на вводе в котельную и перед горелками;

— исправность приборов автоматики безопасности и регулирования, связи и сигнализации;

— исправность питательных и циркуляционных насосов; наличие достаточного запаса воды в питательных баках;

— отсутствие шумов и стуков при работе насосов и тягодутьевых машин;

— наличие необходимых ограждений около вращающихся узлов оборудования; наличие переносных осветительных ламп, противопожарного инвентаря, аптечки.

Если при передаче смены обнаружатся неполадки в работе котлов или оборудования, оператор, сдающий смену, и оператор, принимающий смену, обязаны поставить об этом в известность старшего по смене или начальника котельной и действовать по их указанию.

Все замечания при приемке смены, а также замечания оператора, сдающего смену, за прошедший период работы должны быть записаны в сменном журнале. Сдача и приемка смены оформляются подписями операторов. О приеме смены оператор докладывает старшему по смене или начальнику котельной. Оператор, принявший смену, несет ответственность за неисправности в работе котла или оборудования, возникшие в предыдущей смене и не отмеченные записью при приемке.

11.2. ВКЛЮЧЕНИЕ И ВЫКЛЮЧЕНИЕ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Первичный пуск газа. Выполняется силами специально подготовленного персонала предприятия или пусконаладочной организацией с разрешения и в присутствии представителя газосбытовой организации.

До пуска газа должны быть подготовлены: протоколы проверки знаний обслуживающего персонала котельной, производственные инструкции и схемы, инструкции по пожарной безопасности и технике безопасности, необходимая оперативная документация, а также средства индивидуальной защиты, доврачебной помощи, пожаротушения, набор инструмента для производства газоопасных работ. Затем производят осмотр и контрольную опрессовку газопроводов, проверку исправности и настройку газового оборудования. Работы разрешается вести только после тщательного вентилирования помещения котельной.

При контрольной опрессовке наружных подземных и надземных газопроводов контрольное давление независимо от расчетного давления газопровода должно быть равным 2000 кгс/м^2; падение давления за 1 ч не должно превышать 10 кгс/м^2. Внутренние газопроводы и газопроводы ГРП (ГРУ) подвергают контрольной опрессовке давлением 1000 кгс/м^2; падение давления за 1 ч не должно превышать 60 кгс/м^2. Промежуточные запорные устройства должны быть открыты. В случае, если при контрольной опрессовке падение давления превышает допустимое значение, для обнаружения неплотностей производят секционирование газопровода установкой заглушек в местах расположения запорных устройств.

Заглушку, отделяющую действующий газопровод от подключаемого, удаляют в последнюю очередь, когда есть уверенность в полной готовности котельной к приему газа. Удаляет заглушку специально подготовленный персонал потребителя по наряду на газоопасные работы в присутствии представителя газосбытовой организации. До удаления этой заглушки необходимо убедиться, что все запорные устройства в ГРП (ГРУ) и котельной находятся в закрытом состоянии.

Пуск газа следует производить в светлое время суток. Заполнение газопровода начинают с продувки его газом до вытеснения всего воздуха. Наружный газопровод от места его присоединения к распределительным сетям до ГРП (ГРУ) продувают через продувочный трубопровод перед общим запорным устройством ГРП (ГРУ). При отсутствии продувочного трубопровода перед ГРП (ГРУ) продувку наружного газопровода производят через обводную и продувочный трубопровод ГРП (ГРУ).

Участок газопровода за ГРП (ГРУ) по ходу газа, а также газопроводы низкого давления продувают через

продувочный трубопровод, присоединенный к газовому коллектору котельной. При продувке газовоздушную смесь нельзя выпускать в места, где она может попасть в здания и воспламениться от источников огня. Не допускается оставлять не заполненные газом отдельные участки или ответвления газопроводов. На время продувки приборы учета расхода газа должны быть отключены.

Продувку газа считают законченной, если содержание кислорода по данным анализа пробы, отобранной в конце продуваемого газопровода, не превышает 1%. Отбирать пробу можно через штуцер за краном на продувочном трубопроводе или через штуцер ручного запальника включаемого котла. Окончание продувки можно проверить также сжиганием пробы газа, отобранной в специальный стальной стакан с крышкой (перевернутый вверх дном). Спокойное горение без хлопка указывает, что газопровод заполнен газом.

Газопроводы высокого и среднего давления следует продувать при давлении не более 0,05 кгс/см^2, чтобы скорость движения газовоздушной смеси была небольшой. Это предохранит от перемещения внутри газопровода с большой скоростью окалины и других твердых частиц и возможности искрообразования.

Первичный пуск газа допускается только при наличии разрешения местного органа Госгазнадзора на проведение пусконаладочных работ. Такие работы, как правило, выполняются специализированными организациями. Использование газа для промышленной эксплуатации котельной или котла разрешается местным органом Госгазнадзора после получения положительных результатов пусконаладочных работ и составления режимной карты работы котлов (котла).

Подготовка к работе ГРП (ГРУ). Подготовку ГРП (ГРУ) ведут в соответствии с инструкцией.

Если перед ГРП (ГРУ) имеется заглушка, то ее удаляют в присутствии представителя газосбытовой организации. Затем медленно открывают входное запорное устройство и, убедившись по входному манометру в наличии давления, медленно открывают запорные устройства байпаса. В течение 1—2 мин при давлении 0,05 кгс/см^2 для газопроводов среднего давления и при рабочем давлении для газопроводов низкого давления производят продувку, после чего приступают к настройке оборудова-

ния на газе. Для этого нужно увеличить выходное давление газа запорными устройствами обводной до давления срабатывания предохранительно-сбросного устройства (ПСУ) и при необходимости произвести его поднастройку. Затем понизить выходное давление до рабочего, проверить плотность ПСУ по отсутствию выхода газа из сбросного трубопровода.

Открывают кран на импульсной линии предохранительно-запорного клапана (ПЗК) и вводят молоточек в зацепление. Понижая, а затем увеличивая задвижками байпаса давление газа, проверяют срабатывание ПЗК от понижения и повышения давления газа. Если требуется, то производят корректировку настройки ПЗК.

После проверки настройки ПЗК закрывают запорное устройство байпаса и открывают запорное устройство ПСУ; при этом молоточек ПЗК должен быть выведен из зацепления, кран на его импульсной трубке закрыт, а рычаги должны быть сцеплены.

Для включения регулятора необходимо медленно открыть запорные устройства технологической линии и, вворачивая регулировочный стакан пилота, довести давление газа до рабочего. В случае появления пульсации выходного давления увеличивают расход газа открытием дополнительного продувочного трубопровода. Если пульсация не исчезнет, то необходимо отключить регулятор. Разбирают регулятор и пилот, выявляют и устраняют причину нестабильной работы.

Причинами нестабильной работы регулятора кроме малого расхода газа могут быть несоответствие диаметра дросселей, слабая жесткость пружины или большой ход плунжера пилота, близкое расположение и неправильная врезка импульсных трубок.

После устранения неисправностей в работе регулятора производят его пуск в указанной выше последовательности. Для проверки плотности закрытия регулятора прекращают расход газа. Если выходное давление увеличилось не более чем на 10% от установленного, значит, плунжер плотно перекрыл седло.

Проверку плотности закрытия ПЗК производят следующим образом. При работающем на продувочный трубопровод регуляторе выключают из работы ПЗК и после снижения давления газа до нуля закрывают кран на продувочном трубопроводе. Отсутствие повышения дав-

ления за регулятором в течение 5 мин свидетельствует о плотности закрытия ПЗК.

После проведения проверок ГРП (ГРУ) включают в работу. С помощью мыльной эмульсии проверяют плотность соединений газопроводов и арматуры.

Пуск котельной после длительного перерыва. Пуск котельной после длительного перерыва разрешается при наличии акта о ремонте газопроводов, газового оборудования, систем автоматики, средств измерений, газовых и воздушных трактов, систем вентиляции и электроосвещения, газонепроницаемости перекрытий и стен (для встроенных котельных), а также акта о пригодности котлов для эксплуатации и акта о готовности котельной, составленного комиссией, в состав которой входят представитель газосбытовой организации и ответственный за эксплуатацию котельной (начальник котельной, цеха). Ввод в действие котельной разрешается при наличии: назначенного приказом ответственного за газовое хозяйство, укомплектованного штата котельной, и удостоверений о проверке знаний ответственного лица и обслуживающего персонала; инструкций по эксплуатации и схем газопроводов, графиков плановых текущих осмотров и ремонтов.

Обследование и приемку котельной после длительного перерыва производит комиссия, в состав которой должны входить ответственный за газовое хозяйство и представитель газосбытовой организации. К моменту пуска газа необходимо выполнить следующие работы:

— по котельному залу — проверка состояния приточных жалюзийных решеток, приточных и вытяжных воздуховодов, исправности утепленных приточных клапанов, исправности дефлекторов, правильности их установки и расположения вне зоны ветрового подпора; проверка наличия в дефлекторах шиберов, предусмотренных проектом, исправности устройств для управления шиберами; проверка газонепроницаемости стен и потолков котельных, встроенных в жилые и общественные здания (отсутствие открытых проемов в смежные помещения, отсутствие трещин в штукатурке и т. д.); проверка наличия противопожарного инвентаря;

— по котлам — заполнение включаемых котлов водой и проверка эксплуатационной готовности паровой и водяной систем; проверка правильности отсоединения невключаемых котлов (наличие заглушки после запорного устройства на газопроводе перед котлом, на продувочном

трубопроводе и трубопроводе безопасности, наличие в газоходе за котлом шибера, не имеющего отверстия или кирпичной перемычки); проверка состояния газовых горелок, газопроводов котлов и арматуры на них, наличия и исправности средств измерений, наличия ручных запальников;

— по газовоздушным трактам и тягодутьевым машинам — замена поврежденных и ставших жесткими асбестовых мембран взрывных клапанов на газоходах и топках; установка защитных кожухов; уплотнение мест установки каркасов взрывных клапанов, фронтовых листов; очистка топок и газоходов от мусора и сажи; закладка открытых лазов и уплотнение дверок лазов; проверка исправности и легкости хода шиберов, регулирующих и отключающих устройств, наличия и исправности устройств дистанционного управления; проверка хода ротора тягодутьевых машин (не задевает ли ротор за корпус улитки); устранение неплотностей в газовом тракте и утечек воздуха в воздушном тракте; проверка наличия и правильности крепления ограждений валов и полумуфт; проверка исправности заземления электродвигателей; промывка подшипников керосином и заправка их маслом;

— по ГРП (ГРУ) — ревизия и необходимый ремонт оборудования, настройка оборудования на параметры, предусмотренные проектом;

— по узлу учета расхода газа — проверка правильности установки газового счетчика диафрагмы и присоединения измерительного прибора диафрагмы, герметичности импульсных трубок, сроков поверки; промывка роторов, камеры шестерен и редуктора, заполнение или замена масла, соответствие счетчика минимально возможным расходам газа;

— по средствам измерений — проверка наличия комплекта необходимых приборов, соответствия их шкал расчетным значениям измеряемых параметров, сроков госповерки; правильность изготовления, присоединения и прокладки импульсных трубок, правильность установки запорного устройства перед прибором;

— по системам автоматики безопасности — проверка срабатывания автоматики по всем контролируемым параметрам путем имитации отклонения последних от предельных значений, наличия специалиста по автоматике или

договора на ее обслуживание со специализированной организацией.

Контрольная опрессовка газопроводов и пуск газа выполняются специализированной бригадой газовой службы или специально подготовленным персоналом потребителя в присутствии ответственного за газовое хозяйство и представителя газосбытовой организации.

Выключение ГРП (ГРУ). Эта операция осуществляется дежурным обслуживающим персоналом по письменному распоряжению начальника котельной. Предварительно до выключения ГРП (ГРУ) отключают все работающие котлы, причем перед отключением последней горелки медленно открывают кран на продувочном трубопроводе газового коллектора. Выключение ГРП (ГРУ) производится в последовательности, указанной в производственной инструкции.

Затем делают запись времени и причины выключения ГРП (ГРУ). Если во время выключения были обнаружены какие-либо неисправности в работе газового оборудования ГРП (и котлов), необходимо сделать соответствующую запись в журнале и сообщить ответственному за газовое хозяйство.

При выключении ГРП (ГРУ) на длительное время закрывают запорное устройство перед регулятором; на вводе газопровода устанавливают металлическую заглушку, а задвижку на вводе пломбируют в закрытом состоянии; закрывают краны перед манометрами, которые демонтируют и в необходимых случаях сдают в поверку. Ослабляют пружины ПЗК или снимают грузы (на ПЗК старых конструкций).

Во время перерыва в работе выполняется планово-предупредительный ремонт оборудования, поэтому разборку и консервацию его внутренних подвижных частей производить не следует. При косметических ремонтах помещения ГРП и котельной газовое оборудование необходимо защитить от попадания на него влаги, грязи и пыли.

Остановку ГРП (ГРУ) на длительный период оформляют актом на отключение газа, в котором отмечают все подлежащие исправлению дефекты в оборудовании, импульсных линиях и средствах измерений ГРП (ГРУ).

Отключение систем газоснабжения. О необходимости отключения системы газоснабжения или отдельного котла на длительный период или для ремонта потребитель дол-

жен известить газосбытовую организацию не позднее срока, указанного в договоре на отпуск газа. Отключение производят путем установки металлической заглушки на газопроводе за отключающим устройством (по ходу газа) котельной. На хвостовике заглушки должны быть выбиты диаметр трубопровода, на который можно ее установить, и давление, на которое она рассчитана.

Заглушку разрешается устанавливать персоналу, имеющему право на выполнение газоопасных работ. Отключение оформляется актом с участием представителя газосбытовой организации.

11.3. ОБСЛУЖИВАНИЕ КОТЛОВ

Подготовка котла к пуску. К моменту пуска котла необходимо произвести наружный осмотр и проверку состояния топки, экономайзера, воздухоподогревателя, газопровода и горелок, тягодутьевых машин, газоходов и воздуховодов, предохранительных и взрывных клапанов, средств измерений. Кроме того, следует убедиться в исправности устройств питания котла водой, продувки, отвода пара, а также проверить, сняты ли заглушки, отсоединяющие котел от общих трубопроводов котельной. Шиберы газоходов и воздушно-регулировочные заслонки неработающих котлов должны быть плотно закрыты.

После осмотра приступают к заполнению котла и водяного экономайзера водой при открытых воздушных кранах или приподнятом предохранительном клапане. При наличии пароперегревателя открывают его продувочный вентиль.

Продувочная и спускная арматура должна быть закрыта. Котел медленно заполняют водой до нижнего уровня водоуказательного прибора. Котел считается заполненным и герметичным, если в течение 20—30 мин после заполнения при закрытой питательной арматуре уровень воды не понизится. Температура воды при подпитке котла не должна превышать 90 °С в летнее время и 60 °С — в зимнее. Не разрешается заполнять котел, температура обмуровки которого ниже 0 °С. В этом случае котел должен быть предварительно подогрет.

При пуске котла с большим объемом воды (например, жаротрубного) циркуляционный насос включают после того, как вода нагреется до температуры 35—40 °С. При пуске чугунных котлов насос пускают в действие до включения горелок.

Запрещается вести пуск двух котлов одновременно. Пуск последующего котла можно начинать после установления нормального режима работы предыдущего котла.

Если в котельной имеются котлы, присоединенные к общему газоходу и работающие на другом топливе, то включение котла на газовом топливе разрешается при неработающих других котлах. В случаях, когда остановка котлов недопустима, мероприятия по безопасному пуску котла на газовом топливе определяются инструкцией, утвержденной главным инженером предприятия.

Включение горелок. Пуск котла можно производить только по письменному распоряжению начальника котельной или лица, замещающего его. Порядок включения горелок и последовательность действий оператора зависят от их конструктивных особенностей, расположения на котле, схемы газопроводов котла, наличия приборов автоматики безопасности и других местных условий. Вместе с тем во всех случаях включения горелок следует выполнять некоторые общие требования.

До включения горелок необходимо проверить, закрыты ли запорные устройства газопроводов котла, кроме кранов трубопровода безопасности, затем продуть газом газопроводы котла, постепенно открывая главное запорное устройство. Топки и газоходы котла нужно провентилировать в течение 10—15 мин, для чего открывают шиберы по газовому тракту, воздушно-регулировочные заслонки, гляделки и лючки. Если для вентилирования топки используется дутьевой вентилятор, то все гляделки и лючки должны быть закрыты, а шибером регулируют тягу и устанавливают разрежение в топке в пределах 1,5—2 кгс/м^2. Вентилирование топки является ответственной, но плохо контролируемой по внешним признакам операцией. Поэтому единственным надежным методом проверки, особенно для котлов с большим объемом топочного пространства, следует считать анализ проб воздуха, отобранных в верхней части топки.

При зажигании газа с помощью переносного запальника следует учитывать, что газовоздушная смесь, выходящая из устья горизонтально расположенной горелки, отклоняется кверху. Поэтому запальное отверстие должно находиться над горелкой или сбоку от нее, но не ниже горизонтальной оси горелки. Если запальный факел вводится непосредственно в туннель, то запальное отверстие

можно делать и снизу. Диаметр запального отверстия должен быть не менее 50 мм.

Запальник должен иметь фиксатор глубины ввода. Он должен входить в запальное отверстие на такую глубину, при которой в поток газовоздушной смеси попадала бы только половина запального факела. Если запальный факел окажется вне потока смеси, то последняя не воспламенится, а если запальный факел полностью войдет в поток, он может быть сорван. В обоих случаях топка и газоходы заполнятся газовоздушной смесью.

Для включения многофакельных горелок (инжекционных, подовых, форкамерных) факел запальника направляют сверху под углом к ближайшим газовыходным отверстиям горелки или трубки «бегущего огня», от горящих факелов которых зажигаются последующие факелы. Для включения горелок типа БИГ факел запальной горелки подносят с внешней (тыльной) стороны.

Запальник зажигают при давлении газа 50—100 кгс/м^2, если горелки работают на низком давлении, и около 1000 кгс/м^2, если на среднем. После того как запальник зажегся, давление можно несколько увеличить, постепенно открывая кран запальника. Затем его вводят на необходимую глубину в запальное отверстие. При этом нужно следить за пламенем запальника. Срыв этого пламени чаще всего происходит в самом запальном отверстии, где скорость воздуха, поступающего в топку за счет разрежения, достаточно высока. В случаях, когда факел запальника погас, его необходимо немедленно удалить из топки. Повторное включение разрешается только после устранения причины неустойчивого горения запальника, вентилирования топки и газоходов. Если на котле установлено несколько горелок, то включать их следует поочередно. В случаях, когда гаснет одна из включенных горелок, нужно немедленно прекратить подачу газа на эту горелку.

При включении горелок следует стоять сбоку от запальных отверстий или гляделок, чтобы не пострадать при случайном выбросе пламени из топки. После включения всех или растопочных (на котлах ПТВМ) горелок кран на запальник закрывают, а запальник закрепляют на определенном месте. Затем под рабочим давлением газа проверяют плотность места присоединения горелок к газопроводам путем нанесения на них мыльной эмульсии.

Многофакельные инжекционные горелки низкого давления, не имеющие стабилизаторов, зажигают при открытых воздушно-регулировочных заслонках и минимальном давлении газа. При наличии факелов у всех отверстий давление газа перед горелкой повышают и затем медленно приоткрывают заслонку для подачи первичного воздуха. Полностью закрывать заслонку, особенно при включении горелок у котлов с малой высотой топки, не следует. Горелки с пластинчатым стабилизатором (ИГК) зажигают при ограниченно открытых воздушно-регулировочных заслонках.

Горелки с принудительной подачей воздуха и инжекционные среднего давления зажигают при небольшой подаче воздуха в горелку. При наличии устойчивого пламени медленно и поочередно увеличивают подачу газа и воздуха до тех пор, пока стабилизатор не разогреется до светло-красного цвета. После этого устанавливают необходимый режим работы горелки в соответствии с режимной картой.

На котлах ПТВМ сначала включают растопочные горелки, а остальные — по мере надобности, причем зажигаются эти горелки от горящего факела растопочных. При этом желательно, чтобы число включенных с обеих сторон котла горелок было одинаковым.

Для обеспечения плавного подъема давления в паровом котле растопку ведут при малом разрежении (1—2 кгс/м^2) и увеличенных расходах воздуха в топке. Если водяной экономайзер имеет обводный газоход, то отходящие газы из котла направляют через этот газоход. При отсутствии обводного газохода для предупреждения сверхдопустимого нагрева воды в экономайзере воду направляют по сгонной линии в деаэратор или питательный бак.

Длительность растопки зависит от конструкции котла, водяного объема, условий циркуляции воды, типа обмуровки и колеблется от 2—3 ч, например, для котлов ДКВР, до 8 ч для жаротрубных котлов. Для постепенного и равномерного нагрева керамических стабилизаторов и футеровки топки горелки должны работать с минимальной тепловой нагрузкой не менее 30—40 мин. После достижения рабочего давления в котле необходимо в присутствии начальника котельной отрегулировать предохранительные клапаны и проверить работу указателей уровня воды в барабане. Строго запрещается заклинивать рычаги клапанов, перемещать по рычагу или добавлять

груз после регулировки; работать с неисправными клапанами.

Порядок продувки нижнего коллектора и барабана котла при растопке, включения в работу пароперегревателя, экономайзера и воздухоподогревателя, приборов и устройств автоматики безопасности и регулирования должен быть подробно изложен в производственной инструкции.

Регулирование работы горелок. Во время работы котла необходимо следить за тем, чтобы давление газа и воздуха (при наличии дутьевого вентилятора) перед горелками, а также разрежение в топке соответствовали данным, приведенным в режимной карте. О процессе горения правильнее всего судить по приборам анализа отходящих газов, показывающим содержание в них кислорода, а в топке небольшого котла — по цвету пламени: если пламя вытянутое и имеет темно-желтую окраску, то это говорит о недостатке воздуха, а если пламя становится коротким и имеет ослепительно-белую окраску, то о его избытке.

Регулировать работу котла можно двумя способами: изменением тепловой мощности всех горелок, установленных на котле, или отключением их части. Способ регулирования зависит от местных условий и должен быть указан в производственной инструкции. Изменение тепловой мощности горелок допустимо в том случае, если она не выходит за пределы устойчивой работы, что может привести к отрыву или проскоку пламени. Выключение части горелок допустимо, если количество их больше двух. Основным недостатком этого способа регулирования является неравномерное распределение тепловых потоков, или тепловой перекос в топке, что может привести к нарушению прочности котла.

Регулировать работу отдельных горелок следует в два-три приема, медленно и постепенно изменяя расход воздуха и газа. При уменьшении тепловой мощности сначала уменьшают подачу воздуха, а затем газа; при увеличении тепловой мощности сначала увеличивают подачу газа, а затем воздуха. При этом следует изменять разрежение в топке, меняя положение шибера за котлом или лопаток направляющего аппарата перед дымососом. При необходимости повышения тепловой мощности горелок в котлах с разрежением в топке предварительно увеличивают разрежение в топке; при снижении тепловой мощности сна-

чала регулируют работу горелок, а затем уменьшают разрежение в топке.

При регулировании работы котла нельзя допускать снижения давления пара более чем на 1 кгс/см^2, если увеличивается его отбор из котла, и повышения давления более чем на 1 кгс/см^2, если снижается отбор пара, но не выше давления, на которое отрегулированы предохранительные устройства. Температура перегретого пара при наличии регулятора не должна отклоняться от нормальной более чем на 10 °С.

Остановка котла. Остановка котла, за исключением аварийных случаев, допускается только по письменному распоряжению начальника котельной или лица, его заменяющего. В отопительных котельных небольшой теплопроизводительности очередность остановки котлов при повышении температуры наружного воздуха определяется предварительной записью лица, ответственного за работу котельной.

Для выключения горелок ручного обслуживания уменьшают их тепловую мощность до минимальной. После этого в горелках с принудительной подачей воздуха закрывают последовательно рабочую и контрольную задвижки (краны), открывают кран трубопровода безопасности, затем закрывают шибер на воздуховоде перед горелкой. Если воздух поступает от индивидуального дутьевого вентилятора, то после отключения всех горелок его останавливают.

Для выключения инжекционных горелок после снижения их тепловой мощности до минимальной закрывают воздушно-регулировочную заслонку, а затем действуют в указанной выше последовательности. В горелках типа ИГК воздушно-регулировочную заслонку необходимо оставлять открытой, чтобы через горелку проходил воздух и охлаждал пластины стабилизатора, так как воздействие нагретой футеровки может вызвать их коробление.

После выключения горелок закрывают общее на котел запорное устройство. Индивидуальный дымосос остается в работе 10—15 мин. В случае остановки всех котлов закрывают запорное устройство на вводе газа в котельную.

Порядок отключения котла от паровой магистрали, подпитки и продувки, продолжительность его расхолаживания должны быть изложены в производственной инструкции. Быстрое охлаждение может привести к нару-

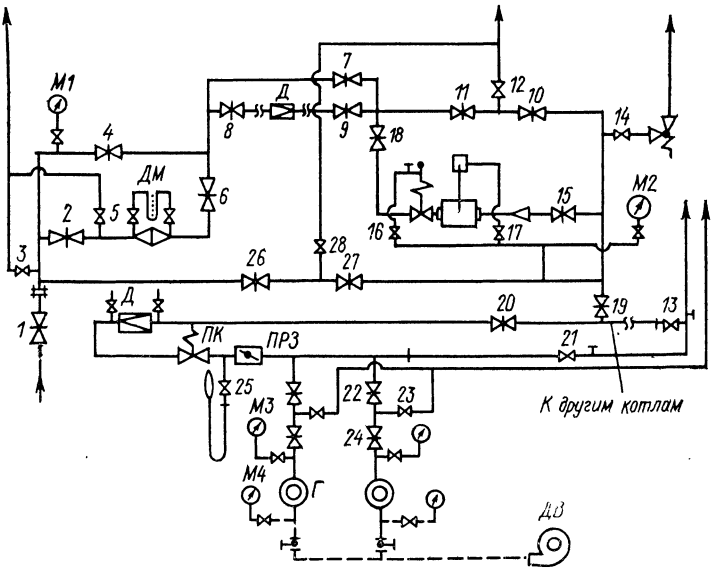


Рис. 11.1. Схема газопроводов, прилагаемая к инструкции (пример).
ДМ — дифференциальный манометр; *Д* — диафрагма; *ПК* — предохранительный клапан; *ПРЗ* — поворотно-регулирующая заслонка; *г* — горелка; *ДВ* — дутьевой вентилятор; *М1—М4* — манометры; *1—28* — запорные устройства; *Г* — горелка.

шению герметичности котла. Спуск воды из котла разрешается, если температура ее не превышает 45 °С.

В случаях временного уменьшения расхода теплоты или пара один или несколько котлов по распоряжению начальника котельной могут быть переведены в горячий резерв. Это позволяет при необходимости быстро увеличить выработку тепла или пара. В горячем резерве воду из парового котла не спускают, а поддерживают на верхнем допустимом уровне, но отключают котел от паропровода.

При ремонте, консервации или длительной остановке на летний период газопровод котла должен быть отключен с установкой заглушки за запорным устройством. Кран на продувочном трубопроводе должен быть закрыт и за ним должна быть установлена металлическая заглушка.

Производственные инструкции. В производственных инструкциях по обслуживанию котлов, газового и вспомогательного оборудования систем автоматики должны быть указаны: порядок пуска, остановки и обслуживания

во время нормальной эксплуатации и в предаварийных режимах; порядок проведения ремонтных и аварийно-восстановительных работ; требования по технике безопасности, охране труда и противопожарным мероприятиям, специфические для данной установки. Инструкции обязательно дополняются схемами с указанием всех запорных и регулирующих устройств. Каждое из этих устройств в натуре обозначается номером, который соответствует номеру, указанному в инструкции и на схеме.

Ниже, в качестве примера, приводится инструкция по включению в работу ГРУ, включению и остановке котла, оснащенного автоматикой «Контур» (Р25). Схема, соответствующая этой инструкции, приведена на рис. 11.1.

1. Подготовка к пуску газа

1.1. Сделать контрольную опрессовку газопровода от запорного устройства (ЗУ) *1* на вводе в ГРУ до рабочего (последних по ходу газа) ЗУ горелки (*24*); промежуточные ЗУ и ЗУ на приборы должны быть в открытом состоянии, а ЗУ на продувочных газопроводах и безопасности — закрыты.

1.2. Закрыть ЗУ перед ГРУ *2*, *18*, на байпасе ГРУ *4*, *26*, *27*, *10*, *11* учета расхода газа *7*, на импульсных линиях к ПЗК и ПСУ *16*, *14*.

1.3. Проверить: закрыты ли ЗУ на газопроводе перед котлом (*20*) и перед запальником (*25*); настроено ли ПСУ на необходимый предел срабатывания; вывернут ли винт пилота регулятора; надежность сочленения ЗУ *24* с электроприводом; все ли ключи управления на щите котла поставлены в положение «Отключено»; готовность автоматики и сигнализации к работе; наличие электропитания всех приборов; отсутствие записей, запрещающих работу котла на газовом топливе.

1.4. Подготовить котел к работе согласно инструкции по эксплуатации котлов и вспомогательного оборудования.

1.5. Открыть шиберы на газоходах за котлом и на воздуховодах включаемого котла.

1.6. Ключи на щите котла поставить в положение «Ручное».

1.7. Включить в работу дутьевой вентилятор и дымосос.

1.8. Отрегулировать разрежение в топке 2—3 кгс/м^2 и давление воздуха 10—20 кгс/м^2, провентилировать топку и газоходы включаемого котла.

1.9. Отобрать пробу воздуха из верхней части топки и проверить ее прибором на отсутствие газа.

1.10. Переключатель управления общего ЗУ котла на щите установить в положение «Ручное».

1.11. Закрыть заслонки на воздуховоде перед горелками.

2. Пуск газа и включение в работу оборудования ГРУ и котельной

2.1. Ввести в зацепление рычаги ПЗК.

2.2. Открыть ЗУ *13* на продувочном трубопроводе коллектора котельной.

2.3. Открыть ЗУ *1* на вводе перед ГРУ, убедиться, что давление газа по манометру *М1* достаточное.

2.4. Медленно вворачивая винт пилота, установить давление за регулятором, соответствующее режимным картам.

2.5. Ввести в зацепление молоточек ПЗК и открыть краны *16*, *14* на импульсной трубке ПЗК и ПСУ.

2.6. Ключ выбора топлива на щите котла поставить в положение «Газ».

2.7. Сцепить рычаги *ПК* котла, а молоточек положить на планку.

2.8. Со щита котла закрыть направляющие аппараты вентилятора.

2.9. Открыть полностью *ПРЗ* со щита котла или вручную.

2.10. Открыть ЗУ *21* на продувочном трубопроводе котла.

2.11. Определить качество продувки газопровода по анализу пробы газа, отобранной через запальник.

2.12. При хороших результатах проверки продувки зажечь запальник.

2.13. Внести запальник в топку котла, расположив его у амбразуры горелки, убедиться в устойчивом факеле на запальнике.

2.14. Ключ защиты установить в положение «Розжиг».

2.15. Закрыть ЗУ *23* трубопровода безопасности.

2.16. Открыть контрольное ЗУ горелки (*22*).

2.17. Убедившись в наличии факела в топке, открыть ЗУ *24* перед горелкой.

2.18. После воспламенения газа приоткрыть заслонки на воздуховоде перед горелкой, установить давление газа перед горелкой, соответствующее минимально устойчивому режиму.

2.19. Ключами на щите управления установить нужное давление воздуха и разрежение, постепенно открывая полностью заслонки на воздуховоде перед горелкой.

2.20. Ключ защиты КЗ на щите котла перевести в положение «Включено».

2.21. Закрыть ЗУ *13* на продувочном трубопроводе.

2.22. Вторую горелку включить аналогично. Закрыть ЗУ *25* на запальнике, вынуть запальник из топки.

2.23. Ввести в зацепление молоточек ПК котла.

2.24. При достижении 40% тепловой мощности горелки перевести на автоматическое регулирование, для чего ключи на щите котла поставить в положение «Автомат». Сделать записи в сменном журнале.

3. Остановка котла

3.1. Ключи на щите управления перевести в положение «Дистанционно».

3.2. Выключить горелки, для чего, манипулируя ключами на щите управления, поочередно уменьшать перед горелкой давление воздуха (вторичного) и газа, поддерживая постоянное разрежение; при этом не допускать видимой неполноты сгорания топлива (отрыва факела, коптящих языков). Довести до минимального устойчивого режима.

3.3. Закрыть рабочее ЗУ горелки (*24*) вручную.

3.4. Закрыть контрольное ЗУ горелки (*22*) и кран перед манометром *М3*; открыть ЗУ *23* на трубопроводе безопасности.

Примечание. До выключения последней горелки котельной открыть ЗУ *13* продувочного газопровода коллектора котельной.

3.5. Ключ выбора режима установить в положение «Выключено».
3.6. Закрыть ЗУ *20* на котел.
3.7. Вывести *ПК* из рабочего положения.
3.8. Через 10—15 мин выключить дымосос и вентилятор.
3.9. Выключить щит управления котлом.

4. Выключение ГРУ

4.1. Проверить, открыто ли ЗУ *13* на продувочном газопроводе коллектора котельной.
4.2. Закрыть ЗУ *16* на импульсной трубке ПЗК.
4.3. Закрыть ЗУ *2* перед ГРУ.
4.4. Расцепить рычаги ПЗК.
4.5. Вывернуть винт пилота.
При остановке котельной к ГРУ на ремонт или сезонный перерыв в работе за общим ЗУ (*2*) установить металлическую заглушку.

5. Переход работы ГРУ с регулятора на байпас без остановки котельной

5.1. Предупредить обслуживающий персонал и оператора котельной об изменении в работе регуляторной установки и о подаче газа по ее байпасу.
5.2. Закрыть ЗУ *16* на импульсной трубке ПЗК.
5.3. Винтом пилота регулятора медленно уменьшить давление газа (на 10—20 кгс/м^2 на низком давлении, на 0,02—0,05 — на среднем).
5.4. Открыть ЗУ *10* на байпасе регуляторной установки.
5.5. Медленно открывая ЗУ *11* восстановить давление до первоначального рабочего.
5.6. Закрыть медленно ЗУ *18* перед ГРУ, наблюдая при этом за давлением по манометру *М2* и поддерживая на заданном значении ЗУ *11*.
5.7. Закрыть ЗУ *15* и *17*.
5.8. Опустить клапан ПЗК.

6. Переход работы ГРУ с байпаса на регулятор давления

6.1. Предупредить операторов об изменении режимов работы регуляторной станции.
6.2. Проверить, открыты ли ЗУ *17* на импульсной трубке регулятора, ЗУ *15* на газопроводе после ГРУ, вывернут ли полностью винт пилота регулятора.
6.3. ЗУ на байпасе снизить давление газа (на 10—20 кгс/м^2 на низком давлении, на 0,02—0,05 — на среднем).
6.4. Ввести в зацепление рычаги ПЗК.
6.5. Открыть ЗУ *18* на газопроводе перед ГРУ.
6.6. Медленно вворачивая винт пилота, восстановить давление газа.
6.7. Медленно закрывая ЗУ *11* на байпасе ГРУ, следить за постоянством давления по манометру *М2*.
6.8. Ввести в зацепление рычаги молоточка и открыть ЗУ *18* на импульсной трубке ПЗК.
6.9. Сделать запись в сменном журнале о включении в работу оборудования ГРУ.

Оперативный контроль работы. Оперативный контроль, осуществляемый персоналом котельной, включает в себя: получение систематических данных и оценку качества работы котлов; оценку состояния вспомогательного оборудования и своевременное выявление его дефектов; оценку экономичности использования газового топлива; составление технической отчетности, представляемой в вышестоящие организации.

Одним из основных условий проведения оперативного контроля является наличие полного комплекта средств измерений, прошедших проверку в установленном порядке. Места установки и характеристики показывающих и регистрирующих приборов определяются проектной организацией.

Средства измерений должны обеспечить возможность контроля в котельной следующих параметров:

— давление газа и воздуха перед горелками;

— расход газа на котел (котлы) при общем годовом потреблении 350 000 м³ *;

— расход воды;

— разрежение в топке, за котлом, перед дымососом;

— температура и давление питательной воды на входе и выходе экономайзера и котла; температура и давление воды в подающем, обратном и подпиточном трубопроводах тепловой сети; давление и температура в рециркуляционной и перепускной линиях котла;

— давление пара в барабане парового котла, давление и температура перегретого пара; давление пара перед горелками при сжигании в них мазута;

— температура воздуха перед воздухоподогревателем и за ним;

— температура отходящих газов за трубным пучком, экономайзером, воздухоподогревателем; содержание кислорода в отходящих газах;

— уровень воды в барабане парового котла;

— расход пара в общем паропроводе;

— температура и количество возвращаемого конденсата;

— температура и давление мазута в мазутопроводах и перед горелками при сжигании в них мазута.

---

* См. «Общие положения о порядке учета и контроля расхода топлива, электрической и тепловой энергии для промышленных, транспортных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых предприятий и организаций». Минэнерго СССР, 1981.

Водоподогревательные установки (бойлеры) оснащают показывающими приборами для измерения: давления и температуры нагреваемой воды в общем трубопроводе перед подогревателями и нагретой воды за каждым подогревателем; давления и температуры греющей воды или давления пара перед подогревателями и температуры воды или конденсата за ними.

Водоподготовительные установки оснащают приборами для измерения: температуры исходной воды; давления и расхода воды перед каждым фильтром; расхода воды, идущей на взрыхление фильтров, на приготовление регенерационного раствора.

Систематически, силами химической лаборатории предприятия или специализированной организации должны проверяться: полнота сгорания газа, состав отходящих газов, коэффициент избытка воздуха, содержание оксида углерода в воздухе помещения котельной, соответствие режима работы котла режимной карте в период проверки.

Режимные карты. Режимные карты работы котлов составляет наладочная организация по результатам проведенных теплотехнических испытаний. Они содержат значения параметров, соблюдение которых обеспечивает безопасную и экономичную работу в требуемом диапазоне производительности. Испытания должны проводиться не реже одного раза в три года. Срок этот может быть увеличен с разрешения местного органа Госгазнадзора, если нет нарушений в работе котла. Испытания следует проводить также после капитального ремонта или реконструкции котла, замены горелок.

Режимная карта является основным оперативным документом, в соответствии с которым эксплуатационный персонал регулирует работу котла при изменениях его теплопроизводительности. В котельной на каждом котле должен быть дубликат режимной карты с указанием даты ее составления, подписанный представителем наладочной организации. В карте не менее чем для четырех режимов работы должны быть указаны: давление газа и воздуха перед горелками, расход газа, температура и состав отходящих газов, разрежение в топке и другие данные.

Ниже в качестве примера приводится форма режимной карты. Карта должна быть дополнена графиками-зависимостями давления газа от производительности котла и давления воздуха от давления газа (при горелках с принудительной подачей воздуха) для возможности регули-

Режимная карта

для парового котла № ——— типа ———, оборудованного горелками с принудительной подачей воздуха, в котельной

Параметры и показатели	Паропроизводительность, %			
	40	70	100	120
Регулируемые				
Число работающих горелок				
Давление, кгс/м²:				
газа перед горелками				
воздуха за вентилятором				
воздуха перед горелками				
Вторичный воздух (в зависимости от местных условий)				
Разрежение, кгс/м²:				
в топке				
за котлом				
перед дымососом				
Контролируемые				
Давление пара, кгс/см²				
Температура перегретого пара, °С				
Расход газа, м³/ч				
Низшая теплота сгорания, ккал/м³				
Паропроизводительность, т/ч				
Температура отходящих газов, °С:				
за котельным пучком				
за экономайзером				
за воздухоподогревателем				
Состав отходящих газов, %:				
за котельным пучком CO_2'				
O_2'				
за экономайзером CO_2'				
O_2'				
за воздухоподогревателем CO_2'				
O_2'				
Коэффициент избытка воздуха:				
за котельным пучком				
за экономайзером				
за воздухоподогревателем				
КПД брутто котла				
Расход условного топлива на 1 Гкал, кг у. т./Гкал				

Представитель наладочной организации ———————
(должность, подпись)

Дата составления карты ———

рования работы котла не только при указанных в карте, но и при промежуточных нагрузках.

Если котел оборудован инжекционной горелкой, в режимной карте вместо «давление воздуха» следует указывать положение устройств, регулирующих подачу воздуха (зазор воздушно-регулировочной заслонки, зазор шторок на поддувальном листе, положение профильных окон и заслонки на байпасирующем окне пропорционизатора воздуха и др.).

Помимо режимных карт наладочная организация должна разработать график распределения нагрузки между котлами, что особенно важно для котельных с переменной теплопроизводительностью.

При работе двух и более котлов распределение нагрузки между котлами можно производить следующими методами: последовательной загрузкой наиболее экономичных по значениям КПД котлов, а затем менее экономичных; загрузкой котлов пропорционально их номинальной производительности (котлы одинаковой производительности загружаются поровну); поддержанием равенства относительных приростов расхода топлива. Относительный прирост расхода топлива — это дополнительный расход его, отнесенный к дополнительной производительности. Наиболее экономичным распределением нагрузок между котлами является определение режимов работы котлов, при которых относительные приросты расхода топлива были бы одинаковыми.

Если в котельной имеется групповой экономайзер, он также подлежит периодическим теплотехническим испытаниям, по результатам которых наладочная организация составляет режимную карту экономайзера.

11.4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТЯГОДУТЬЕВЫХ УСТРОЙСТВ

Общие сведения. Основными условиями нормальной работы газовых и воздушных трактов являются: содержание в соответствующем состоянии газоходов и воздуховодов, правильная эксплуатация дымососов и дутьевых вентиляторов, соблюдение сроков планово-предупредительных осмотров и ремонтов, высокая плотность (герметичность).

Об изменении сопротивления газового или воздушного тракта и отдельных его участков можно судить по изменению разрежения или давления, измеряемого в начале

и в конце тракта или участка. Сопротивление газохода, находящегося под разрежением, определяют по разности значений разрежения в конце и в начале тракта (участка). Сопротивление участков тракта, находящихся под давлением, определяют по разности давлений в начале и в конце участка.

Отклонение сопротивления газового (воздушного) тракта от значений, обычных для данной производительности котельной, указывает на наличие нарушений в работе тракта. Ухудшение тяги может быть вызвано: поступлением в топку избыточного количества воздуха (повысился коэффициент избытка воздуха); усиленной работой вытяжной вентиляции, создающей разрежение в помещении котельной; повышенными присосами воздуха по тракту; наличием в сборном газоходе и в основании дымовой трубы влаги, из-за испарения которой снижается температура отходящих газов.

Загрязнение газоходов может происходить за счет отложения сажи, особенно при систематической работе на мазуте, примесей пыли и мелкого песка, вносимого в топку и газоходы с воздухом, продуктов коррозии металла, образующихся на поверхностях экономайзеров и воздухоподогревателей. Влага в газоход может попасть при недостаточной его защите от грунтовых вод, а в основании трубы может скапливаться конденсат, часто образующийся в металлической части составных труб.

Резкое ухудшение тяги происходит в случаях: завала в газоходе или разрушения кладки; поступления воздуха через порванные или открытые взрывные предохранительные клапаны; самопроизвольного закрытия регулирующих шиберов; ненормальной работы дымососа; задувания устья дымовой трубы при порывистом ветре.

Сопротивление газового тракта меняется при изменении производительности котла, т. е. при увеличении или уменьшении количества сжигаемого газа и соответствующего изменения объема отходящих газов. Увеличение объема продуктов сгорания и значительные присосы в тракте приводят к увеличению скорости газов. Это вызывает резкий рост потерь давления, так как сопротивление движению находится в квадратичной зависимости от скорости. Например, если скорость газов на всех участках тракта увеличится в 2 раза, то давление, создаваемое вентилятором, должно быть увеличено в 4 раза.

Включение электродвигателя вентилятора разрешается при закрытом шибере (заслонке) или направляющем аппарате. Только после того как ротор вентилятора достигнет нормальной частоты вращения, можно постепенно открывать шибер или направляющий аппарат. Это исключает большую перегрузку электродвигателя в момент пуска и отключение его защитными устройствами электрической сети.

В случаях, когда необходима замена вышедшего из строя электродвигателя, вновь устанавливаемый электродвигатель должен точно соответствовать снятому по частоте вращения и мощности. В противном случае изменится подача и давление, которые должны быть обеспечены вентилятором.

Нарушения в работе вентиляторов могут быть вызваны: износом лопаток; налипанием пыли на лопатках; неправильным положением направляющего аппарата; присосом воздуха через неплотности кожуха и по валу ротора в дымососах; перетоком воздуха через плохо отключенный соседний дымосос; вращением ротора в обратную сторону при неправильном присоединении электродвигателя после производства ремонтных работ.

При работе радиальных вентиляторов возникают шумы и вибрация, причинами которых являются: плохая балансировка вращающихся узлов или неисправность подшипников; ослабление растяжки ротора, ослабление фундаментных болтов и др. У вентиляторов двустороннего всасывания вибрация, неравномерный износ и разбалансировка ротора могут быть вызваны различной степенью открытия шиберов или направляющих аппаратов.

Во время работы дымососа и дутьевого вентилятора необходимо: следить за показанием амперметра, по которому судят о нагрузке электродвигателя (на шкале прибора должна быть нанесена красная черта, переход за которую недопустим); проверять температуру подшипников электродвигателя; проверять состояние отключающих и регулирующих устройств; следить за температурой отходящих газов перед дымососом, которая не должна превышать установленной.

Особого внимания требуют подшипники вращающихся узлов. Превышение температуры наружных поверхностей подшипников более 65—70 °С и появление стука в них являются признаками их неисправности. Обслуживающий персонал обязан следить за поступлением необходимого

количества воды на охлаждение подшипников, производить добавку смазки, проверять уровень масла. Смазку и масло следует хранить в закрытом помещении.

Дымосос или дутьевой вентилятор должен быть выключен в аварийном порядке в случаях: стука в подшипниках машины и электродвигателя, сильной вибрации; появления дыма или искр из электродвигателя, характерного гула в нем, вызванного обрывом одной из фаз питания; роста температуры масла сверх допустимого.

Регулирова́ние подачи дымососов и дутьевых вентиляторов можно производить с помощью шибера (заслонки), осевым направляющим аппаратом, изменением частоты вращения рабочего колеса. Регулирование шибером (заслонкой) является простым, но нежелательным способом, так как давление, развиваемое при этом вентилятором, не используется, его КПД падает, что приводит к перерасходу электроэнергии. Экономия электроэнергии в пределах 15—20% достигается при использовании осевого направляющего аппарата.

Наиболее экономичным является регулирование частоты вращения электродвигателя с помощью специальных устройств: гидромуфт, электромагнитных муфт, электродвигателей с двумя степенями скорости. Для управления регулирующим органом с рабочего места машиниста должен быть предусмотрен дистанционный, т. е. расположенный на соответствующем расстоянии, привод.

Обычно разрежение регулируют шибером, находящимся непосредственно за котлом. Однако при этом весь газовый тракт остается под повышенным разрежением, что нежелательно в связи с возможными присосами воздуха. Если позволяют местные условия, то желательно регулировать тягу шибером или поворотным клапаном, расположенным наиболее близко к трубе или дымососу, так как при этом уменьшается разрежение во всем газовом тракте, а следовательно, снижаются и присосы в него воздуха.

Устройства для управления шиберами должны быть выведены к фронту котла и иметь указатель положения шибера. Шиберы должны иметь фиксаторы положения.

Обслуживание тягодутьевых машин газовоздушных трактов. Проверку работы дымососов и вентиляторов следует производить ежедневно. При этом проверяют: характер шума машин (наличие ударов, вызванное задеванием ротором корпуса машины, или повышение тона

звука, вызванное перегревом подшипников); вибрацию машин, нагрев электродвигателя; исправность направляющих аппаратов; наличие металлических ограждений вращающихся частей; состояние тепловой изоляции (если она предусмотрена); исправность заземления электродвигателя; прочность крепления вентилятора и двигателя; уплотнение места прохода вала через кожух вентилятора; поступление воды на охлаждение подшипников (если это предусмотрено); состояние ограждающих сеток у высасывающих патрубков дутьевых вентиляторов.

Не реже одного раза в неделю следует проверить наличие смазки в подшипниках; долить масло, прочистить отверстия в маслоуказателях; проверить величину вибрации машины и прослушать механизм; проверить плотность обмуровки, газоходов, воздуховодов; проверить систему управления шиберами и направляющие аппараты.

Плановый ремонт машин состоит в следующем: разъединение и проверка состояния полумуфт; частичное вскрытие механизмов и направляющих аппаратов; проверка состояния уплотнений подшипников, рабочих колес и вала; замена изношенных деталей; проверка, промывка и заправка смазкой подшипников электродвигателей; гидравлическое испытание систем охлаждения; проверка контура заземления. При необходимости замены износившихся лопаток кожух вскрывают. Лопнувшие швы кожуха должны быть заварены. До установки ротора на место промывают подшипники и прошлифовывают шейку вала. Затем ротор устанавливают и подвергают балансировке. У дымососов одностороннего всасывания зазор между ротором и кромкой входного патрубка должен быть не более 5 мм.

Присосы воздуха в газоходы увеличивают объем и снижают температуру отходящих газов, что вызывает перерасход электроэнергии на работу дымососа и приводит к дополнительным потерям тепла с отходящими газами. Утечка воздуха из воздуховода приводит к излишней загрузке дутьевого вентилятора и перерасходам электроэнергии на его работу.

Местами присоса воздуха в газовый тракт являются: неплотности в шиберах; открытые или плохо уплотненные лазы; трещины в обмуровке котла и экономайзера; гляделки, прочистные дверки и запальные отверстия, неработающие горелки, примыкания сборных кирпичных газоходов к дымососам, примыкания обдувочных лючков и

постоянных обдувочных устройств к обмуровке, разрывы или неплотности предохранительных взрывных клапанов, неплотности в воздухоподогревателе.

Местами утечек воздуха являются: неплотности в шиберах и швах бетонных каналов, проложенных в полу котельной; неработающие горелки; неплотности в воздухоподогревателях, приводящие к утечкам воздуха в сторону отходящих газов. Значительные утечки воздуха могут быть причиной нарушения нормального режима горения и вызывать бесполезный расход электроэнергии на работу дутьевого вентилятора.

Плотность обмуровки проверяют при разрежении 30—40 кгс/м^2, создаваемом дымососом, или при избыточном давлении 10 кгс/м^2 в верхней части топки, создаваемом дутьевым вентилятором. Места неплотностей определяют по отклонению небольшого факела, перемещаемого параллельно проверяемой плоскости. В первом случае через неплотности в обмуровке факел отклонится в сторону обмуровки, во втором — от обмуровки. Если проверку производят на неработающем котле, необходимо предварительно хорошо его провентилировать.

При проверке плотности обмуровки дутьевым вентилятором можно применить вдувание в топку вместе с воздухом дыма от дымовой шашки. Неплотности в кладке обнаружатся по местам выхода дыма.

Места утечек воздуха можно обнаружить на слух или с помощью мыльного раствора, наносимого на места соединений. Рекомендуется забросить во всасывающий патрубок вентилятора одно-два ведра сухого порошкообразного мела, который обозначит места утечки воздуха. В котлах, работающих под наддувом, шиберы газоходов при этой проверке должны быть закрыты.

Проверку присосов воздуха и плотности взрывных предохранительных клапанов следует производить не реже одного раза в месяц, а плановые ремонты газовых и воздушных трактов — не реже одного раза в год. При определении присосов воздуха следует исходить из следующих нормативных значений изменения коэффициента избытка воздуха на отдельных участках тракта при номинальной производительности котла: топки при тяжелой обмуровке — 0,10; газоход пароперегревателя — 0,05; первый котельный пучок — 0,05; второй котельный пучок — 0,10; стальной экономайзер — 0,08; чугунный экономайзер с обшивкой — 0,10; без обшивки — 0,20; воздухоподогрева-

тель (на каждую ступень) — 0,05; газоходы стальные — 0,01, кирпичные — 0,05 на каждые 10 м длины.

Неплотности в обмуровке очищают от кусочков кирпича и раствора, конопатят асбестом и заполняют хорошо перемешанной смесью состава, %: песок речной высушенный 40, асбест сухой молотый 20, песок кварцевый тонкого помола 20, угольный пек 15, кремнефтористый натр 5. Смесь замешивают небольшими порциями на жидком стекле (35 $см^3$ на 100 г смеси).

При обнаружении дымления через неплотности обшивок в местах соединений в стык прокладывают асбестовый шнур и промазывают газоуплотнительной замазкой состава, частей: песок, просеянный через сито, с размерами ячеек 200 мкм 100; асбест волокнистый (длина волокон 2—3 мм) 15; жидкое стекло (с модулем 2,5—2,8) 10. В смесь песка и асбеста небольшими порциями добавляют жидкое стекло и тщательно перемешивают.

11.5. ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Общие положения. Эксплуатация газопроводов и газового оборудования включает следующие виды работ: техническое обслуживание; плановые текущие ремонты; плановые капитальные ремонты; аварийно-восстановительные. Техническое обслуживание и плановые текущие ремонты газового оборудования могут выполняться силами слесарей-газовиков из штата газовой службы предприятия или специализированной организации по договору. Численность ремонтной бригады слесарей, прошедших специальное обучение, зависит от размеров и сложности системы газоснабжения, но должна быть не менее трех человек.

Работы должны выполняться в сроки, предусмотренные календарными графиками, которые должны быть составлены исполнителями и утверждены руководством предприятия. При составлении графиков необходимо учитывать сроки ремонта вспомогательного оборудования и местные условия безопасной эксплуатации. Графики технического обслуживания и текущего ремонта систем автоматического регулирования и безопасности сжигания газа составляют на основании сроков, указанных в эксплуатационных инструкциях заводов-изготовителей.

Результаты выполнения работ по обслуживанию и ремонту газопроводов и газового оборудования следует

отмечать в эксплуатационно-технической документации (журналы работ, ремонтные карты, прилагаемые к паспортам газопроводов или ГРП, ГРУ). Контроль за соблюдением сроков, качества и объемов выполненных работ осуществляет лицо, ответственное за газовое хозяйство.

Обслуживание газопроводов. Наблюдение за состоянием подземных газопроводов и сооружений на них осуществляется обходом трассы газопроводов не реже одного раза в два дня. Наличие газа в колодцах, подвалах и полуподвалах, коллекторах, расположенных на расстоянии 15 м по обе стороны от трассы, следует проверять с помощью газоиндикаторов. Применение для этой цели огня категорически запрещается. При обнаружении газа в каком-либо из сооружений необходимо известить ответственного за газовое хозяйство и аварийно-диспетчерской службы (АДС) газосбытовой организации, так как наличие газа может быть вызвано утечкой его в распределительном газопроводе, и действовать в соответствии с планом ликвидации аварий.

Для обеспечения условий отбора проб воздуха в крышках колодцев, смежных с газопроводом, подземных коммуникаций, должны быть просверлены отверстия диаметром 15—20 мм, а в стены редко посещаемых подвалов должны быть заложены трубки диаметром 1″.

При обходах выполняют следующие работы: проверяют состояние трассы, загазованность колодцев, подвалов, контрольных трубок, выявляют утечки газа по внешним признакам (пожелтение растительности, бурые пятна на снегу, выделение пузырьков газа и т. д.); удаляют с крышек колодцев и ковров снег, лед, грязь; проверяют наличие конденсата в конденсатосборниках; проверяют состояние мест выхода газопровода из земли.

Текущий ремонт подземных газопроводов следует выполнять по мере необходимости, но не реже одного раза в год. Работы включают: очистку колодцев, задвижек и компенсаторов от грязи; устранение перекосов и оседаний крышек колодцев и ковров и их окраску; наращивание или обрезку выводных трубок конденсатосборников, гидрозатворов и контрольных трубок; замену неисправных кранов водосборников; исправление или установку настенных знаков; проверку и закрепление лестниц и скоб в колодцах и ограждений наружных вводов; «разгон» шпинделя задвижки и его смазку; проверку плотности и набивку сальников; проверку плотностей всех

соединений задвижек и компенсаторов с помощью мыльной эмульсии; окраску задвижек и компенсаторов; ремонт отдельных мест стенок колодцев; заделку выбоин и восстановление отмостки.

Проверку плотности подземных газопроводов и состояние их изоляции проверяют не реже одного раза в пять лет с помощью приборов, позволяющих выявлять утечки газа и места повреждения изоляции подземного газопровода без вскрытия грунта, бурового или шурфового осмотра. Эти работы должны выполняться с соблюдением требований соответствующих производственных инструкций. Данные бурового и шурфового осмотров следует заносить в эксплуатационный паспорт газопровода.

При осмотре надземных газопроводов проверяют: состояние изоляции (если она имеется) и окраски труб; состояние опор и устройств защиты газопроводов от падения электропроводов в местах их пересечения; исправность площадок, лестниц и ограждений, защитных козырьков; наличие коррозии или трещин на корпусах арматуры; плотность сальников и наличие смазки в резьбовых соединениях арматуры; отсутствие утечек газа; проходимость продувочных трубопроводов; производят очистку от наледи и снега.

При осмотре внутренних газопроводов проверяют: состояние окраски; состояние опор и креплений; плотность всех соединений, наличие коррозии и трещин на корпусах газового оборудования и арматуры, наличие ограничителей поворота на запорной арматуре и накладных ключей на пробочных кранах.

Текущий ремонт надземных и внутренних газопроводов выполняют по мере надобности, а плановые ремонты — в соответствии с календарным планом. Плановые ремонты включают: закрепление опор; ремонт тепловой изоляции (если она имеется); окраску газопроводов; контрольную опрессовку; ремонт запорной, регулирующей и предохранительной арматуры, установленной на газопроводе.

До начала производства работ ремонтируемый газопровод должен быть отключен от действующего газопровода установкой заглушки за запорным устройством (по ходу газа).

В ремонт запорной и регулирующей арматуры входит: очистка от грязи, старой смазки и промывка (желательно керосином или уайтспиритом), притирка уплотнительных

поверхностей; смазка пробок кранов, штоков задвижек; замена сальникового уплотнения; сборка и проверка легкости хода и отсутствия «биения» шпинделя задвижки («биение» часто приводит к утечкам газа); ремонт ограничителей поворота; углубление риски на пробке крана; замена смазки в самосмазывающихся кранах; проверка плотности задвижек.

Плотность задвижек после ремонта проверяют достаточно простым и надежным способом с применением керосина. Для этого одну сторону затвора покрывают меловым раствором. После просыхания мелового слоя задвижку кладут окрашенной стороной вниз, а сверху на затвор наливают керосин. Если через час на меловой поверхности не появятся керосиновые пятна, задвижку считают плотной.

Обслуживание ГРП (ГРУ). Техническое обслуживание ГРП (ГРУ) рекомендуется осуществлять не реже одного раза в сутки. При этом необходимо выполнить следующие работы: проверить исправность технологического оборудования; сменить картограммы регистрирующих приборов, прочистить перья, сменить в них чернила, завести часовые механизмы, снять показания измерительных приборов и проверить установку их на нуль; проверить перепад давления в фильтре. На оборудовании не должно быть различных приспособлений, не предусмотренных конструкцией, — проволочных скруток, прокладок и т. п.

В ГРП производят: внешний и внутренний осмотр здания; проверку наличия газа в воздухе помещений и проверку плотностей всех соединений и арматуры при наличии загазованности; проверку плотности стен, отделяющих помещение, где расположена отопительная установка; проверку состояния систем отопления (отопительных элементов шкафных ГРП), устройств вентиляции, освещения, телефона; измерение температуры внутри помещения; проверку наличия и состояния противопожарного инвентаря.

Периодически выполняют следующие работы: настройку ПЗК на верхний и нижний пределы срабатывания и ПСУ «на сброс» (не реже одного раза в два месяца); промывку фильтров (по мере надобности, но не реже одного раза в год); сверку показывающих манометров с образцовым (не реже одного раза в шесть месяцев); продувку импульсных трубок к средствам измерений, ПЗК и регу-

лятору давления, проверка отверстий дросселей (не реже одного раза в два месяца).

Показания приборов, результаты осмотров и периодических проверок следует заносить в журнал, который должен находиться в помещении ГРП, а журналы ГРУ и шкафных ГРП должны находиться на рабочем месте дежурного персонала.

Плановый ремонт (ревизию) оборудования ГРП (ГРУ) следует производить не реже одного раза в год. До начала работ необходимо отключить ремонтируемый участок запорными устройствами и установить металлическую заглушку. Плотность запорных устройств определяют по манометру. При необходимости отключение производят предыдущим по ходу газа устройством.

В ремонт ПЗК входят: очистка внутренней полости, очистка и осмотр плунжера и седла, мембраны, рычагов, штока; проверка надежности соединения рычагов со штоком; проверка герметичности обратного клапана в ПКК-40; замена при необходимости мягкого уплотнения плунжера; промывка и смазка трущихся поверхностей; замена сальниковой набивки от рычага; проверка плотности закрытия ПЗК и настройка (при включении газа).

В ремонт регулятора входят: очистка внутренней полости, проверка состояния основного плунжера и пилота, седел плунжеров, мембран, штоков, рычагов; промывка и протирка трущихся частей; проверка свободного перемещения всех подвижных узлов и деталей; смазка узлов и деталей. При осмотре следует обратить внимание на уплотнение плунжера и наличие на нем отпечатка седла. Равномерно отпечатанная окружность указывает на правильную посадку плунжера. Плотность мембран следует проверять воздухом или при включении газа.

При ремонте регулятора необходимо очистить калиброванные отверстия, проверить импульсные трубки и их присоединение. Прочищать калиброванные отверстия жесткой проволокой или стальными иглами нельзя, так как это может привести к увеличению сечения отверстия.

В ремонт ПСУ входят: очистка внутренней полости от грязи, осмотр состояния плунжера, седла, мембран, проверка проходимости сбросного трубопровода воздухом или после подключения газа.

При очистке фильтра корпус внутри протирают ветошью, смоченной в керосине. Очистку сетки сетчатых фильтров, а также разборку кассеты и чистку фильтру-

ющего материала следует производить только вне помещения. Материал освобождают от твердых частиц встряхиванием, а затем промывают в бензоле, ксилоле или другом растворителе. Кассету, заполненную фильтрующим материалом, опускают в сосуд с висциновым маслом и, после того как масло полностью стечет, устанавливают на место. Перфорированный лист должен быть расположен за кассетой по ходу газа.

После окончания ремонта следует проверить работу оборудования ГРП (ГРУ) на режимах, предусмотренных проектом. При обнаружении неисправностей необходимо провести повторную разборку и осмотр. Последний этап работ — проверка плотности всех соединений с помощью мыльной эмульсии.

Обслуживание узлов учета газа. Приборы учета расхода газа являются собственностью потребителя и находятся на его балансе. Обслуживание ротационных счетчиков следует выполнять в следующие сроки: контроль уровня масла в редукторе, смазка счетного механизма и заливка масла — не реже одного раза в неделю; замена масла в редукторе — не реже одного раза в три месяца, промывка счетчика при резком возрастании или колебании перепада давления или стуке — по мере надобности.

Для залива подкрашенной воды в дифманометр последний должен быть отключен от счетчика. Спуск и залив масла в коробки шестерен можно производить только при отключенном счетчике. Для промыва внутренней полости роторы проворачивают специальной рукояткой, через верхнюю горловину заливают бензин (керосин), стекающий через спускной штуцер в посуду. Вращение роторов должно быть легким. При вращении роторов можно убедиться в работе счетного механизма.

Узлы учета расхода газа с расходомерами переменного перепада давления обслуживают специализированные службы или лица, ответственные за учет расхода газа.

Эти работы включают: смену дисковых диаграмм — ежедневно; прочистку перьев и заполнение их специальными чернилами — по мере надобности; проверку нулевого положения пера, продувку и проверку на герметичность импульсных трубок — один раз в две недели; завод часовых механизмов самопишущих приборов — в сроки, указанные в производственной инструкции. На ленточных диаграммах следует отмечать соответствие указанного на них времени фактическому времени.

Обслуживание самопишущих приборов и определение количества газа по диаграммам должны выполнять специально обученные лица.

Обслуживание газогорелочных устройств. Обслуживание газогорелочных устройств включает: проверку плотности прилегания горелки и пропорционизатора воздуха к обмуровке, прочности и устойчивости опор горелок, подачу шприцем смазки в подшипниковые узлы горелок РГМГ при работе на мазуте.

Текущие ремонты следует выполнять по мере необходимости, но не реже одного раза в год. Ремонту подлежат: туннели, огневые насадки, стабилизаторы горения (решетки, горки), защитная обмуровка топочных экранов, торкрет барабанов. При нарушении прочности туннеля (трещины, обгорание, оплавление) следует изготовить новый туннель с соблюдением проектных размеров. При выполнении ремонтных работ необходимо пользоваться соответствующими материалами.

У подовых и форкамерных горелок проверяют и, если это требуется, заменяют газовые коллекторы, ремонтируют кирпичную кладку щелей и смесителей.

В горелках проверяют состояние металла устья горелки, чистоту газовыходных отверстий, состояние лопаток закручивающих устройств, состояние вентиляторов блочных горелок. Для прочистки газовыходных отверстий следует пользоваться проволокой из мягкого металла.

Ремонт горелок в необходимых случаях может быть выполнен персоналом предприятия (котельной) при условии строгого соблюдения всех геометрических размеров горелок данного типоразмера. После установки отремонтированной горелки на место следует проверить соответствие ее работы режимной карте при различной производительности котла.

Обслуживание систем автоматики. Техническое обслуживание систем автоматики выполняется специализированной организацией или персоналом котельной, прошедшим специальную подготовку и получившим удостоверение о допуске к обслуживанию.

Профилактические осмотры, проводимые не реже одного раза в месяц, предусматривают: проверку состояния монтажа (контактов, клеммных винтов, паек и т. д.), наличия смазки в редукторах реверсивных двигателей, обдувку внутренних полостей приборов сухим чистым воздухом давлением до 0,1 кгс/см^2, проверку работоспособности и

настройку приборов автоматики согласно монтажно-эксплуатационным инструкциям. Проверка срабатывания устройств защиты по контролируемым параметрам осуществляется имитацией аварийных режимов.

Обслуживание автоматики предусматривает также выполнение ряда проверок в процессе эксплуатации: состояния приборов с целью обнаружения и устранения мелких дефектов, правильности работы по данным регистрирующих приборов, фиксирующих протекание технологических процессов, исправности электрических соединений внешним осмотром.

Состав работ по ремонту автоматики, выполняемых не реже одного раза в год, устанавливают в соответствии с инструкциями заводов-изготовителей или проектной документацией на устройство автоматики.

При необходимости длительного отключения автоматики, например после окончания отопительного сезона, производят ревизию автоматики (разборка и очистка от грязи, промывка, продувка импульсных линий, зачистка контактов, замена износившихся деталей и т. д.), а также проверку приборов согласно инструкции по их лабораторной проверке. Для защиты от загрязнения и коррозии производится консервация автоматики. При этом приборы (регуляторы, стабилизаторы, щиты, сигнализаторы, датчики, клапана, исполнительные механизмы и т. д.) зачехляют, незащищенные места крепления импульсных трубок снабжают предупреждающими надписями. Неокрашенные металлические детали тщательно очищают и покрывают тонким слоем технического вазелина.

Проверку качества профилактического обслуживания автоматики и правильности записи в журнале учета профилактических работ мастер службы обслуживания осуществляет ежеквартально.

Глава 12

УСЛОВИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗИФИЦИРОВАННЫХ КОТЕЛЬНЫХ

12.1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Организация рабочих мест. Условиями надежной и безаварийной работы являются надлежащее состояние котлов, вспомогательного и газового оборудования, правильная организация труда и рабочих мест персонала, а также прочное знание и строгое выполнение производственных инструкций и требований техники безопасности.

Рабочие места операторов и другого дежурного персонала, а также помещения, где размещены теплообменники, конденсатные баки, тягодутьевые машины, установки водоподготовки, тепловые щиты, пульты управления и автоматики, а также отдельно расположенные измерительные приборы и указатели уровня, должны быть хорошо освещены, а показания приборов должны быть отчетливо видны.

Освещение в котельной может быть обычного исполнения. Если котельная встроена в жилое или общественное здание, то в нем помимо основного освещения нормального исполнения должны быть установлены светильники взрывозащищенного исполнения с отдельной проводкой, причем их выключатель и предохранитель следует располагать вне помещения, у входа в котельную. Это освещение используется при подготовке котельной к пуску.

Расстояние от газовых горелок до стены котельной должно быть не менее 1 м, а при расположении топок котлов друг против друга — не менее 2 м. Если горелки установлены на боковых стенках топки, ширина прохода должна быть не менее 1,5 м для котлов производительностью до 4 т/ч и не менее 2 м — производительностью 4 т/ч и более. Переходные площадки и лестницы должны иметь перила высотой не менее 0,9 м со сплошной обшивкой понизу не менее 100 мм.

Проходы перед фронтом котлов, между котлами и во всех помещениях котельной должны быть свободными, обеспечивающими удобный доступ к оборудованию и приборам. Хранение инструмента, арматуры или каких-либо

изделий и материалов на металлических лестницах и площадках во время обслуживания действующих котлов и установок не допускается. В проходах и местах возможного пребывания персонала все каналы, колодцы, люки и лазы перекрываются заподлицо с полом.

Все вращающиеся части и узлы насосов и тягодутьевых машин, а также электрооборудование защищаются специальными ограждениями или щитками. Электрические кабели и провода на всем протяжении хорошо изолируются, а корпусы электродвигателей и трансформаторов, рукоятки и кожухи пусковых устройств, металлические оболочки и муфты кабелей заземляются.

Температура воздуха в рабочей зоне обслуживающего персонала в холодный и переходный периоды года должна быть не ниже 19 °С, а скорость движения воздуха — 0,2 м/с; в летний период — не выше 28 °С и 0,5 м/с; допустимая относительная влажность не более 70%. Допустимая температура воздуха вне постоянных рабочих мест 17—25 °С. Температура наружной поверхности обмуровки не должна превышать 55 °С, а трубопроводов и оборудования, доступных для обслуживающего персонала, 45 °С.

Наличие в воздухе котельной вредных примесей следует проверять не реже одного раза в месяц силами специализированной организации или лабораторией предприятия, оснащенной соответствующими приборами.

В помещении котельной необходимо иметь аптечки с постоянным наличием в них медикаментов и перевязочных материалов. Около аптечек следует вывесить плакаты, поясняющие приемы первой медицинской помощи.

На видных местах в зонах постоянного пребывания обслуживающего персонала должны быть вывешены производственные инструкции с относящимися к ним схемами, выписки из режимных карт котлов, а также плакаты-напоминания по технике безопасности. На рабочем столе оператора должны находиться: сменный (вахтенный) журнал, суточные ведомости показаний приборов, журнал распоряжений, журнал замеченных дефектов и неполадок в работе котла и оборудования.

Требования пожарной безопасности. В каждой котельной, а в крупных котельных по каждому ее помещению приказом назначается лицо, ответственное за соблюдение правил пожарной безопасности, исправное состояние пожарного инвентаря и первичных средств пожаротушения.

Фамилии и должности этих лиц надписывают на специальных табличках, которые вывешивают в соответствующих помещениях. Котельные должны быть оснащены: пенными и углекислотными огнетушителями, ящиками с песком, асбестовыми полотнами, противопожарным водопроводом, пожарными ведрами, лопатами, топорами и пр., а также средствами связи или оповещения о пожаре.

В применяемых для тушения небольших очагов горения огнетушителях типа ОП пена образуется при реакции нейтрализации, вызываемой взаимодействием двух растворов — кислотного и щелочного. Пена сохраняет свою устойчивость благодаря присутствию при этой реакции специального вещества — пенообразователя (лакричный экстракт, сапонин). При тушении пена плавно растекается и покрывает горящее вещество, изолируя его от невоспламеняющихся зон и окружающего воздуха.

Огнетушитель ОП-5 заполнен щелочью (двууглекислый натрий), растворенной в 8,5 л воды и содержащей пенообразующее вещество. Кислотный заряд, состоящий из сернокислого оксида железа и серной кислоты, находится в стеклянном стакане, закрытом резиновым клапаном. Огнетушитель начинает действовать, если рукоятку клапана повернуть на 180° и перевернуть его вверх дном. Выходящую из спрыска струю рекомендуется направлять от краев очага горения к его центру.

Огнетушители ручные типа ОУ заполнены жидкой двуокисью углерода под давлением около 60 кгс/см^2. Если с помощью маховика открыть вентиль, то двуокись углерода через сифонную трубку начнет поступать в раструб. На выходе из раструба давление жидкости падает до атмосферного, что вызывает ее испарение и резкое охлаждение с образованием похожих на снег хлопьев.

Огнетушители устанавливают или подвешивают на высоте 1—1,5 м от пола до верхней ручки в доступных местах, где нет отопительных приборов, чаще всего у входных дверей помещения. Каждый огнетушитель должен быть обозначен порядковым номером и иметь паспорт установленной формы. Осмотры огнетушителей, а также зарядка, проверка, испытание на прочность пенных огнетушителей и освидетельствование баллонов углекислотных огнетушителей выполняются в сроки, предусмотренные соответствующими правилами и инструкциями.

Песок следует хранить в деревянных или металлических ящиках с плотно закрывающимися крышками.

Песок должен быть сухим, без загрязнений и комков. Около каждого ящика должны иметься две железные лопаты. Асбестовые полотна рекомендуется хранить в металлических закрытых футлярах, периодически их просушивать и очищать от пыли.

Краны противопожарного водопровода должны быть снабжены брезентовыми шлангами с брандспойтами. Соединительные головки кранов и шлангов должны иметь резиновые прокладки; скатанные прорезиненные шланги и брандспойты должны храниться в опломбированных шкафчиках, расположенных вблизи кранов.

Ящики и щиты, где хранится противопожарный инвентарь, ручки лопат и пожарных топоров окрашивают в красный цвет, а металлические части периодически очищают и смазывают для предохранения от коррозии.

В помещениях котельной запрещается хранить легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, сушить на котлах или котельном оборудовании материалы, способные загораться, вести какие-либо работы, не связанные с эксплуатацией котельной, загромождать подходы к противопожарному инвентарю и первичным средствам пожаротушения.

Обтирочные материалы в котельной следует хранить в металлических закрытых ящиках. В помещении ГРП хранить обтирочные материалы запрещается. Пролитые при выполнении ремонтных работ горючие вещества или масла необходимо немедленно убирать.

Загоревшийся в местах утечек газ можно погасить, если забросать пламя песком, набросить на него асбестовое полотно или сбить пламя струей инертного газа, воды, водяного пара. Лучше всего, если это возможно по условиям работы котельной, прекратить подачу газа к месту его воспламенения, так как при этом ликвидируется не только очаг горения, но и утечка газа.

Загоревшуюся одежду человека следует гасить, закрывая ее асбестовым или брезентовым полотном. Загоревшийся мазут, бензин, смазочные масла или другие жидкие горючие вещества нельзя заливать водой, так как при этом они будут растекаться, увеличивая площадь горения. Нельзя также заливать водой карбид кальция, горящие электропровода и электрооборудование, находящиеся под напряжением. Загоревшийся электродвигатель разрешается тушить сухим огнетушителем (углекислотным) или

укрытием его брезентом (матами) только после отключения от электрической сети.

При возникновении пожара дежурный персонал обязан оповестить об этом старшего по смене и пожарную охрану предприятия или городскую пожарную команду и приступить к тушению очага горения с помощью первичных средств пожаротушения. Однако контроль за основными параметрами котельной установки при этом не должен прекращаться. Если под угрозой оказываются котлы или котельное оборудование, то котлы необходимо отключить в аварийном порядке.

Ремонт газопроводов. Производство ремонтных работ на действующем газопроводе разрешается только после отключения ремонтируемого участка, сброса из него газа через продувочные трубопроводы, сбросные линии или специально присоединенные шланги продувки ремонтируемого участка воздухом и установки заглушки. Среда в газопроводе считается безопасной, если содержание газа не превышает 1/5 нижнего предела воспламенения (для природного газа — 1%). Разбирать фланцевые соединения для установки заглушки разрешается при отсутствии давления газа. Уплотнительные прокладки устанавливаются с обеих сторон заглушки.

Перед началом ремонтных работ необходимо убедиться в том, что возможность попадания газа на ремонтируемый участок исключена. При вскрытии газопровода и газового оборудования следует помнить, что находящийся в них газ может образовать взрывоопасную смесь. Поэтому, если при ремонте необходимо выполнять сварочные работы или пользоваться электрическим и другим инструментом, вызывающим искрообразование, следует произвести анализ воздушной среды помещения. Содержание кислорода в воздухе должно быть не менее 20,9%.

Такая же проверка воздушной среды необходима при производстве сварочных работ в помещениях, где проложены газопроводы и имеются действующие котлы, а также в колодцах, коллекторах и т. п. В течение всего времени производства работ помещение (колодец, коллектор) должно хорошо вентилироваться.

На действующем газовом оборудовании, если давление в нем снижено, разрешается подтягивать сальники и болты фланцевых соединений. Замена сальниковых уплотнений на действующем оборудовании не допускается.

Очистку и промывку фильтра разрешается выполнять только вне помещения ГРП или котельной, как можно дальше от производственных помещений или жилых зданий. Пыль и грязь, удаленные из фильтра, пропитанные одорантом, будут длительное время создавать ложное впечатление наличия газа в воздухе.

Ремонт котлов и вспомогательного оборудования. На работающих котлах, пароперегревателях, экономайзерах запрещается производить даже мелкие ремонтные работы: подчеканку швов, подтяжку сальников арматуры, болтов фланцевых соединений, люков, лазов.

Ремонтные работы можно начинать после отключения всех трубопроводов установкой заглушек и газоходов котла от соседних действующих котлов. На паровых котлах давление следует снизить до атмосферного и открыть воздушники. На всех запорных устройствах необходимо вывесить плакаты, предупреждающие о проведении работ и запрещающие включение этих устройств. Открывать люки и лазы котла разрешается после его охлаждения и освобождения от воды.

Работать внутри котла и в газоходах разрешается только по письменному наряду-допуску, подписанному начальником котельной или лицом, соответствующим по должности. При этом разрешается применять только электрические лампы с напряжением не более 12 В. Присоединительный шнур должен быть исправен и защищен резиновой трубкой. Лампы должны быть защищены сеткой, чтобы предохранить от проскока пламени при искрении в патроне.

Очистку и ремонт топок и газоходов разрешается производить после того, как котел полностью остыл и хорошо провентилирован. При температуре 50—60 °С пребывание человека в зоне выполнения работ не должно превышать 20 мин. Температура внутри барабана котла, в котором ведутся работы, не должна быть выше 45 °С. При этом в барабан следует подавать свежий воздух.

После окончания работ необходимо проверить, не остались ли в топке, газоходах или барабане посторонние предметы и инструменты или кто-либо из работавших из-за усталости или потери сознания. Перед закрытием люков и лазов следует проверить наличие и исправность устройств, устанавливаемых внутри котла. Открывать запорные устройства после окончания работ разрешается по письменному наряду-допуску, как и перед началом работ.

Осматривать и ремонтировать насосы и тягодутьевые машины разрешается только после полной остановки и обеспечения невозможности их случайного включения. Ремонт пусковой электрической аппаратуры и штепсельных соединений, замену предохранителей и осветительных ламп должны выполнять только электрики.

12.2. ПОВРЕЖДЕНИЯ И АВАРИИ В КОТЕЛЬНЫХ

Повреждения и аварии в котельных по причинам, вызывающим их, можно разделить на две группы: неправильное сжигание газа или неправильное обслуживание газовых горелок и газового оборудования, приводящие к взрывам газовоздушных смесей; несоблюдение режимов работы и правил эксплуатации котлов и отдельных его элементов.

Аварии, связанные с использованием газа. Взрыв газовоздушной смеси вызывает мгновенное расширение газов, образующихся в результате горения газовоздушной смеси, что приводит к разрушению обмуровки и повреждению котла или повреждению строительных конструкций, а в ряде случаев к травмам обслуживающего персонала. Причинами образования взрывоопасной газовоздушной смеси в топках и газоходах могут явиться неправильные действия обслуживающего персонала и нарушения режима работы горелок, приводящие к отрыву или проскоку пламени, а в помещениях котельной — утечка газа.

Анализ аварий, связанных с использованием газового топлива, показывает, что большинство из них является следствием несоблюдения требований производственных инструкций и неправильных действий персонала во время включения котельной или отдельных котлов. Наиболее частыми причинами образования взрывоопасной газовоздушной смеси являются: неправильная продувка газопроводов; подача газа в горелку до внесения или образования запального факела; неправильное расположение и срыв пламени переносного запальника в топке при включении горелок; преждевременное открытие кранов перед горелками и неправильное манипулирование кранами; попытка розжига соседней горелки от работающей без применения запального факела; недостаточная предварительная вентиляция топки и газоходов при первичном включении горелок или повторном их включении после срыва запального или основного факела.

Причинами загазованности и взрывов при включении горелок могут также быть: неправильная установка или неисправность запального устройства; неплотность запорных устройств и ошибки персонала в фиксации их положения; неисправность средств измерений или неправильная оценка их показаний; включение горелок при неисправной или отключенной автоматике контроля пламени; срыв, отрыв и проскок пламени.

Причинами погасания факела могут быть: кратковременное прекращение подачи газа; срыв пламени при резком возрастании разрежения в топке; погасание факела в случаях, когда содержание газа меньше нижнего или больше верхнего предела воспламенения (засорение газовыходных отверстий, неисправность регулятора давления газа, остановка дутьевого вентилятора или дымососа), а также в случаях неправильных действий эксплуатационного персонала при регулировании тепловой мощности горелок.

Значительная часть взрывов и «хлопков» произошла из-за того, что при пуске котла не было проверено положение запорных устройств перед горелками.

Например, на котле ДКВР-4-13 при кратковременной его остановке в связи с понижением давления газа в городском газопроводе остались открытыми рабочее и контрольное запорные устройства. Подача газа вскоре возобновилась, и газовоздушная смесь воспламенилась от раскаленной обмуровки.

На котле МГ-2 остались открытыми рабочая и контрольная задвижка при срабатывании ПЗК. При последующем розжиге подача газа была возобновлена, а положение запорных устройств не было проверено и газовоздушная смесь заполнила топку до внесения в нее запальника. Аналогичный случай произошел на котле «Энергия-3», где источником огня послужила раскаленная кладка туннеля подовых горелок.

Причиной полного разрушения сборного газохода трех котлов ПТВМ и частично здания котельной явилось поступление в топку одного из котлов газа через задвижки с ручным приводом, оставшиеся открытыми после срабатывания автоматики безопасности.

К разрушению обмуровки, повреждению котла и остановке на длительный период котельной привел взрыв в топке котла ДКВР-10-13. Причина аварии — несоблюдение производственной инструкции: оператор внес за-

жженный запальник в топку, не проверив плотность закрытия отключающих устройств и не провентилировав топку. Задвижки перед одной из горелок были неплотно закрыты, и газ через них проник в топку. Работы по включению горелок проводились в присутствии главного инженера предприятия, который не смог проконтролировать действия оператора. Ответственный за безопасную эксплуатацию газового хозяйства котельной за несколько дней до аварии ушел с работы, а другое лицо директором предприятия не было назначено.

В ряде случаев причиной «хлопков» и взрывов явилось неправильное расположение факела запальной горелки относительно основной горелки, несвоевременное внесение факела в топку или погасание факела в топке. Например, при включении котла ДКВР-20-13 произошел отрыв факела запальной горелки. До повторного внесения зажженного запальника топка не была провентилирована, рабочее и контрольное запорные устройства оставались открытыми и газовоздушная смесь заполнила топку. Произошел взрыв, вследствие которого была разрушена обмуровка котла и выбиты стекла оконных проемов котельной.

Встречаются случаи взрывов на котлах, оборудованных автоматикой, вызванные несоблюдением производственных инструкций. Например, на котле МГ-2 после срабатывания автоматики АГОК по «погасанию пламени» оператор не закрыл рабочий кран. Неоднократные попытки включить котел с применением устройств автоматики не дали результатов, и оператор вывел электромагнитные клапаны ВНД из работы, закрепив их в поднятом положении с помощью подкладок. Газ заполнил топку, и при внесении в нее зажженного ручного запальника произошел взрыв.

При производстве пусконаладочных работ на котле ПТВМ-50 после срабатывания клапана-отсекателя операторы ошибочно установили ключ растопочных горелок из положения «Автоматика» в положение «Вентиляция» вместо «Отключено» и взвели клапан-отсекатель, не перекрыв предварительно рабочий и контрольный запорные устройства. Газ через приподнятый клапан-отсекатель поступил в топку, и при подаче импульса на запальник произошел взрыв.

Встречаются случаи взрывов газовоздушной смеси из-за утечек газа в газопроводах. Так, в одной из котель-

ных взрыв произошел из-за проникновения газа в котельную из подземного газопровода, плотность которого после проведения ремонтных работ не была проверена контрольной опрессовкой. Взрыв в насосном отделении другой котельной произошел в результате загазованности через сбросной трубопровод, заделанный в плиту перекрытия.

Повреждения и аварии котлов. Физическая сущность взрыва котла заключается в следующем. Температура воды в котле, работающем под давлением, больше 100 °С и соответствует этому давлению (см. табл. 1.4). Если нарушена плотность котла, давление в нем падает до атмосферного, при котором температура воды не может быть выше 100 °С. Высвобождающееся тепло вызывает мгновенное образование большого объема водяного пара, сопровождающееся резким повышением давления в котле, следствием чего являются тяжелые разрушения котла и котельной.

Повреждения котлов, приводящие к взрыву, могут возникнуть в случаях: превышения рабочего давления в котле допустимого предела; упуска воды, т. е. снижения ее уровня ниже допустимого предела; перекачки или вспенивания воды, при которых попадание воды в паропроводы может вызвать гидравлические удары и нарушение плотности паропроводов; чрезмерный перегрев отдельных мест поверхности нагрева в топке при большой длине факела или неудачном расположении горелок.

Причинами повреждений чугунных котлов могут быть: неравномерный нагрев отдельных секций при быстрой растопке котла или резкой подаче холодной воды в горячий котел; перегрев отдельных мест секций при сосредоточенном газовом факеле или при наличии отложений накипи и шлама; неравномерный отвод уходящих газов по обеим сторонам котла, что вызывает тепловой перекос, т. е. перегрев одной из сторон, и нарушение плотности котла; неправильная сборка секций или применение непригодных ниппелей при их сборке; низкое качество металла секций.

В жаротрубных котлах причинами образования выпучин являются: в верхней части барабана и жаровых труб — снижение уровня воды ниже допустимого, в нижней части барабана — отложения шлама. Возможно образование трещин: в местах перехода барабанов от цилиндрической к сферической части, в соединениях звеньев жаровых

труб между собой и с днищами; в нижней части барабана при плохом опирании котла на опоры.

В водотрубных котлах причины повреждений верхних барабанов — их перегрев при отсутствии защитного торкретного слоя, упуск воды, коррозия металла. Экранные и кипятильные трубы выходят из строя из-за отложения в них накипи. Возможны аварии в результате коррозии и механического износа труб.

В случаях упуска воды температура части поверхности нагрева, которая в нормальных условиях омывается водой, поднимается до 700 °С и выше. В таких случаях категорически запрещается подавать воду в котел, так как резкое охлаждение металла вызовет образование в нем свищей и разрывов, появления течи в местах вальцовки труб. В равной мере нельзя допускать быстрого повышения температуры котла.

Повышение давления в водогрейных котлах может быть вызвано прекращением циркуляции из-за остановки насосов, отсутствием или несрабатыванием предохранительных устройств, закрытием общей задвижки на водяной линии котельной. Повышение давления в паровых котлах может быть обусловлено прекращением расхода пара, несрабатыванием выкидных устройств или предохранительных клапанов, чрезмерной форсировкой котла.

Причинами повреждений пароперегревателей могут явиться: большое содержание солей в котловой воде, которые откладываются на внутренних поверхностях труб; недостаточная и нерегулярная внутренняя промывка пароперегревателя; увеличенный расход насыщенного пара из котла; превышение допустимого верхнего уровня воды в котле; низкое качество труб, сварных швов или мест вальцовки труб; неравномерная температура газов в газоходе пароперегревателя, вызывающая температурный перекос в нем; некачественная продувка пароперегревателя при растопке котла.

Особенно нежелательно при указанных обстоятельствах превышение температуры газов на выходе из топки допустимых значений или затягивание факела в газоход. Это может быть вызвано неправильной или неравномерной работой горелок, ухудшением передачи тепла в топке экранным поверхностям нагрева. Снижение температуры питательной воды требует увеличения тепловой нагрузки котла, т. е. увеличения расхода газа, что также вызывает повышение температуры и объема уходящих газов.

Причинами аварии поверхностных экономайзеров могут быть: внутренняя или наружная коррозия (преимущественно в стальных экономайзерах), неплотность фланцевых соединений чугунных труб, сварных швов и мест ввальцовки труб в коллекторы стальных экономайзеров, вызванные низким качеством монтажных и сварочных работ, нарушение прочности креплений, приводящее к деформации труб, температурные напряжения и гидравлические удары (преимущественно в чугунных экономайзерах).

Коррозия внутренних поверхностей труб, особенно стальных экономайзеров, происходит при отсутствии или плохой деаэрации воды, когда в ней содержится кислород и углекислый газ, а коррозия наружных поверхностей — в случаях конденсации водяных паров, содержащихся в уходящих газах, если температура питательной воды на входе в экономайзер ниже точки росы.

Температурные напряжения в экономайзерах возникают при резких колебаниях температуры питательной воды и уходящих газов. Гидравлические удары, особо опасные для чугунных экономайзеров, возможны из-за скопления воздуха или пара в верхней части неотключаемых экономайзеров, чрезмерного подогрева воды в отключаемых экономайзерах, неисправности обратных клапанов на питательных трубопроводах.

Аварийная остановка котла или котельной. Аварийными ситуациями, связанными со сжиганием газового топлива, при которых необходимо отключить котел или в зависимости от обстоятельств всю котельную, являются: взрыв газовоздушной смеси в топке котла или газоходах; загазованность помещения ГРП или котельной; пожар в котельной; резкое повышение или падение давления газа из-за неисправности регулятора давления или предохранительного клапана; прекращение подачи газа; выход из строя дутьевого вентилятора или дымососа; самопроизвольное погасание горелок; понижение разрежения в топках котлов ниже 0,5 кгс/см^2 и невозможность его восстановления; прекращение электроснабжения.

Условиями, вызывающими нарушение нормальной работы котла, являются: превышение давления в котле максимально допустимого на 10% и продолжение роста давления, несмотря на принимаемые меры (уменьшение подачи газа); выход из строя предохранительных клапанов или заменяющих их предохранительных устройств;

расплавление контрольной пробки; резкое повышение или понижение уровня воды за установленные пределы, несмотря на принимаемые меры (продувка при повышении или подпитка при понижении); прекращение действия всех водоуказательных приборов; прекращение действия всех питательных устройств; прекращение подачи электроэнергии; разрушение обмуровки; пожар в котельной; разрыв паропровода.

При аварийной остановке котла необходимо: закрыть общее запорное устройство на котел и запорные устройства перед горелками; закрыть кран запальника; открыть краны трубопроводов продувочного и безопасности (при отключении всей котельной закрыть также задвижку на вводе); отключить котел от главного паропровода; произвести подпитку котла (за исключением случаев, когда причиной аварийной остановки был упуск воды); постепенно выпустить пар через предохранительный клапан (за исключением случаев, когда причиной аварийной остановки было прекращение действия питательных устройств или чрезмерное переполнение котла).

Обслуживающий персонал обязан сообщить начальнику котельной или лицу, его заменяющему, об аварийной остановке котла, а время и причины остановки записать в сменном журнале.

Аварийное отключение ГРП (ГРУ). Необходимость аварийного отключения ГРП может возникнуть, если нарушение в работе его оборудования не допускает дальнейшую эксплуатацию, если необходимо отключить газопровод между ГРП и котельной, если невозможно отключить вводной газопровод при аварии в котельной, и в других случаях. Возможны возникновения и других условий, при которых необходимо аварийное отключение ГРП.

Для аварийной остановки ГРП оператор должен немедленно расцепить рычаги ПЗК, закрыть задвижку на вводе, открыть кран на продувочном трубопроводе общего коллектора и произвести полное отключение работавших котлов согласно инструкции. Затем закрыть задвижку перед регулятором, закрыть кран на импульсной линии ПЗК и полностью вывернуть винт пилота.

После аварийного отключения ГРП необходимо сделать запись в сменном журнале и сообщить ответственному за газовое хозяйство или начальнику котельной. Включать ГРП после аварийного отключения можно только при наличии соответствующего письменного распоряжения.

Срабатывание предохранительного запорного клапана в процессе работы ГРП должно рассматриваться как аварийная ситуация. В таких случаях оператор обязан:

— закрыть задвижки на вводе и перед регулятором;

— открыть кран продувочного трубопровода общего газового коллектора котельной;

— произвести полное отключение работавших котлов согласно производственной инструкции;

— закрыть кран на импульсной линии ПЗК.

Если сработал ПЗК, следует выяснить причину срабатывания и при возможности устранить ее; сделать запись в сменном журнале о времени и причине срабатывания. Если устранить причину срабатывания не удается, необходимо вызвать ответственного за газовое хозяйство и представителя специализированной организации, обслуживающей газовое оборудование котельной. После устранения причины срабатывания ПЗК приступают к включению ГРП в соответствии с производственной инструкцией.

12.3. ГАЗООПАСНЫЕ И АВАРИЙНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Организация газоопасных работ. Газоопасными считают работы, которые выполняются в загазованной среде или при которых возможен выход газа. К таким работам в котельных относятся:

— присоединение вновь смонтированных газопроводов к действующим;

— ввод в эксплуатацию газопроводов, ГРП (ГРУ), установок, работающих на газе («пуск газа»);

— ревизия и ремонт газопроводов и газового оборудования, находящихся под газом;

— прочистка газопроводов и заливка в них растворителей с целью удаления гидратных образований;

— установка и снятие заглушек на газопроводах, находящихся под газом (в том числе при отключении газопровода, котла до начала ремонтных работ в топке и внутреннего осмотра котла);

— разборка газопроводов, отключенных от действующих сетей; консервация и реконсервация газопроводов и газового оборудования;

— все виды ремонта, связанные с выполнением огневых работ на действующих газопроводах;

— раскопки грунта в местах утечек газа до их устранения; ремонт, осмотр и проветривание колодцев, откачка конденсата из конденсатосборников;

— техническое обслуживание действующих газопроводов и газового оборудования.

К выполнению газоопасных работ допускаются специально обученные инженерно-технические работники и рабочие, умеющие пользоваться средствами индивидуальной защиты и знающие способы доврачебной медицинской помощи. Газоопасные работы (за исключением работ по техническому обслуживанию) разрешается проводить только по наряду установленной формы. Право выдачи наряда имеют лица из числа руководящих или инженерно-технических работников, сдавшие экзамен в соответствии с требованиями «Правил безопасности в газовом хозяйстве» Госгортехнадзора и назначенные приказом по предприятию.

Все участники газоопасных работ должны быть обеспечены и должны уметь пользоваться средствами индивидуальной защиты и спасательным инвентарем, а также оказывать первую медицинскую помощь. Перед началом работы все участники должны быть проинструктированы о порядке и особенностях ее проведения. Если работа не является аварийной, ее следует проводить в дневное время; место производства работ ограждается или обозначается предупредительными знаками. Минимальная численность рабочего звена — два человека, а при работе в колодцах — три человека, из которых двое должны находиться на поверхности земли. Если работы ведутся в помещении ГРП или в другом помещении, которое может быть загазовано, вне этого помещения должен находиться один из участников бригады, готовый оказать в необходимых случаях помощь работающим.

При производстве работ во взрывоопасных условиях исключается курение и любая возможность появления открытого огня или искр не только в помещении, но и вблизи него. В таких случаях применяют взрывобезопасный, не дающий искр слесарный инструмент, изготовленный из специальных сплавов цветных металлов или обмедненный. Допускается применение инструмента, изготовленного из стали, но обильно смазанного тавотом, солидолом или техническим вазелином. Состояние слоя покрытия обмедненного инструмента и наличие смазки следует проверять перед началом работ и во время их выполнения.

В местах, где должны вестись работы, на цементные полы или металлические площадки укладывают резиновые коврики или брезент, чтобы избежать образования искр при падении металлических изделий или предметов. На обувь, имеющую стальные подковки или гвозди, надо надевать галоши. При производстве работ в загазованных помещениях и колодцах применяют взрывобезопасные аккумуляторные лампы, включение и выключение которых следует производить вне загазованной зоны.

Указанные требования проведения газоопасных работ в равной мере относятся к помещениям, где хранится или используется мазут.

Большую осторожность следует проявлять при вскрытии газопроводов, находившихся длительное время под газом, в которых возможны скопления вещества, представляющего собой соединения железа и его окислов с сероводородом, содержащимся в газе. Эти вещества при быстром воздействии на них кислорода воздуха способны к самовозгоранию. Избежать их самовозгорания можно длительной предварительной пропаркой газопровода или заполнением его водой.

Отыскание и ликвидация утечек газа. Наличие газа в воздухе определяют по запаху или при помощи приборов — газоиндикаторов. Применение приборов наиболее желательно, если вблизи котельной имеются подземные газопроводы. В случаях утечек из таких газопроводов газ проходит через влажный грунт и может потерять свой специфический запах, вследствие чего обнаружение его возможно только при наличии прибора.

Места выхода газа из внутренних газопроводов, газового оборудования и арматуры отыскивают по запаху, который наиболее ощутим в зоне утечки. Для этой цели можно также пользоваться газоиндикаторами, отбирая пробы воздуха вблизи возможных мест утечки. Наиболее распространенным и удобным является применение пенообразующих растворов или, как говорят, обмыливание. Пенообразующие растворы наносят кисточкой на проверяемые соединения, швы, стыки, а места выхода газа обнаруживают по пузырькам пены, образуемым выходящим газом. Для приготовления мыльного раствора на 1 л воды требуется 50 г туалетного или 65%-ного хозяйственного мыла. Приготавливают пенообразующий раствор также из экстракта лакричного корня (10 г на 1 л

воды). При низких температурах воздуха в этот раствор добавляют поваренную соль.

Наличие утечек газа на подземных газопроводах проверяют систематическим контролем загазованности воздуха колодцев, каналов, подвалов и других сооружений, расположенных вблизи трассы газопровода. При наличии запаха газа в указанных сооружениях немедленно приступают к определению места предстоящей раскопки грунта бурением контрольных скважин вдоль газопровода.

Применение огня для отыскания утечек газа в помещении не допускается. Известны случаи, когда при пользовании огнем образовывались невидимые проверяющему очаги горения в местах, стесненных или обращенных к стене, что приводило к еще большему увеличению неплотности соединения и к пожару. Запрещается проверять огнем загазованность колодцев канализации, тепловых сетей и других подземных сооружений.

На подземных газопроводах применение огня допускается только для проверки наличия газа в контрольных трубках и специально пробуренных скважинах на расстоянии более 3 м от зданий и подземных сооружений.

Небольшие утечки газа во фланцевых и резьбовых соединениях можно ликвидировать подтяжкой болтов или муфт. При этом следует помнить: употребляя излишне большие усилия при затягивании, можно сорвать резьбу, что приведет к еще большему ослаблению соединения и увеличению утечки.

В случаях, когда ликвидировать утечку указанными способами не удается, следует отключить газопровод, по которому поступает газ к месту утечки. При сильной утечке, грозящей образованием газовоздушной смеси, необходимо отключить подачу газа в котельную, закрыть краны перед горелками и открыть краны на продувочных трубопроводах. Для вентилирования помещения открывают окна и двери или включают искусственную вытяжную вентиляцию, если она имеется.

Аварийно-восстановительные работы. Выполняются в случаях нарушения целости газопровода, сооружений на нем или газового оборудования, создающих аварийную ситуацию. Аварийные работы должны выполняться силами и средствами персонала котельной немедленно и без наряда до устранения прямой угрозы жизни людей и материальным ценностям. Первоначальными мерами по

устранению аварий являются: отключение от действующей сети поврежденного участка газопровода; естественная вентиляция (проветривание) загазованного помещения; запрещение курить, зажигать спички, включать и выключать электроосвещение и приборы.

После ликвидации последствий аварий восстановительные работы ведутся по разовому наряду, а при необходимости — по специальному плану проведения этих работ.

О всех случаях аварийной остановки котлов должна быть поставлена в известность аварийно-диспетчерская служба (АДС) газосбытовой организации. При необходимости АДС должна оказать персоналу котельной методическую помощь и контролировать ход выполнения аварийно-восстановительных работ.

В каждой котельной должен быть план мероприятий по предупреждению и ликвидации возможных аварий. План разрабатывается лицом, ответственным за газовое хозяйство, согласовывается с начальником газовой службы (если она имеется на предприятии) и утверждается главным инженером. Должно быть организовано проведение учебно-тренировочных занятий по планам предупреждения и ликвидации аварий.

12.4. СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Котельные должны быть оснащены средствами индивидуальной защиты, к которым относятся: противогазы, спасательные пояса и веревки к ним, диэлектрические перчатки и галоши. Персонал котельных должен знать правила хранения и проверки этих средств, а также уметь пользоваться ими.

Устройство и применение противогазов. В газовом хозяйстве применяют только изолирующие противогазы — шланговые и кислородные. Такие противогазы дают возможность человеку дышать чистым воздухом, взятым из незагазованной зоны, или воздухом, очищенным и обогащенным кислородом в самом противогазе. Фильтрующие противогазы, предназначенные для других целей, применять не разрешается, так как в них не улавливаются различные составляющие газового топлива или продуктов его горения.

Изолирующие противогазы бывают самовсасывающие (типа ПШ-1) и с механическим нагнетанием воздуха

(типа ПШ-2). Самовсасывающие противогазы состоят из лицевой части (шлема или маски) и шланга. Один конец шланга соединен с лицевой частью, а другой, свободный, закрепляют при помощи специального штыря над землей, вне загазованного помещения или емкости, например колодца. Свободный конец шланга располагают таким образом, чтобы в него не мог попасть загазованный воздух.

Длина шланга должна быть не более 10—12 м, так как при большей длине вдыхание воздуха становится затрудненным. При пользовании противогазом необходимо следить за тем, чтобы шланг не имел резких поворотов, переломов и не был зажат.

В противогазах типа ПШ-2 воздух подается небольшим вентилятором — воздуходувкой с ручным или электрическим приводом. Длина шланга может достигать 40 м, причем к одной воздуходувке можно присоединять два-три шланга. Шланг должен быть надежно закреплен к поясу пользующегося противогазом, чтобы шлем или маска не могли быть стянуты с головы под тяжестью шланга. Длительность работы в шланговом противогазе не должна превышать 30 мин. Дышать в противогазе нужно спокойно и ровно, вдыхая воздух носом и выдыхая ртом.

В кислородном изолирующем противогазе циркулирует один и тот же воздух, который непрерывно регенерируется (восстанавливается), т. е. освобождается от углекислого газа, содержащегося в выдыхаемом человеком воздухе. Противогаз состоит из дыхательного мешка, регенеративного патрона с поглотителем углекислого газа, кислородного баллона с редуцирующим (снижающим давление) и предохранительным клапаном, дыхательного и соединительного шлангов. Выпускают эти противогазы с запасом кислорода на 2 и 4 ч работы. Носят их на спине, а некоторые типы на боку.

Перед пользованием противогазом нужно проверить соответствие его маски или шлема размерам головы. Тесная маска (или шлем) будет стеснять дыхание, а слишком свободная не предохранит от вдыхания загазованного воздуха. Хранить противогазы следует в специальном шкафу с остекленной передней стенкой. Порядок хранения противогазов предусмотрен соответствующей инструкцией.

Спасательные пояса. При проведении газоопасных работ в колодцах, закрытых помещениях или емкостях

необходимо пользоваться спасательными поясами. Особенностью поясов, применяемых в газовом хозяйстве, является наличие двух лямок, надеваемых на плечи и соединенных между собой на спине пользующегося поясом. В месте соединения лямок имеется стальное кольцо или захват, к которому с помощью защелки-карабина прикрепляют пеньковую или капроновую веревку.

Применение при газоопасных работах поясов, которыми пользуются пожарные, монтеры или монтажники-строители, не допускается, так как такие пояса предназначены для закрепления пользующегося им и обеспечения устойчивости у места работы. Спасательные же пояса служат для подъема человека, потерявшего сознание.

Спасательные пояса, защелки-карабины и веревки испытывают не реже двух раз в год по указаниям и под наблюдением лица, ответственного за газовое хозяйство котельной. Наружные осмотры поясов, защелок и веревок производит руководитель или старший исполнитель газоопасной работы. Нельзя пользоваться сырыми веревками, а также веревками, в которых обнаружены обрыв части нитей или узлы и соединения.

Средства электрозащиты. Индивидуальными средствами защиты от поражения электрическим током являются диэлектрические, изготовленные из специальной резины перчатки, галоши, коврики. Пользоваться этими изделиями можно только при условии, что они не имеют проколов, разрывов, трещин и других дефектов, которые снижают их защитные качества. Проверяют средства индивидуальной защиты под напряжением не реже одного раза в шесть месяцев.

12.5. ОКАЗАНИЕ ДОВРАЧЕБНОЙ ПОМОЩИ

Обслуживающий персонал котельных должен уметь и быть готовым оказывать первую доврачебную помощь пострадавшим от отравления или удушья, электрического тока, теплового удара и при ожогах. Если произошел несчастный случай, требующий врачебной помощи на месте, необходимо немедленно сообщить об этом по телефону в ближайшую поликлинику или медпункт предприятия, а при тяжелом состоянии пострадавшего вызвать скорую помощь.

Отравление и удушье газом. Признаки отравления оксидом углерода: головная боль, головокружение, оду-

щение стука в висках, общая слабость, боль в мышцах ног, рвота, обморочное состояние, а при тяжелом отравлении — остановка дыхания. Наиболее тяжело отравление оксидом углерода переносят люди с ослабленной нервной системой. К воздействию этого газа особенно чувствительны лица, страдающие алкоголизмом, ослабленные каким-либо заболеванием, например гриппом. Частые отравления оксидом углерода могут привести к хроническим заболеваниям, для лечения которых требуется длительное время.

Меры первой помощи при отравлении оксидом углерода следующие: быстро вывести или вынести пострадавшего на свежий воздух, а в зимнее время — в теплое хорошо проветриваемое помещение; расстегнуть одежду и освободить все, что мешает свободному дыханию; дать нюхать нашатырный спирт; согревать грелками и растиранием; напоить крепким чаем или кофе; не позволять пострадавшему заснуть.

При остановке дыхания, в случаях тяжелого отравления или удушья, которое возможно при высоком содержании природного газа в воздухе, следует приступить к искусственному дыханию. Наиболее прост и эффективен метод искусственного дыхания, называемый «рот в рот». По этому методу пострадавшего следует положить на спину и подложить под его лопатки валик из свернутой одежды. Оказывающий помощь должен стать сбоку, подвести под затылок пострадавшего свою левую руку и отвести голову пострадавшего назад. После этого нужно сделать два-три глубоких вдоха и вдуть воздух через марлю или платок в рот пострадавшего, закрывая при этом его нос. Затем вдувают воздух в нос, прикрывая при этом рот. После каждого вдувания нужно освободить нос или рот пострадавшего, чтобы не мешать выдоху. Частота искусственного дыхания 12—14 циклов в минуту. Эффективность проведения искусственного дыхания подтверждается тем, что грудная клетка пострадавшего при вдувании воздуха расширяется, а после прекращения вдувания грудная клетка опадает и слышно, как через нос или рот выходит воздух.

Поражение электрическим током. Электрический ток может вызвать внешние поражения — ожоги и нарушения кожного покрова, а также внутренние поражения, при которых возможны остановка дыхания и прекращение работы сердца. В случаях соприкосновения человека

с одним проводом (однополюсное соприкосновение) возможно замыкание электрической цепи на землю через тело человека. При наиболее опасном двухполюсном прикосновении человек поражается током при полном напряжении в электрической сети.

Сила тока, проходящего через тело человека, тем больше, чем меньше сопротивление тела, которое зависит от состояния кожи, площади и плотности контакта с токоведущими частями, электрической изоляции от земли.

Поражающее действие электрического тока на организм человека заключается в следующем. При нормальной работе сердца происходит ритмичное чередование периода покоя, при котором сердце наполняется кровью, и периода сокращения сердечной мышцы, во время которого кровь выталкивается в артериальные сосуды. Если на сердце воздействует переменный ток частотой 50 Гц, сердечная мышца приходит в состояние хаотических непрерывных сокращений, называемое фибриляцией, что вызывает прекращение кровообращения в организме.

При воздействии электрического тока во время непосредственного соприкосновения с проводами человека охватывает судорога и сам он не может освободиться от проводов, подвергаясь дальнейшему воздействию тока. В таких случаях первой мерой помощи является освобождение пострадавшего от соприкосновения с проводами. Для этого следует немедленно выключить напряжение, а если выключатель расположен далеко, то необходимо оттянуть пострадавшего от проводов. Для этого нужно браться только за одежду, а к его рукам или телу можно прикасаться надев диэлектрические перчатки и боты или если руки обвернуты сухой тканью и под ноги положена сухая доска или сухая одежда.

До прибытия врача пострадавшего следует уложить на жесткую плоскость, освободить от одежды и создать полный покой. Нельзя смазывать поврежденную кожу спиртом, одеколоном, мазями. При остановке дыхания необходимо приступить к искусственному дыханию по методу «рот в рот», описанному выше. Если у пострадавшего остановлено сердцебиение, одновременно с искусственным дыханием делают массаж сердца.

Пострадавшего укладывают спиной на пол или скамью и освобождают все, что мешает свободному дыханию. Оказывающий помощь накладывает кисти (одну на другую) полностью вытянутых рук на нижнюю часть груд-

ной клетки пострадавшего. Затем надавливает на грудину пострадавшего так, чтобы вдавить ее на 4—5 см, и быстро отнимает руки. Надавливания делают 3—4 раза в течение 3—4 с с перерывом 2 с. Продолжают массаж сердца и искусственное дыхание до появления у пострадавшего самостоятельных дыхательных движений и устойчивого пульса.

Чтобы исключить случаи поражения электрическим током, необходимо обеспечить надежную изоляцию токоведущих частей и устройство защитного заземления. Работать вблизи электрощитов или кабелей нужно только при выключенном токе или при наличии временных ограждений. Смену электрических ламп, замену предохранителей, штепсельных розеток и другие работы по электрооборудованию должен выполнять электрик.

Тепловые удары и ожоги. Тепловой удар может произойти, если человек подвергался длительному воздействию высокой температуры. Признаки теплового удара: внезапная слабость, головная боль, тошнота, частое и ослабленное дыхание, сердцебиение, покраснение кожи лица, а в тяжелых случаях — судороги и потеря сознания.

Пострадавшего от теплового удара нужно вывести или вынести на свежий воздух или в хорошо проветриваемое помещение, расстегнуть одежду и освободить все, что мешает свободному дыханию, напоить водой, смачивать голову и грудь; при потере сознания давать нюхать с ватки нашатырный спирт. В необходимых случаях следует применять искусственное дыхание.

Причинами ожогов могут быть: неправильные действия персонала во время пользования продувочными и пробными кранами; прорыв пара или горячей воды через неплотности трубопроводов или их соединений; выброс горячих газов из топки или срабатывание предохранительного взрывного клапана. Возможны ожоги при неправильном обращении с агрессивными реагентами и веществами, например едким натрием, соляной кислотой.

Воспламенившуюся одежду следует немедленно потушить водой или накинув какую-либо плотную ткань; тлеющую одежду нужно быстро снять. В горящей одежде нельзя бежать: это усиливает горение. Нельзя также отдирать прилипшие к ране лоскутки материи.

Наиболее легкие ожоги первой степени характеризуются покраснением кожного покрова. Такие ожоги смачивают 4%-ным раствором марганцовокислого калия

(марганцовки), а затем накладывают повязку с противоожоговой мазью или смоченную любым несоленым жиром.

Ожоги второй степени характеризуются появлением пузырей, наполненных жидкостью. При оказании первой помощи в таких случаях необходимо обмазать кожный покров вокруг пузырей спиртом или крепким раствором марганцовокислого калия, а на обожженные места наложить стерилизованную повязку. Прорезать или прокалывать образовавшиеся на коже пузыри не разрешается.

При ожогах третьей степени происходит обугливание кожи и мышц. В таких случаях требуется помощь врача.

Оказывающий первую медицинскую помощь при ожогах до выполнения каких-либо действий должен тщательно вымыть руки, чтобы не внести загрязнение в обожженные части тела пострадавшего.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

«Беглость» огня 201

Вентиляторы 122
Влажность абсолютная, относительная 19
Вода исходная, котловая, питательная, подпиточная, конденсатная, продувочная 103
Водоподогреватели 112
Воздух вторичный, избыточный, первичный, третичный 194
— теоретически необходимое количество 180
Воздухоподогреватели 87
Воздушный тракт 121
Воспламенение газа 180

Газовый тракт 120
Горелки диффузионные 201
— инжекционные 205
— с принудительной подачей воздуха 210
Горение 188

Давление абсолютное, атмосферное, динамическое, избыточное, парциальное, статическое 9
Деаэрация воды 110
Дефлекторы 126
Дымососы 119

Жаропроизводительность 181

Законы газового состояния 14
Зеркало испарения 49

Инжекторы 115

Коррозия металлов 24
Коэффициент инжекции 205
— полезного действия 233
— рабочего регулирования 197
— избытка воздуха 190
Критический диаметр 184

Мощность горелки 196

Номинальная теплопроизводительность 54
Номинальное давление воздуха, газа 197
Нормальные условия состояния газа 15

Обдувочные аппараты 88
Одоризация газов 186

Отрыв пламени 196

Пар влажный, насыщенный, сухой, перегретый 18
Паровой объем 49
Парообразование 18
Пароперегреватели 49
Паросъем 54
Плотность газов 7
Поверхности нагрева экранные, радиационные, конвективные 49
Пределы воспламенения 182
Предохранительные клапаны взрывные 96
— устройства 91
Продувка котла 109
Продукты сгорания 190
Проскок пламени 196

Разрежение 9
Режимная карта 351

Сажа 13
Сепарация пара 18
Скорость горе́ния 183
Скрытая теплота парообразования 18
Срыв пламени 196
Стабилизация пламени 198
Стехиометрические смеси 190

Температура воспламенения 180
— точки росы 20
Тепловая мощность горелки 196
Тепловое напряжение 197
Тепловой баланс котла 230
Теплоемкость 12
Теплосъем 54
Теплота сгорания 178
Токсичность газового топлива 185
Топки 47
Тяга естественная 115
— искусственная 119

Удельный расход топлива 293
Условное топливо 233

Формы передачи теплоты 12
Фронт пламени 183

Циркуляция воды в котле 57
— — в тепловой сети 59

Экономайзеры поверхностные 49, 84
— контактные 85
Энергия кинетическая, потенциальная, тепловая 10
Энтальпия 12

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Адамов В. А. Сжигание мазута в топках котлов. Л., Недра, 1989. 311 с.

Борщов Д. Я. Устройство и эксплуатация отопительных котлов малой мощности. М., Стройиздат, 1982. 360 с.

Гелин Ф. Д., Крупицкий Э. И., Позняк И. П. Материаловедение. Минск, Вышэйшая школа, 1977. 270 с.

Грушман Р. П. Справочник теплоизолировщика. Л., Стройиздат, 1980. 184 с.

Киселев Н. А. Котельные установки. М., Высшая школа, 1975. 277 с.

Колпаков Л. А., Павлов Б. П., Цветков Ю. М. Эксплуатация и ремонт газорегуляторных пунктов и установок. Л., Недра, 1989. 200 с.

Мурзаков В. А. Горючие газы и их свойства. Л., Недра, 1978. 126 с.

Нечаев М. А. Основы газовой техники. Л., Недра, 1974. 88 с.

Правила безопасности в газовом хозяйстве. М., Недра, 1983. 128 с.

Правила пользования газом в народном хозяйстве. М., Недра, 1988.

Правила технической эксплуатации котельных жилищно-коммунального хозяйства. М., Стройиздат, 1973. 128 с.

Правила технической эксплуатации и требования безопасности труда в газовом хозяйстве РСФСР. М., Стройиздат, 1984. 144 с.

Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов. М., Недра, 1974. 144 с.

Рыбаков Р. Р. Автоматизация газифицированных агрегатов. Л., Недра, 1984. 231 с.

Романов Б. А., Секарин С. Е. Котельные установки предприятий нефтяной и газовой промышленности. М., Недра, 1974. 153 с.

Справочник эксплуатационника газифицированных котельных/Под ред. Е. Б. Столпнера. Л., Недра, 1988. 608 с.

Столпнер Е. Б. Пособие для персонала газифицированных котельных. Л., Недра, 1979 303 с.

Стоцкий Л. Р. Машинист (кочегар) котельных на жидком и газообразном топливе. М., Недра, 1975. 509 с.

Чепель В. М., Шур И. А. Сжигание газов в топках котлов и печей и обслуживание газового хозяйства предприятий. Л., Недра, 1980. 591 с.

Шанин Б. В. Справочник оператора газовых установок. Горький, Волго-Вятское книжное издательство, 1986.

Шур И. А. Газорегуляторные пункты и установки. Л., Недра, 1985. 288 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Глава 1
Основные сведения из физики и химии 5

1.1. Физические и химические изменения вещества . . . . . —
1.2. Системы единиц физических величин . . . . . —
1.3. Основные механические величины 6
1.4. Основные тепловые величины 11
1.5. Формы распространения теплоты 12
1.6. Основные законы состояния газов 14
1.7. Свойства воды и водяного пара 15
1.8. Состав и свойства воздуха 19

Глава 2
Материалы, применяемые в котельных 21

2.1. Основные сведения о материалах . . . . . —
2.2. Стальные трубы и трубопроводная арматура 25
2.3. Обмуровочные и огнеупорные материалы 32
2.4. Теплоизоляционные материалы 34
2.5. Прокладочные и уплотнительные материалы 37
2.6. Притирочные материалы 40

Глава 3
Чтение чертежей 41

Глава 4
Устройство и основные характеристики котлов 46

4.1. Общие сведения о котлах . . . . . —
4.2. Устройство котлов различных типов 60
4.2.1. Секционные котлы . . . . . —

4.2.2. Жаротрубные и комбинированные котлы 66
4.2.3. Вертикально-цилиндрические котлы 69
4.2.4. Водотрубные котлы 70
4.2.5. Газовые (газомазутные) котлы 76
4.2.6. Экономайзеры и воздухоподогреватели 84
4.2.7. Обустройство и трубопроводы котлов 88

Глава 5
Вспомогательное оборудование котельных 100

5.1. Общие сведения о котельных . . . . . —
5.2. Водоподготовительные установки 106
5.3. Тепломеханическое оборудование 112
5.4. Отвод продуктов сгорания. Подача воздуха 115
5.5. Вентиляция котельных 125

Глава 6
Системы газоснабжения котельных 127

6.1. Устройство газопроводов . . . . . —
6.2. Назначение и элементы газорегуляторных пунктов (ГРП) и газорегуляторных установок (ГРУ) 133
6.3. Регуляторы давления 138
6.4. Предохранительные запорные клапаны (ПЗК) 155
6.5. Предохранительные сбросные устройства (ПСУ) 164
6.6. Фильтры газовые 169
6.7. Шкафные газорегуляторные пункты 171

Глава 7
Свойства и сжигание газового топлива 174

7.1. Физико-химические свойства газового топлива . . . . . —
7.2. Объемные соотношения процесса горения газов 188
7.3. Сжигание газового топлива 192
7.4. Конструкции и характеристики горелок 201
7.4.1. Диффузионные горелки . . . . . —
7.4.2. Инжекционные горелки 205
7.4.3. Горелки с принудительной подачей воздуха . . . 210
7.4.4. Запальные переносные горелки 223

7.5. Перевод котлов на газовое топливо 224
7.6. Показатели эффективности сжигания газового топлива . . 230

Глава 8
Свойства и сжигание топочного мазута 235

Глава 9
Приборы контроля основных технологических параметров 245

9.1. Общие сведения . . . . . —
9.2. Определение состава газов 248
9.3. Измерение температуры 263
9.4. Измерение давления 269
9.5. Измерение расхода и количества вещества 279

Глава 10
Автоматизация котельных 283

10.1. Общие сведения . . . . . —
10.2. Автоматика газифицированных котлов АГК-2У и АГК-2П 290
10.3. Автоматика газифицированных отопительных котельных АГОК 296
10.4. Система автоматизации типа АМКО 303
10.5. Система автоматизации типа АМК-У 308
10.6. Система «Контур» 312
10.7. Щит автоматизации Щ-К2 (Щ-ДЕ) 315
10.8. Комплекты средств управления 320

Глава 11
Эксплуатация газифицированных котельных 325

11.1. Общие положения . . . . . —
11.2. Включение и выключение систем газоснабжения 333
11.3. Обслуживание котлов 340
11.4. Эксплуатация тягодутьевых устройств 353
11.5. Эксплуатация систем газоснабжения 359

Глава 12
Условия безопасной эксплуатации газифицированных котельных 367

12.1. Основные требования техники безопасности . . . . . —
12.2. Повреждения и аварии в котельных 373
12.3. Газоопасные и аварийно-восстановительные работы . . . 380
12.4. Средства индивидуальной защиты 384
12.5. Оказание доврачебной помощи 386

Предметный указатель 391

Список литературы 393

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Столпнер Ефим Борисович,
Панюшева Зоя Федоровна

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ПЕРСОНАЛА ГАЗИФИЦИРОВАННЫХ КОТЕЛЬНЫХ

Редактор издательства *В. С. Селиванов*
Технический редактор *Н. П. Старостина*
Корректор *Е. А. Стерлина*

ИБ 7789

Сдано в набор 05.12.89. Подписано в печать 27.04.90. М-20098. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага имп. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 21,0. Усл. кр. отт. 21,0. Уч.-изд. л. 22,63. Тираж 66 400 экз. Заказ № 916/836. Цена 1 р. 50 к.

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, г. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.