

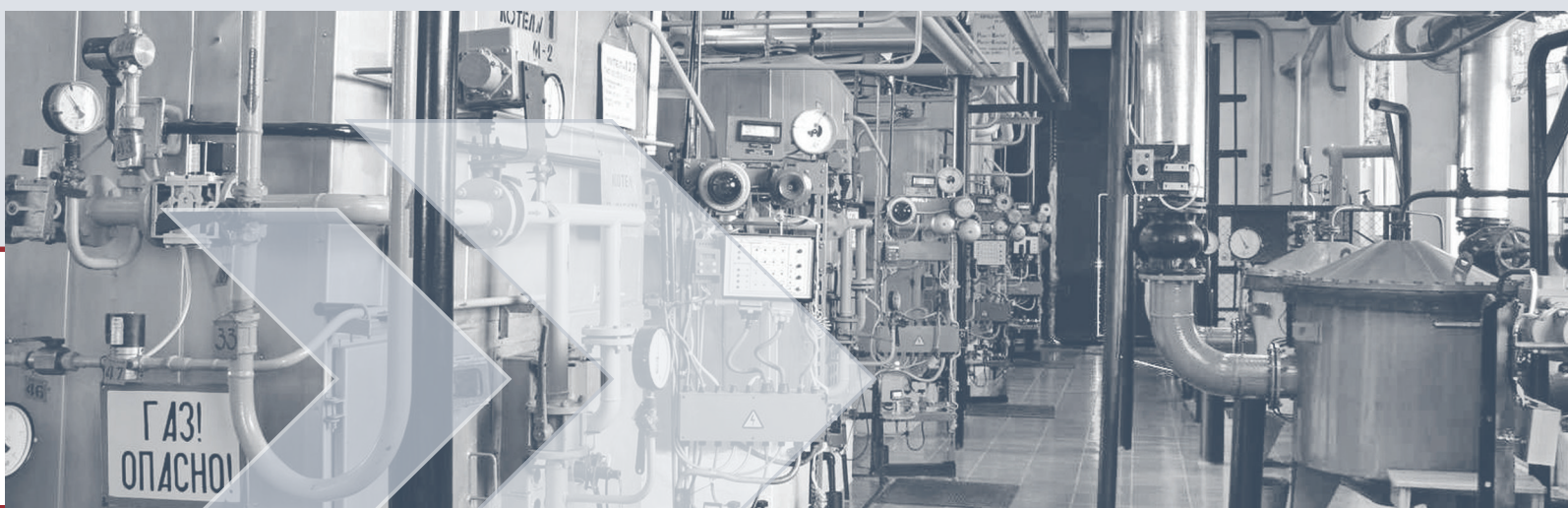


Институт промышленной безопасности,
охраны труда и социального партнерства

В.М. Келюх, Г.С. Бурков,
Л.А. Макаров

ГАЗОВОЕ ХОЗЯЙСТВО КОТЕЛЬНЫХ И ПРЕДПРИЯТИЙ

Учебное пособие для персонала
в вопросах и ответах



**ПРОМЫШЛЕННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ**

В.М. Келюх, Г.С. Бурков, Л.А. Макаров

ГАЗОВОЕ ХОЗЯЙСТВО КОТЕЛЬНЫХ И ПРЕДПРИЯТИЙ

*Учебное пособие для персонала
в вопросах и ответах*

УДК 697.34
ББК 31.384.1нб
К34

Келюх В.М., Бурков Г.С., Макаров Л.А.

К34 Газовое хозяйство котельных и предприятий. Учебное пособие для персонала в вопросах и ответах. — СПб.: ТД «ЦОТ», 2020. — 110 с.

ISBN 978-5-326-00181-8

Необходимость повышения уровня знаний персонала газовых котельных и цехов возникла в связи с интенсивным перевооружением газовых хозяйств промышленных предприятий, введением в эксплуатацию современных видов газового оборудования как отечественного, так и зарубежного производства. Новая техника облегчает труд обслуживающего персонала, делает его более эффективным, позволяет сократить численность работников, но при этом возрастают требования к технической подготовке специалистов и рабочих, их знаниям и умению обслуживать современное оборудование.

Настоящее пособие разработано с учетом требований правовых и нормативно-технических документов по газоснабжению, заводских инструкций и опыта, накопленного при эксплуатации газовых хозяйств промышленных предприятий Северо-Западного региона России. В форме вопросов и ответов излагается материал по устройству, эксплуатации и техническому обслуживанию наружных газовых сетей, газорегуляторных пунктов и установок, внутрикотельного и внутрицехового газового оборудования, кроме того, в пособии отражены особенности применения импортного оборудования, рассмотрены требования правил по организации и выполнению газоопасных работ, обеспечению безопасности труда работников.

Пособие предназначено для подготовки и повышения квалификации рабочих – операторов котельных и печей, а также слесарей по техническому обслуживанию и ремонту газового оборудования.

Пособие может быть полезным при подготовке и повышении квалификации руководителей и специалистов промышленных производств и котельных с газовым оборудованием.

УДК 697.34
ББК 31.384.1нб

Замечания и пожелания просим присылать
в Институт промышленной безопасности, охраны труда
и социального партнерства по адресу:
Санкт-Петербург, Галерная ул., 22.

ISBN 978-5-326-00181-8

© Торговый дом
«Центр охраны труда»,
оформление, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1.	Общие вопросы о природном газе	3
1.1.	Понятие о физическом веществе (теле).....	3
1.2.	Единицы измерения параметров газа	5
1.3.	Добыча и транспортировка природного газа	8
1.4.	Состав природного газа и его свойства.....	9
1.5.	Процесс горения газа	12
1.6.	Газовые горелки и газогорелочные устройства	14
Глава 2.	Сети газораспределения	21
2.1.	Наружные газопроводы промышленных предприятий и котельных	22
2.2.	Газорегуляторные пункты и установки промышленных предприятий и котельных.....	31
Глава 3.	Сети газопотребления	44
3.1.	Внутренние газопроводы и оборудование предприятий и котельных.....	45
3.2.	КИП и автоматика предприятий и котельных.....	56
Глава 4.	Эксплуатация сетей газораспределения и газопотребления	72
4.1.	Эксплуатация наружных газопроводов предприятий и котельных.....	73
4.2.	Эксплуатация ГРП (ГРУ) предприятий и котельных.....	75
4.3.	Эксплуатация внутренних газопроводов и газового оборудования предприятий и котельных.....	77
Глава 5.	Техническое обслуживание и ремонт.....	83
5.1.	Техническое обслуживание и ремонт ГРП (ГРУ) предприятий и котельных.....	84
5.2.	Техническое обслуживание и ремонт внутренних газопроводов и оборудования.....	86
Глава 6.	Аварии и неполадки в работе газового оборудования	90
Глава 7.	Газоопасные работы	94
Глава 8.	Оказание доврачебной помощи пострадавшим.....	98
Глава 9.	Документация и рабочее место персонала	100
Глава 10.	Ответственность и обязанности персонала	102
Глава 11.	Прием и сдача смены операторами котельной (цеха)	103

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ О ПРИРОДНОМ ГАЗЕ

1.1. Понятие о физическом веществе (теле)

Что такое вещество?

Вещество является видом материи, обладающей массой покоя и состоящей из элементарных частиц. Вещества подразделяют на простые и сложные (химические соединения).

Простые вещества состоят из атомов одного химического элемента, представляющего форму свободного состояния его существования: кислород (O_2), водород (H_2), азот (N_2), медь (Cu), углерод (C), алюминий (Al) и др.

Сложные вещества состоят из разных элементов: углекислый газ (CO_2), вода (H_2O), оксид углерода (CO), метан (CH_4) и т. д. и имеют постоянный состав (стехиометрические соединения) или переменный – в допустимых пределах (нестехиометрические соединения).

Вещества могут превращаться друг в друга при химических реакциях, но одно простое вещество не может превратиться в другое, состоящее из атомов иного элемента.

Что такое агрегатное состояние?

Химические вещества могут иметь различные агрегатные состояния – твердое, жидкое, газообразное. Иногда к агрегатным состояниям причисляют плазму.

Состояние физических веществ (тел) зависит от сил молекулярного притяжения, расстояния между молекулами вещества (межмолекулярного пространства) и от движения молекул.

Твердые тела имеют большую силу молекулярного притяжения, малое межмолекулярное пространство и малую подвижность молекул. Эти тела имеют определенную форму и сохраняют

своей объем. Для сжатия твердого тела или разделения его на части необходимо приложить определенную силу.

Жидкие тела имеют значительно меньшую силу молекулярного притяжения, чем у твердых тел, а межмолекулярное пространство и подвижность молекул значительно больше. Поэтому жидкости не имеют определенной формы и принимают форму емкости, в которой находятся. Жидкости практически не сжимаемы, и их объем измеряется размером сосуда, в котором они находятся.

Газообразные тела, например воздух, пар, горючие и дымовые газы, имеют малую силу межмолекулярного притяжения, а межмолекулярное пространство и подвижность молекул у них велики. Благодаря этому газообразные тела имеют большую текучесть и не имеют определенного объема. Как и жидкости, газообразные тела занимают форму емкости, в которой находятся. По сравнению с твердыми телами и жидкостями газообразные тела легко сжимаются.

Что такое физические и химические явления?

С физическими телами могут происходить различные изменения, которые называются явлениями, подразделяющимися на физические и химические.

Физические явления – это явления, при которых изменяется форма или физическое состояние вещества, но не происходит образования новых веществ. Например, при кипении вода превращается в пар, а при охлаждении из пара снова образуется вода. При этом изменяется только физическое состояние воды, но новые вещества не образуются. То же наблюдается при таянии льда.

Химические реакции – это явления, при которых происходят изменения веществ, когда из одних веществ образуются другие. Химические явления происходят при горении, коррозии металлов и т. д.

Что такое энергия?

Энергия является общей мерой различных форм движения материи.

Внутренняя кинетическая энергия – это энергия движения молекул.

Внутренняя потенциальная энергия – это энергия взаимного притяжения молекул.

Сумма внутренних кинетической и потенциальной энергий составляет внутреннюю энергию тела, которая может передаваться от одного тела к другому в виде *тепла и работы*.

Передача энергии в виде тепла вызвана энергетическим взаимодействием молекул при отсутствии видимого движения тел. В отличие от тепла передача энергии в виде работы связана с видимым перемещением тела, в частности с изменением его объема.

Молекулы могут быть самостоятельными, сохраняя при этом химические свойства данного вещества. Молекулы состоят из атомов (греч. *неделимый*). Атом состоит из положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных частиц – электронов, которые двигаются вокруг него. Ядро включает в себя положительно заряженные частицы – протоны и частицы, которые не имеют заряда, – нейтроны.

Что такое газ?

Газ (греч. *хаос*) – агрегатное состояние вещества, в котором его частицы не связаны или весьма слабо связаны силами взаимодействия и свободно движутся, заполняя весь предоставленный им объем. Термин «газ» в XVII веке ввел нидерландский химик Я. Б. ван Гельмонт для обозначения воздухоподобных веществ.

Вещества в газообразном состоянии широко распространены в природе. Так, газы образуют атмосферу Земли, содержатся в твердых земных породах, растворены в воде океанов, морей и рек. Солнце, звезды, облака межзвездного вещества состоят из газов – нейтральных или ионизованных (плазмы). Встречающиеся в природных условиях газы являются, как правило, смесью химически индивидуальных газов.

Газы имеют характерные свойства. Например, они полностью заполняют сосуд, в котором находятся, и принимают его форму. В отличие от твердых тел и жидкостей объем газов существенно зависит от давления и температуры.

Что такое чистый газ?

Чистым газом является газ, в котором содержится не более 0,05% (молярных) примесей газов других наименований.

Что такое газовая смесь?

Газовая смесь – это смесь чистых газов, не вступающих друг с другом в химическую реакцию.

Что такое реальный газ?

Реальный газ – это газ, который действительно существует в природе, т. е. состояние этого газа характеризуется взаимодействием молекул, а сами молекулы имеют собственный объем.

Что такое воздух, каковы его состав и основные свойства?

Воздух – это реальный газ, из которого состоит атмосфера. Сухой атмосферный воздух представляет собой многокомпонентную газовую смесь, состоящую из: азота N_2 – 78 об.%, кислорода O_2 – 21 об.%,

инертных газов (аргон, неон, криптон и пр.) – 0,94 об.% и углекислого газа – 0,03 об.%. Кроме того, воздух содержит водяной пар и случайные примеси – аммиак, сернистый газ, пыль, микроорганизмы и пр.

Газы, которые входят в состав воздуха, распределены в нем равномерно и каждый из них сохраняет свои свойства в смеси.

Азот и кислород не имеют цвета, вкуса и запаха. Азот не горит и горение не поддерживает. Кислород не горит, но активно поддерживает горение и является окислителем, обеспечивающим горение всех видов топлива.

Инертные газы не вступают в химические реакции с другими веществами.

Количество находящихся в воздухе водяных паров изменяется и зависит от конкретных атмосферных условий. Каждому значению температуры соответствует максимальное количество водяных паров, которые могут находиться в воздухе, и определенное парциальное давление этих паров.

Что такое влажность и точка росы?

Различают влажность абсолютную и относительную.

Абсолютная влажность – это масса водяных паров, которая находится в 1 м³ воздуха.

Относительная влажность – это отношение абсолютной влажности при данной температуре к максимально возможной абсолютной влажности при той же температуре. Для жилых помещений нормальной влажностью считается 60–70%. Относительную влажность измеряют гигрометром или психрометром.

Точкой росы называется температура, до которой необходимо охладить воздух или продукты сгорания топлива, чтобы водяные пары, которые находятся в них, достигли состояния насыщения и выделились в виде росы. Температура точки росы для продуктов сгорания зависит от сжигаемого вида топлива, у природного газа составляет 50–55°С.

1.2. Единицы измерения параметров газа

Что включает в себя термин «измерение»?

Под измерением понимают процесс получения числового соотношения между измеряемой величиной и некоторым значением, принятым за единицу сравнения.

Число, выражающее отношение измеряемой величины к единице сравнения, называется числовым

значением измеряемой величины. Значение величины, принятой за единицу измерения, называется размером этой единицы. Чем меньше размер выбранной единицы измерения, тем больше для измеряемой величины будет числовое значение. Каждое числовое значение измеряемой величины измеряется в соответствующих единицах.

Что относится к средствам измерения?

К средствам измерения относятся:

мера – предназначена для воспроизведения физической величины данного размера (гиря является мерой массы, километровые столбы используются для определения расстояния и т. д.);

измерительные приборы – предназначены для выработки сигнала измерительной информации в доступной для наблюдателя форме;

измерительные преобразователи – служат для преобразования измеряемой физической величины в форму, удобную для передачи (термоэлектрический термометр, термометр сопротивления, термопара, сужающее устройство расходомера и т. д.);

измерительные устройства – это средства измерения, состоящие из измерительных приборов и измерительных преобразователей.

По назначению средства измерения делятся на:

рабочие – для практических повседневных измерений. Бывают также технические и лабораторные (повышенной точности);

образцовые – для поверки и градуировки рабочих средств измерений;

эталоны – для воспроизведения и хранения единиц измерения с наивысшей (метрологической) точностью.

Что представляют собой точность и погрешность измерений?

При любом измерении получается отклонение от истинного результата. Это отклонение называется погрешностью измерений.

Различают:

абсолютную погрешность, которая выражается в единицах измерения и является разностью между результатом измерения и истинным значением измеряемой величины;

относительную погрешность, представляющую собой отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины, может выражаться в процентах.

В зависимости от характера причин, вызывающих появление погрешностей, они делятся на:

случайные – непостоянные по значению и по знаку, могут быть обнаружены при повторном измерении;

систематические – остаются постоянными и при повторных измерениях, но могут устраняться при помощи поправок. Систематические погрешности

имеют разновидности: инструментальные, субъективные, методические, статические и др.;

грубые – существенно превышающие ожидаемый результат измерения.

При технических измерениях в промышленности используют, как правило, рабочие средства измерений, которые поправками при их поверке не снабжаются.

Класс точности средств измерения – это обобщенная характеристика, определяемая пределами допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также свойствами средств измерения. Значения допускаемых погрешностей устанавливаются стандартами.

Всем средствам измерения присваиваются классы точности: 1; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0...

Что такое температура?

Температура обусловлена кинетической энергией движения молекул и определяет степень нагревания тела. С изменением температуры тела меняют свои свойства.

Какие температурные шкалы применяются для измерения температуры?

Температурные шкалы могут быть с одинаковой и с разной ценой деления. В России наиболее широкое распространение получили:

международная стоградусная шкала (шкала Цельсия, °C), за $t = 0^\circ\text{C}$ принята температура таяния льда, а за $t = 100^\circ\text{C}$ – температура кипения воды (при давлении 760 мм рт. ст.);

абсолютная термодинамическая шкала (шкала Кельвина, К), за $T = 0\text{K}$ принят абсолютный ноль (отсутствует движение молекул), за $T = 273,15\text{K}$ – температура таяния льда, а за $T = 373,15\text{K}$ – температура кипения воды (рис. 1).

В зарубежных странах наряду с выражением температуры в кельвинах (К) и градусах Цельсия (°C) применяют градус Фаренгейта (°F), Реомюра (°R) и Ренкина (°Ra). Пересчет числовых значений температуры можно производить с использованием температурных шкал или по формулам:

$$\begin{aligned} n^\circ\text{C} &= n\text{K} - 273,15 = 5/9(n^\circ\text{F} - 32) = \\ &= 5/9 n^\circ\text{Ra} - 273,15 = 1,25 n^\circ\text{R}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n\text{K} &= n^\circ\text{C} + 273,15 = 5/9(n^\circ\text{F} + 255,37) = \\ &= 5/9 n^\circ\text{Ra} = 1,25 n^\circ\text{R} + 273,15. \end{aligned}$$

в/из	Кельвин	Цельсии	Фаренгейт
Кельвин (К)	= К	$\text{K} = ^\circ\text{C} + 273,15$	$\text{K} = (^\circ\text{F} + 459,67)/1,8$
Цельсий (°C)	$^\circ\text{C} = \text{K} - 273,15$	= °C	$^\circ\text{C} = (^\circ\text{F} - 32)/1,8$
Фаренгейт (°F)	$^\circ\text{F} = \text{K} \cdot 1,8 - 459,67$	$^\circ\text{F} = ^\circ\text{C} \cdot 1,8 + 32$	= °F

Рис. 1. Пересчет температуры между основными шкалами

Что такое температура воспламенения топлива?

Это минимальная температура, при которой в данных условиях горючая смесь воспламеняется при соблюдении минимального термического градиента по ее объему.

Что такое calorиметрическая температура?

Это температура горения топлива, при которой вся выделившаяся при горении теплота расходуется только на повышение температуры продуктов сгорания.

Что такое жаропроизводительность?

Это максимальная температура, получаемая при полном сгорании газа, при наличии необходимого количества воздуха для горения. Жаропроизводительность является частным случаем calorиметрической температуры горения.

Что является температурой горения топлива?

Температурой горения топлива является температура продуктов сгорания топлива, покидающих зону горения. Действительная температура горения в топках котлов зависит от условий сжигания топлива, и она будет ниже жаропроизводительности ($1100\text{--}1400^\circ\text{C}$).

Что такое давление газа?

Давление P определяется действием силы F на единицу площади S , т. е. $P = F/S$.

Для газа сила F определяется суммарным количеством ударов молекул газа о стенки сосуда, в котором он находится. Газ, находясь в сосуде, оказывает равномерное давление на его стенки.

Каким бывает давления газа?

Давление газа бывает:

а) *избыточное (манометрическое)* $P_{\text{и}}$ – давление, показываемое манометром;

б) *барометрическое (атмосферное)* $P_{\text{б}}$ – давление воздуха, т. е. атмосферы;

в) *абсолютное* $P_{\text{а}}$ – полное давление, под которым находится газ, оно равно сумме избыточного и барометрического: $P_{\text{а}} = P_{\text{и}} + P_{\text{б}}$;

г) *вакуумметрическое (разрежение или вакуум)* P_v – разность между атмосферным и абсолютным давлениями, оно будет меньше атмосферного: $P_v = P_g - P_a$;

д) *статическое* $P_{ст}$ – давление, зависящее от запаса потенциальной энергии газовой среды, определяется статическим напором;

е) *динамическое* P_d – давление, вызванное скоростью движения потока газа. Определяется через скоростной (динамический) напор по формуле $P_d = \rho v^2 / 2$ (где ρ – плотность движущегося газа; v – скорость движущегося газа).

Полное давление движущего газа складывается из статического и динамического давлений: $P_{п} = P_{ст} + P_d$.

Какие единицы применяются для измерения давления газа?

В качестве единиц измерения давления применяются:

- паскаль (Па) – давление силы в один Ньютон на один квадратный метр (Н/м²);
- килограмм-сила на квадратный метр (кгс/м²);
- техническая атмосфера: 1 ат = 1 кгс/см²;
- миллиметр водяного столба (мм вод. ст.);
- миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.) и т. д.

Между единицами измерения давления существует связь (рис. 2):

$$1 \text{ кгс/см}^2 = 10\,000 \text{ кгс/м}^2 = 10 \text{ м вод. ст.} = 10\,000 \text{ мм вод. ст.} = 735,56 \text{ мм рт. ст.} = 98\,066,5 \text{ Па} = 0,981 \text{ бар} = 1000 \text{ мбар.}$$

Что называется плотностью газа?

Плотность ρ – масса, занимающая единицу объема:

$$\rho = m/V \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

С повышением температуры плотность газа уменьшается.

Удельный объем v – объем, который занимает 1 кг вещества:

$$v = V/m.$$

Между плотностью и удельным объемом существует зависимость:

$$\rho = 1/v; v = 1/\rho.$$

Относительная плотность d – число, которое показывает, во сколько раз плотность газа разнится от плотности воздуха:

$$d = \rho_v/\rho_{в}.$$

Какие применяются параметры для измерения объема, расхода и плотности газа?

Количество вещества обычно выражают в единицах объема V или массы m . Единицей объема является кубический метр (м³), а массы – килограмм (кг).

Расход газа – количество газа, проходящее через сечение трубы за единицу времени. Различают:

- массовый расход $G_T = m/\tau$ (кг/с, кг/ч);
- объемный расход $V_T = V/\tau$ (м³/ч).

Условия измерения расхода газа бывают:

- нормальные (НУ) при $P_a = 760$ мм рт. ст., $t_{н} = 0^\circ\text{C}$;
- стандартные (СУ) при $P_a = 760$ мм рт. ст., $t_{ст} = 20^\circ\text{C}$.

При пересчете расхода газа из действительных условий (показания счетчика) в нормальные или стандартные применяются формулы:

$$V_{н} = V_r (273,15 + t_{н}) P_r / P_{н} (273,15 + t_r);$$

$$V_{ст} = V_r (273,15 + t_{ст}) P_r / P_{ст} (273,15 + t_r),$$

где V_r – расход газа при действующих условиях, м³/ч;
 $V_{н}$ – расход газа при НУ, м³/ч;

Единицы	Па	кПа	МПа	кгс/м ²	кгс/см ²	мм рт. ст.	мм вод. ст.	бар
Паскаль	1	10 ⁻³	10 ⁻⁶	0,1019716	10,19716·10 ⁻⁶	0,00750062	0,1019716	0,00001
Килопаскаль	1000	1	10 ⁻³	101,9716	0,01019716	7,50062	101,9716	0,01
Мегапаскаль	1 000 000	1000	1	101971,6	10,19716	7500,62	101971,6	10
Килограмм-сила на квадратный метр	9,80665	9,80665·10 ⁻³	9,80665·10 ⁻⁶	1	0,0001	0,0735559	1	98,0665·10 ⁻⁶
Килограмм-сила на квадратный сантиметр	96 066,5	98,0665	0,0980665	10 000	1	735,559	10 000	0,980665
Миллиметр ртутного столба (при 0°С)	133,3224	0,1333224	0,0001333224	13,5951	0,00135951	1	13,5951	0,001333224
Миллиметр водяного столба (при 0°С)	9,80665	9,80665·10 ⁻³	9,80665·10 ⁻⁶	1	0,0001	0,0735559	1	98,0665·10 ⁻⁶
Бар	100 000	100	0,1	10197,16	1,019716	750,062	10197,16	1

Рис. 2. Соотношения между единицами давления

$V_{\text{ст}}$ – расход газа при СУ, м³/ч;

t_r – измеренная температура газа, °С;

$t_{\text{н}} = 0^\circ\text{C}$ – температура при НУ;

$t_{\text{ст}} = 20^\circ\text{C}$ – температура при СУ;

p_r – измеренное давление газа, МПа;

$P_{\text{н}} = P_{\text{ст}} = 760$ мм рт. ст. – давление газа при НУ и СУ.

Что такое теплота сгорания топлива?

Теплота сгорания (теплота горения, теплотворная способность, теплотворность, теплопроизводительность, калорийность) – количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании топлива.

Это важная характеристика показателя качества топлива, определяющего его цену.

Удельная теплота сгорания – количество тепла, полученное от полного сгорания единицы объема газа. Различают:

- высшую теплоту сгорания Q_v – количество тепла, выделившееся при полном сгорании 1 м³ газа с образованием углекислого газа и воды;

- низшую теплоту сгорания $Q_{\text{н}}$ – количество тепла, выделившееся при полном сгорании 1 м³ газа с образованием углекислого газа и водяных паров.

В России и Германии тепловые расчеты обычно ведут по низшей теплоте сгорания, а в США и Великобритании – по низшей и высшей.

Разница между Q_v и $Q_{\text{н}}$ происходит из-за тепла, идущего на парообразование воды.

Теплота измеряется в калориях или джоулях: 1 калория (кал) – количество тепла, идущего на нагрев 1 г воды от 19,5 до 20,5°С, 1 кал = 4,1868 Дж.

Между единицами измерения тепла существует связь:

$$1 \text{ Гкал/ч} = 1,163 \cdot 10^6 \text{ Вт} = 1,163 \text{ МВт} = 1163 \text{ кВт};$$

$$1 \text{ Мкал/ч} = 1,163 \text{ кВт};$$

$$1 \text{ МВт} = 0,86 \text{ Гкал/ч}.$$

Что называется условным топливом?

Условное топливо $Q_{\text{у.т}}$ – количество тепла, равное 7000 ккал/м³, служит для расчета нормативных и фактических расходов различных топлив. Для удобства применяют эквивалент перевода:

$$\mathcal{E} = Q_{\text{н}} / Q_{\text{у.т}} = Q_{\text{н}} / 7000.$$

1.3. Добыча и транспортировка природного газа

Как производится добыча природного газа?

Природный газ находится в земле на глубине от 1000 м до нескольких километров. В Новом Уренгое есть сверхглубокая скважина глубиной более 6 км.

В недрах земли газ находится в микроскопических пустотах (порах), которые соединены между собой микроскопическими каналами-трещинами, по этим каналам газ поступает из пор с высоким давлением в поры с более низким давлением до тех пор, пока не окажется в скважине. Газ добывают из недр земли с помощью скважин, которые размещают по всей территории месторождения для равномерного падения пластового давления в залежи. При неравномерном расположении возможны перетоки газа между областями месторождения и преждевременное обводнение залежи.

Газ выходит на поверхность земли, так как в пласте давление значительно превышает атмосферное.

Как проходит подготовка природного газа к транспортировке?

Добытый из скважин газ готовят к транспортировке потребителям специальным образом, что вызвано присутствием в нем примесей, вызывающих затруднения при транспортировке или применении. Это пары воды, сероводород и др.

Подготовка газа может производиться по различным схемам в зависимости от месторождения. Так, на Уренгойском месторождении в непосредственной близости от места добычи сооружена установка комплексной подготовки газа (УКППГ), на которой производится очистка и осушка газа.

Как производится транспортировка природного газа в Северо-Западный регион России?

В настоящее время основным видом транспортировки газа является трубопроводный, когда газ под высоким давлением (75 кгс/см²) движется по трубам больших диаметров (до 1,4 м). При движении газа по трубопроводу теряется энергия на трение между газом и стенкой трубы, а также и между слоями газа, поэтому давление падает. Для поддержания необходимой скорости перемещения устанавливают через определенные промежутки компрессорные станции (КС), где газ дожимается до заданного давления (75 кгс/см²).

1.4. Состав природного газа и его свойства

В природные горючие газы входят: природный газ; нефтяной (попутный) газ; отбензиненный сухой газ; газ из газоконденсатных месторождений, добываемый и собираемый газо- и нефтедобывающими организациями; и газ, вырабатываемый газо- и нефтеперерабатывающими организациями.

На какие группы подразделяется природный газ?

Природный газ – это смесь газов, которые образовались в недрах земли при разложении органических веществ. Эти газы подразделяют на три группы:

- газы, добываемые из чисто газовых месторождений, представляют собой сухой газ без тяжелых углеводородов;
- газы, добываемые из нефтяных месторождений вместе с нефтью, представляют собой смесь сухого газа с газообразным бензином и пропан-бутановой фракцией;
- газы, добываемые из конденсатных месторождений, представляют собой смесь сухого газа и конденсата.

Что входит в состав природного газа, поступающего в Северо-Западный регион России?

Природный газ является газовой смесью, основными компонентами которой являются предельные углеводороды, водород, гелий, кислород, азот, диоксид углерода (углекислый газ), водяные пары и сероводород. Его состав зависит от места добычи. Природный газ не должен содержать жидкого конденсата.

Газ, добываемый из чисто газовых месторождений, состоит в основном из метана.

Какие горючие компоненты входят в состав природного газа?

Горючими компонентами являются:

- метан (CH_4) – составляет до 98% по объему в природном газе, поэтому его свойства практически полностью определяют свойства природных газов.

В состав метана входит 75% углерода и 25% водорода, это газ без цвета, запаха и вкуса, нетоксичен, взрывопожароопасен, легче воздуха;

- углеводороды метанового ряда, имеющие общую формулу $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$, где n – углеродное число, равное 1 для метана, 2 – для этана и 3 – для пропана. С увеличением числа атомов в молекуле тяжелых углеводородов возрастают ее плотность и удельная теплота сгорания. Тяжелые углеводороды (этан (C_2H_6), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}) и др.) содержатся в небольших

количествах. Газы без цвета, запаха и вкуса, нетоксичны, взрывопожароопасны, тяжелее воздуха;

- водород (H_2) – газ без цвета, запаха и вкуса, нетоксичен, легче воздуха, взрывопожароопасен. Водород в 14,5 раза легче воздуха;

- оксид углерода (CO) – газ без цвета, запаха и вкуса. Относится к высокотоксичным газам, взрывопожароопасен, немного тяжелее воздуха.

Какие негорючие компоненты входят в состав природного газа?

Негорючими компонентами (балластом) являются:

- азот (N_2) – составная часть воздуха, это газ без цвета, запаха и вкуса. Азот практически не реагирует с кислородом, поэтому при расчетах процесса горения его рассматривают как инертный газ;

- диоксид углерода (углекислый газ CO_2) – бесцветный газ со слегка кисловатым вкусом, обладает малой реакцией при низких температурах, тяжелее воздуха. Концентрация CO_2 в воздухе в пределах 4–5% приводит к сильному раздражению органов дыхания, а в пределах 10% вызывает сильное отравление. Концентрация углекислого газа в атмосфере земли составляет 0,038%, он является одним из парниковых газов;

- кислород (O_2) – составная часть воздуха; газ без цвета, запаха и вкуса; является окислителем, присутствие кислорода в газе понижает удельную теплоту сгорания и делает газ взрывоопасным. Поэтому содержание кислорода в природном газе не должно быть более 1% от объема.

Какие вредные компоненты входят в состав природного газа?

Вредными компонентами являются:

- сероводород (H_2S) – газ без цвета, с запахом тухлых яиц, токсичен, горючий, способствует коррозии металла, тяжелее воздуха. Содержание сероводорода в природном газе не должно превышать 2 г на 100 м³ газа;

- цианистоводородная (синильная) кислота (HCN) – бесцветная легкая жидкость с температурой кипения 26°C, в природном газе имеет газообразное состояние. Ядовита, корродирует с металлом, допускается наличие не более 5 г цианистых соединений (в пересчете на HCN) на каждые 100 м³ газа.

Какие механические компоненты входят в состав природного газа?

Механические примеси, входящие в состав природного газа:

- смолы и пыль – перемешиваясь, могут образовывать закупорки в газопроводах;

- влага в виде воды.

Их содержание зависит от условий добычи и транспортировки газа.

Что такое сухой (обезвоженный) природный газ?

Газ, концентрация паров воды в котором не превышает 0,005 об.% или 0,037 г/м³.

Что такое влажный газ?

Газ, концентрация паров воды в котором превышает 0,005 об.%.

От чего зависит наличие влаги в газовом топливе?

Содержание влаги в газовом топливе зависит от условий его добычи, транспортировки и качества очистки, а также от количества воды, оставшейся после монтажа газопроводов. При низких температурах водяные пары конденсируются и могут образовывать ледяные или снежные пробки, особенно в сети газораспределения.

Углекислоты образуют с водой кристаллогидраты, которые также приводят к закупорке газопроводов. Наличие водяных паров приводит к коррозии газопроводов и газового оборудования, а также к обмерзанию регуляторов, в которых происходит редуцирование, т. е. снижение давления.

Какие требования предъявляются к природному газу, подаваемому в города и населенные пункты?

По физико-химическим показателям природные горючие газы должны соответствовать требованиям и нормам ГОСТ 5542–87 «Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия»:

- 1) массовая концентрация сероводорода – не более 0,02 г/м³;
- 2) массовая концентрация меркаптановой серы – не более 0,036 г/м³;
- 3) объемная доля кислорода – не более 1%;
- 4) масса механических примесей – не более 0,001 г/м³;
- 5) интенсивность запаха газа при объемной доле 1% в воздухе – не менее 3 баллов.

Какими физико-химическими свойствами обладает природный газ?

В природном газе основной составляющей является метан, поэтому это те свойства, которые характерны для метана.

Природный газ не имеет цвета, запаха и вкуса.

Какими физико-химическими свойствами обладает метан?

Плотность метана равна 0,72 кг/м³, т. е. 1 м³ метана имеет массу 0,72 кг, а плотность воздуха равна

1,29 кг/м³, т. е. 1 м³ воздуха имеет массу 1,29 кг. Следовательно, метан легче воздуха.

С повышением температуры плотность метана и воздуха уменьшаются.

Температура воспламенения метана может быть в пределах 545–800°C. Особенностью воспламенения метана является то, что при соприкосновении с источником воспламенения метан воспламеняется с некоторым запозданием. Так при $t = 650^\circ\text{C}$ – через 10 с, $t = 1000^\circ\text{C}$ – 1 с, $t = 1200^\circ\text{C}$ – 0,2 с, $t = 2000^\circ\text{C}$ – мгновенно.

Жаропроизводительность природных газов достигает 2000–2100°C, а метана – 2043°C.

Теплота сгорания метана:

- высшая $Q_{\text{в}} = 9500$ ккал/м³;
- низшая $Q_{\text{н}} = 8500$ ккал/м³.

Что такое скорость распространения пламени?

Скорость распространения пламени – это скорость горения, т. е. скорость перемещения фронта пламени.

Ориентировочная скорость распространения пламени для разных газов различна: пропана – 0,83 м/с, бутана – 0,82 м/с, метана – 0,67 м/с, водорода – 4,83 м/с.

Скорость распространения пламени зависит от состава, температуры, давления смеси; соотношения газа и воздуха в смеси; диаметра фронта пламени; характера движения смеси (ламинарное или турбулентное) и определяет устойчивость горения (рис. 3).

Какими опасными свойствами обладает природный газ?

К опасным свойствам природного газа относятся взрываемость (воспламеняемость), интенсивное горение; быстрое распространение в пространстве, невозможность определения нахождения, удушающие свойства.

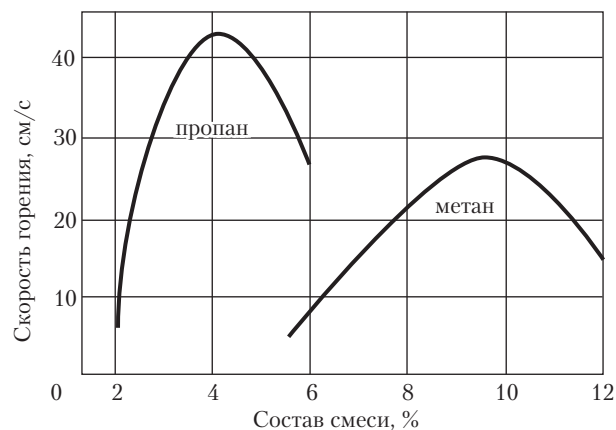


Рис. 3. Зависимость скорости нормального горения от концентрации горючего газа в смеси

Каковы пределы взрываемости у метана?

Различают:

а) нижний предел взрываемости – НПВ (ранее назывался нижним концентрационным пределом воспламенения – НКПВ) – минимальное содержание (концентрация) взрывоопасных веществ в воздухе, ниже которого взрыва не произойдет даже при возникновении источника зажигания. Это объясняется тем, что большее количество тепла, выделившегося в результате окисления, идет на подогрев находящегося в избытке окислителя (кислорода воздуха), т. е. идет не на самоподогрев горючего, а рассеивается в окружающую среду.

НПВ для метана составляет 5%;

б) верхний предел взрываемости – ВПВ (ранее назывался верхним концентрационным пределом воспламенения – ВКПВ) – максимальное содержание (концентрация) взрывоопасных веществ в воздухе, выше которого взрыва не произойдет даже при возникновении источника зажигания, т. к. переизбыток горючего и недостаток окислителя делают реакцию невозможной. Хотя смеси с концентрацией в них горючих веществ выше ВПВ и не образуют взрывоопасной среды, необходимо считаться с их опасностью, т. к. до достижения своего верхнего предела концентрация должна пройти через весь диапазон взрывоопасности.

ВПВ для метана составляет 15%.

При каких условиях возможен взрыв газа?

Для воспламенения (взрыва) метана кроме содержания его в воздухе в пределах его воспламеняемости от 5 до 15% необходим сторонний источник энергии (искра, пламя и т. д.), который послужит толчком к началу цепной реакции воспламенения (взрыва) газа. При взрыве газа в закрытом объеме (помещение, топка, резервуар и т. д.) разрушений больше, чем на открытом воздухе.

При определении возможных причин взрыва газа следует учитывать его свойства. Так как метан легче воздуха, то содержание его в воздухе по высоте будет изменяться.

В загазованной среде (содержание метана более 15%) при дополнительном поступлении воздуха в закрытый объем (помещение, топку, резервуар и т. д.) через неплотности происходит разбавление этой среды воздухом и возникают зоны с возможным воспламенением метана. Зоны возможной взрываемости метано-воздушных смесей в зависимости от содержания в них кислорода и метана показаны на рис. 4.

Что происходит при горении газа в газопроводе?

Давление природного газа при горении может достигать 0,8 МПа (80 кгс/см²). При горении газа в газопроводе большого диаметра и длины скорость распространения пламени может превзойти

скорость распространения звука и достичь 2000–4000 м/с. Местное повышение давления при быстро движущемся взрывном воспламенении составит 8 МПа и выше. Это взрывное воспламенение называют *детонацией*. Детонация происходит при возникновении и действии ударных волн в воспламеняющейся среде.

Что называется токсичностью газа?

Это способность газа отравлять живой организм (человека, животных, растений). Углеводородные газы нетоксичны, но их вдыхание вызывает у человека головокружение, а значительное их содержание во вдыхаемом воздухе может привести к удушью.

Когда в дымовом газе появляется токсичный газ?

При сжигании газа с недожогом, т. е. с недостатком кислорода, в продуктах сгорания образуется угарный газ (СО), который является высокотоксичным газом.

Для чего производится одоризация газа?

Горючие газы не имеют запаха. Для своевременного нахождения их в воздухе, т. е. быстрого и точного определения мест утечки, газ одорируют (придают ему резкий специфический запах).

Интенсивность запаха газа (одоризация) должна обеспечиваться газотранспортной организацией в конечных точках газораспределительной сети (у потребителя) в пределах 3–4 баллов.

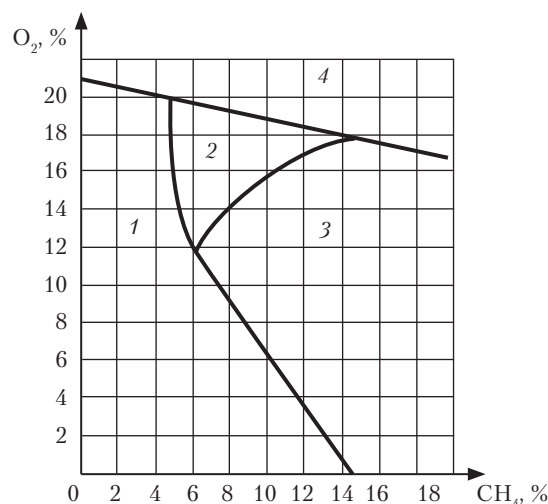


Рис. 4. Распределение зон взрываемости метано-воздушных смесей в зависимости от содержания в них кислорода и метана:

1 – невзрывоопасная смесь; 2 – взрывоопасная смесь; 3 – смеси, которые могут стать взрывоопасными при добавлении воздуха; 4 – осуществимая смесь с метаном, т. е. смесь возможна без взрыва

При использовании в качестве одоранта этилмеркаптана (C_2H_5SH) его добавляют в метан – 16 г на 1000 м^3 газа.

Какие требования существуют по использованию неодорированного газа?

Интенсивность запаха природного газа для промышленных предприятий, которые потребляют газ от магистральных газопроводов, устанавливается по согласованию с потребителем.

При какой концентрации природного газа в воздухе человек должен ощущать его запах?

Человек должен ощущать запах одоранта в воздухе при содержании газа в воздухе в количестве 20% от нижнего предела взрываемости, т. е. для метана – 1% по объему.

Какие преимущества имеет газообразное топливо перед твердым и жидким?

Преимущества следующие: газ лучше перемешивается с воздухом, имеет относительно низкую стоимость, содержит небольшое количество вредных примесей в продуктах сгорания, при транспортировке нет необходимости в автомобильном и ж.-д. транспорте, полная автоматизация процесса горения, высокий к.п.д. газоиспользующей установки.

1.5. Процесс горения газа

Что называется горением природного газа?

Горение газов – это химический процесс соединения горючих компонентов (водорода и углерода) с кислородом, содержащимся в воздухе. Процесс происходит с выделением тепла и света. При сгорании углерода образуется углекислый газ (CO_2), а водорода – водяной пар (H_2O).

Процесс горения можно разделить на следующие этапы: подача газа и воздуха в зону горения, образование газозвушной смеси, зажигание горючей смеси, горение горючей смеси, удаление продуктов сгорания.

Как теоретически происходит полное сжигание 1 м^3 метана?

Реакция горения метана, когда сгорает весь газ и все необходимое количество кислорода принимает участие в горении, представлена на рис. 5.

Для полного сгорания 1 м^3 метана необходимо 2 м^3 кислорода, которые содержатся в $9,52\text{ м}^3$ воздуха, и в продуктах сгорания получается 1 м^3 углекислого газа, 2 м^3 водяных паров, а также 8500 ккал тепла.

Что называется стехиометрическим и фактическим объемами воздуха для горения?

Стехиометрический объем воздуха для горения – это количество воздуха, необходимое для полного сжигания единицы объема или массы топлива, вычисляемое по химическому составу топлива, т. е. теоретически необходимый объем воздуха. *Фактический объем воздуха для горения* – это количество воздуха, действительно израсходованное для сжигания единицы объема или массы топлива.

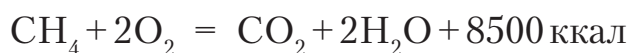
Когда происходит неполное сгорание газа?

Неполное сгорание газа происходит при недостаточной подаче воздуха (кислорода) на горение, при этом для части молекул горючих компонентов не будет хватать молекул кислорода. Процесс горения будет происходить с недожогом, при котором выделяется меньшее количество тепла, чем при полном сгорании. Неполное сгорание газа может происходить также при плохом перемешивании газа с воздухом и низкой температуре в зоне горения.

Чем опасно неполное сгорание топлива?

Оно опасно тем, что в продуктах сгорания кроме углекислого газа и водяных паров появятся:

- угарный газ, который при попадании в помещение может вызвать отравление обслуживающего персонала;
- сажа, которая, осажаясь в газоходах и топках, ухудшает тягу, а на поверхностях нагрева – теплообмен;
- несгоревшие метан и водород, которые могут скапливаться в топках и газоходах (дымоходах), образуя взрывоопасную смесь.



1 молекула + 2 молекулы = 1 молекула + 2 молекулы + тепло
(метан) (кислород) (углекислый газ) (вода)

Рис. 5. Реакция полного сгорания газообразного топлива

Какие условия необходимы для полного сгорания газа?

Для полного сгорания газа воздух на горение подается в достаточном количестве, воздух и газ должны быть хорошо перемешаны и в зоне горения необходима высокая температура.

Для обеспечения полного сгорания газа воздух подается в большем, чем требуется теоретически, количестве, т. е. с избытком, при этом не весь воздух примет участие в горении. Часть тепла уйдет на нагрев этого лишнего воздуха и будет выброшена в атмосферу вместе с дымовым газом.

Как определить полноту сгорания газа?

Полноту сгорания газа можно определить визуально и с помощью приборов (газоанализаторов). Если пламя прозрачное, голубовато-синеватое с фиолетовыми концами, то происходит полное сгорание. При недостатке кислорода – пламя желтое или красное, а при большом избытке воздуха – синее, непрозрачное. Полноту сгорания определяют и по анализу состава дымового газа, по содержанию в нем CO_2 и NO_x .

Как определяется коэффициент избытка воздуха?

Коэффициент избытка воздуха для горения α – это отношение фактического объема воздуха для горения к стехиометрическому (теоретическому):

$$\alpha = V_{\text{ф}} / V_{\text{м}} > 1,$$

где $V_{\text{ф}}$ – фактический объем подаваемого воздуха, м^3 ;
 $V_{\text{м}}$ – стехиометрический (теоретический) объем воздуха, м^3 .

Коэффициент избытка воздуха зависит от конструкции газовой горелки и топки: чем они совершеннее, тем коэффициент меньше. Необходимо следить, чтобы коэффициент избытка воздуха для котлов был не меньше 1. Меньшее значение приводит к неполному сгоранию газа, а увеличение коэффициента избытка воздуха снижает к.п.д. газоиспользующей установки.

В промышленных печах, где происходит нагрев металла и $\alpha < 1$, имеются специальные зоны дожигания несгоревших компонентов.

Каким может быть воздух, подаваемый для горения газа?

Воздух, идущий на горение, может быть первичным, вторичным и третичным.

Первичный воздух – часть воздуха, подаваемого через горелку с целью предварительного смешения с топливом.

Вторичный воздух – часть воздуха, подаваемого через горелку или непосредственно в камеру горения газоиспользующей установки.

Третичный воздух – часть воздуха, подаваемого через горелку или непосредственно в камеру горения газоиспользующей установки с целью разбавления продуктов сгорания и понижения их температуры.

Что такое тяга?

Тяга – подъемная сила в дымовой трубе, под действием которой осуществляется движение дымового газа. Разрежение в топке и удаление продуктов сгорания производятся силой тяги, при помощи которой преодолеваются различные сопротивления дымового тракта.

Различают естественную и искусственную силу тяги.

Естественная сила тяги создается высотой дымовой трубы по причине разности давлений равных по высоте столбов наружного холодного воздуха и более легкого горячего дымового газа (рис. 6). Легкий дымовой газ поднимается вверх по дымовой трубе, создавая разрежение у ее основания. За счет этого происходит движение дымовых газов из топки в трубу, а на их место в топку поступает холодный воздух. Состав дымового газа зависит от сжигаемого вида топлива.

Искусственная сила тяги создается дымососом при недостаточной естественной тяге или при установке за котлом дополнительных поверхностей нагрева, при этом присутствует и самотяга трубы (естественная сила тяги).

Какие факторы влияют на величину тяги?

Сила тяги зависит от: температуры воздуха и дымовых газов; высоты, диаметра и толщины стенки дымовой трубы; барометрического давления; состояния газоходов; присосов воздуха; разрежения в топке.

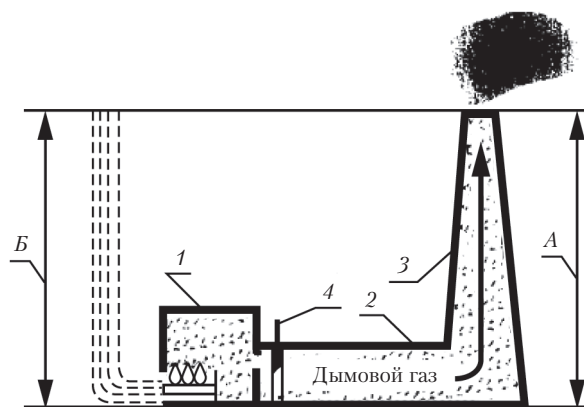


Рис. 6. Действие тяги:

1 – установка; 2 – газоход; 3 – дымовая труба; 4 – шибер
А – давление столба дымовых газов;
Б – давление столба холодного воздуха

Что такое уравновешенная тяга?

Уравновешенная тяга – это тяга, при которой давление в топке или в начале газохода поддерживается близким к атмосферному совместной работой дымососов и дутьевых вентиляторов.

Что такое наддув?

Наддув – тяга, при которой сопротивление газового тракта преодолевается работой дутьевых вентиляторов.

Какие условия необходимы для работы котла «под наддувом»?

Газоиспользующая установка может работать «под наддувом». В этом случае воздух на горение подается только при помощи вентилятора и в топке создается избыточное давление.

Какие существуют методы сжигания газа?

Диффузионный метод – газ и воздух на горение подаются раздельно и перемешиваются в зоне горения, т. е. весь воздух является вторичным (рис. 7а). Пламя длинное, требуется большое топочное пространство.

Смешанный метод – часть воздуха подается вовнутрь горелки, где смешивается с газом (это первичный воздух), а часть воздуха подается в зону горения (вторичный воздух) (рис. 7б). Пламя короче, чем при диффузионном методе.

Кинетический метод – весь воздух перемешивается с газом внутри горелки, т. е. весь воздух является первичным (рис. 7в). Пламя короткое, требуется небольшое топочное пространство.

Пулсирующий метод – процесс горения происходит без горелки в изолированном объеме – камере сгорания (рис. 8). Газ и воздух проходят в камеру сгорания через обратные клапаны. Розжиг

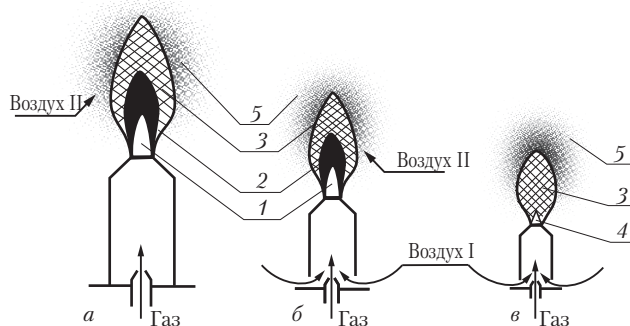


Рис. 7. Методы сжигания газа:

- 1 – внутренний конус, горения нет из-за отсутствия кислорода;
- 2 – зона первичного горения;
- 3 – зона основного горения; 4 – горение отсутствует;
- 5 – продукты сгорания



Рис. 8. Котел для пульсирующего метода сжигания газа:

- 1 – свеча зажигания;
- 2 – воздушный обратный клапан;
- 3 – газовый обратный клапан

осуществляется свечой зажигания, расположенной в верхней части камеры. При сгорании газовой смеси давление в камере повышается, при этом закрываются оба обратных клапана и порция продуктов сгорания выталкивается из камеры сгорания. Давление в камере сгорания уменьшается, клапаны открываются, и поступившая в камеру порция газа и воздуха воспламеняется от продуктов сгорания, а не от искры. Этот процесс воспламенения и выброса продуктов сгорания происходит около 30 раз в секунду. Соотношение «газ – воздух» получается за счет геометрических размеров камеры сгорания и обратных клапанов – воздушного и газового.

1.6. Газовые горелки и газогорелочные устройства

Что такое газовая горелка и газогорелочное устройство?

Газовая горелка – это устройство, обеспечивающее подачу необходимого количества газа и воздуха, их перемешивание и регулирование процесса горения. Горелка, оборудованная дополнительным устройством (тоннель, воздухораспределительное

устройство и т. д.), называется газогорелочным устройством.

Какие требования предъявляются к устройству горелок?

Горелки должны быть заводского изготовления, пройти государственные испытания, иметь сертификат соответствия и разрешение Ростехнадзора на применение. Они должны обеспечивать полноту сжигания газа при всех рабочих режимах с минимальным избытком воздуха (кроме некоторых горелок газовых печей) и минимальным выбросом вредных веществ.

Сопла, завихрители и другие детали горелок, подвергающиеся засорению во время работы или подлежащие замене при переходе на другой вид газообразного топлива, должны быть доступны для очистки и замены без демонтажа горелок.

Конструкция горелок и входящих в них разъемных соединений должна исключать возможность их неправильной сборки и самопроизвольного смещения или разъединения деталей при транспортировке, хранении, эксплуатации и техническом обслуживании.

Горелки должны иметь возможность применения автоматики регулирования и безопасности, а также измерения параметров газа и воздуха перед горелкой; устойчиво работать в пределах рабочего регулирования, при необходимости иметь стабилизаторы для предотвращения отрыва и проскока пламени. У работающих горелок уровень шума должен быть не выше 80 дБ, а температура поверхности не более 45°C.

Горелки должны быть оборудованы штуцерами для присоединения приборов, измеряющих давление газа перед горелкой, а горелки с принудительной подачей воздуха – дополнительно штуцерами для присоединения приборов, измеряющих давление воздуха перед горелками (или в корпусе горелки). Измерение давления газа допускается заменять измерением расхода газа.

Элементы горелки и их соединения должны быть герметичными, не допускающими утечки топлива и воздуха в воздушный и топливный тракты, а также в окружающую среду.

Горелки номинальной мощностью свыше 0,1 МВт должны разжигаться запальным устройством или запальной горелкой (переносной или стационарной). Автоматические и полуавтоматические горелки, пусковая мощность которых превышает 0,4 МВт, должны быть оснащены стационарной запальной горелкой. Группу горелок с ручным управлением допускается оснащать одной стационарной запальной горелкой, если наличие пламени основной горелки, оснащенной запальной горелкой, обеспечивает зажигание пламени других горелок группы.

Какие требования предъявляются к конструкции автоматических горелок?

Конструкция автоматических горелок должна обеспечивать возможность измерения:

- давления газа за основным запорным органом и после последнего по ходу газа регулирующего органа горелки;
- давления воздуха после последнего по ходу воздуха регулирующего или запорного органа.

Вращающиеся части двигателя и вентилятора горелки с принудительной подачей воздуха должны иметь ограждения, исключающие возможность соприкосновения с ними обслуживающего персонала. Места для смазки должны быть доступны.

Конструкция горелки должна обеспечивать:

- возможность определения правильного положения входящих в состав горелки монтажных блокирующих устройств и устройств управления, регулирования и безопасности перед пуском с помощью специальных указателей;
- визуальный контроль пламени.

Как классифицируются газовые промышленные горелки согласно ГОСТу?

Газовые горелки классифицируются по:

способу подачи компонентов: поступление воздуха за счет свободной конвекции; подача воздуха за счет разрежения в рабочем пространстве; инжекция воздуха газом; принудительная подача воздуха за счет давления газа (турбинные горелки); принудительная подача воздуха от постороннего источника (дутьевые горелки с невстроенным вентилятором, дутьевые горелки с встроенным вентилятором (блочные горелки); инжекция газа воздухом; принудительная подача газозооной смеси от постороннего источника;

степени подготовки горючей смеси (без предварительного смешения; с частичной подачей первичного воздуха; с неполным предварительным смешением; с полным предварительным смешением);

скорости продуктов сгорания на выходе из горелки, м/с (до 20 – низкая; свыше 20 до 70 – средняя; свыше 70 – высокая, скоростные горелки);

характеру потока, истекающего из горелки (прямоточный; закрученный неразомкнутый; закрученный разомкнутый);

номинальному давлению газа перед горелкой: низкое давление – до 0,05 кгс/см²; среднее давление – до критического перепада давлений; высокое давление (критический и сверхкритический перепад давлений). Критическое отношение давлений имеет место, когда скорость потока равна скорости звука в самом узком сечении сопла. Расход становится сверхкритическим если давление становится еще ниже, ниже критического значения;

возможности регулирования характеристик факела (с нерегулируемыми характеристиками факела; с регулируемыми характеристиками факела);

необходимости регулирования коэффициента избытка воздуха (с нерегулируемым – минимальным или оптимальным коэффициентом избытка воздуха; с регулируемым – переменным или повышенным коэффициентом избытка воздуха);

локализации зоны горения (в огнеупорном туннеле или в камере горения горелки; на поверхности катализатора, в слое катализатора; в зернистой огнеупорной массе; на керамических или металлических насадках; в камере горения агрегата или в открытом пространстве);

степени автоматизации (с ручным управлением; полуавтоматические; автоматические);

возможности утилизации тепла продуктов сгорания (без подогрева воздуха и газа; с подогревом в автономном рекуператоре или регенераторе; с подогревом воздуха во встроенном рекуператоре или регенераторе; с подогревом воздуха и газа).

Каковы основные параметры газовых горелок?

Из большого числа параметров газовых горелок выделим следующие (рис. 9):

1) *тепловая мощность горелки* N_g – количество тепла, выделяемое за 1 ч работы горелки,

$$N_g = V \cdot Q_n, \text{ ккал/ч,}$$

где V – часовой расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$;

Q_n – теплота сгорания газа, $\text{ккал}/\text{м}^3$;

2) *низший предел устойчивой работы горелки* $N_{н.п.}$ – наименьшая мощность, при которой горелка работает устойчиво без отрыва и проскока пламени;

3) *минимальная мощность горелки* $N_{\text{мин}}$ – мощность нижнего предела, увеличенная на 10%, $N_{\text{мин}} = 1,1N_{н.п.}$;

4) *высший предел устойчивой работы горелки* $N_{в.п.}$ – наибольшая мощность, при которой горелка работает устойчиво без отрыва и проскока пламени.

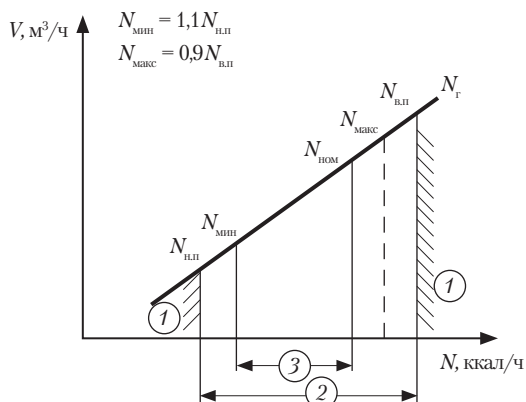


Рис. 9. Параметры работы горелки:

- 1 – неустойчивая работа горелки;
- 2 – устойчивая работа горелки;
- 3 – диапазон рабочего регулирования

5) *максимальная мощность горелки* $N_{\text{макс}}$ – мощность верхнего предела, уменьшенная на 10%, $N_{в.п.} = 0,9N_{\text{макс}}$;

6) *номинальная мощность горелки* $N_{\text{ном}}$ – наибольшая мощность, с которой горелка работает длительное время с высоким к.п.д.;

7) *диапазон рабочего регулирования* – значения мощностей от $N_{\text{мин}}$ до $N_{\text{ном}}$;

8) *коэффициент рабочего регулирования* $K_{р.р.}$ – показывает, во сколько раз номинальная мощность превышает минимальную: $K_{р.р.} = N_{\text{ном}}/N_{\text{мин}}$.

Что называется режимной картой?

Режимная карта – это установленный порядок работы газоиспользующей установки. Карта составляется наладочной организацией по результатам наладки газового и технологического оборудования для нескольких режимов установки (от минимального до максимального) и утверждается техническим руководителем. Для каждого режима указывается давление газа и воздуха у горелки, разрежение в топке и другие параметры. Карта корректируется не реже одного раза в 3 года, а также после ремонта газового оборудования. Карта вывешивается рядом с установкой.

Какими бывают газовые горелки?

Существует много разновидностей газовых горелок:

горелка с ручным управлением, в которой розжиг, изменение режима работы и наблюдение за ее работой выполняет обслуживающий персонал;

полуавтоматическая горелка, оборудованная устройством дистанционного розжига и системой контроля пламени;

автоматическая горелка, оборудованная автоматически действующими устройствами, – устройством дистанционного розжига, системой контроля пламени, устройством контроля давления топлива и воздуха для горения, средствами управления, регулирования и сигнализации;

блочная горелка – автоматическая горелка, скомпонованная с вентилятором воздуха для горения в единый блок;

комбинированная горелка, в которой отдельно или совместно сжигается газообразное и жидкое топливо;

горелка с принудительной подачей воздуха для горения, в которую воздух для горения подается дутьевым устройством;

горелка без предварительного смешения, в которой топливо и воздух для горения смешиваются за выходными отверстиями горелки;

горелка с полным предварительным смешением, в которой топливо смешивается с воздухом для горения перед выходными отверстиями горелки или в которую подводится готовая горючая смесь;

горелка с неполным предварительным смешением, в которой топливо неполностью смешивается с воздухом для горения перед выходными отверстиями горелки;

инжекционная горелка, у которой одна из сред, необходимых для горения, инжектируется другой средой;

атмосферная горелка, использующая воздух для горения из окружающей среды за счет диффузии или инжекции и диффузии;

излучающая горелка, у которой основную долю излучения составляет излучение насадки, огнеупорных элементов и (или) прилегающих участков кладки;

рекуперативная горелка, снабженная рекуператором, в котором осуществляется подогрев воздуха для горения и (или) газообразного топлива продуктами сгорания;

регенеративная горелка, снабженная регенератором, в котором осуществляется подогрев воздуха для горения и (или) газообразного топлива продуктами сгорания;

скоростная горелка, в которой обеспечивается высокоскоростной поток продуктов сгорания.

Как классифицируются горелки по способу подачи воздуха?

По способу подачи воздуха горелки подразделяются на: атмосферные, дутьевые и комбинированные.

1. Атмосферные горелки бывают:

- диффузионные – без предварительного образования смеси газа и воздуха;
- инжекционные – с полным предварительным смешением газа и всего воздуха, требуемого для горения;
- диффузионно-инжекционные – с неполным предварительным смешением части воздуха, необходимого для полного сгорания (первичного воздуха), и газа.

Диффузионная горелка – самая простая по конструкции горелка (рис. 10), обычно это труба с на сверленными в один или два ряда отверстиями. Часто такие горелки называют горелками на самотяге, т. к. воздух подается за счет разрежения в рабочем пространстве топki установки. Газ поступает в зону горения из трубы через отверстия, а воздух – за счет диффузии и энергии струи газа.

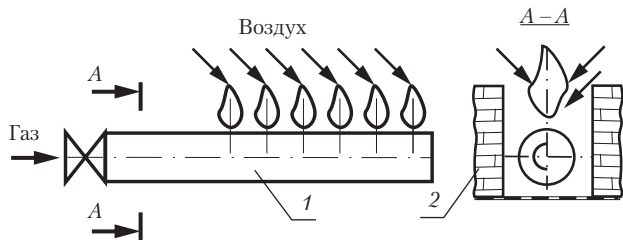


Рис. 10. Диффузионная горелка:

1 – корпус горелки; 2 – кирпичная щель (стабилизатор)

Достоинства диффузионной горелки: простота конструкции, высокий коэффициент регулирования, надежность работы (невозможен проскок пламени), бесшумность, позволяет сжигать газ, мазут или работать в комбинированном режиме практически при любом соотношении газообразного и жидкого топлива.

В инжекционной горелке (рис. 11) одна из сред, необходимых для горения, инжектируется другой средой. Чаще в этих горелках инжектируется воздух, т. е. подсасывается внутрь горелки за счет энергии струи газа, выходящей из сопла. Струя газа создает в зоне сопла разрежение, куда через зазор между воздушной шайбой и корпусом горелки подсасывается воздух. Внутри горелки газ и воздух перемешиваются, и газозвдушная смесь поступает в зону горения, а остальной воздух, необходимый для горения газа (вторичный), поступает в зону горения за счет диффузии и энергии струи газа.

В горелки среднего и высокого давления газа подсасывается весь необходимый воздух, т. е. весь воздух – первичный. В горелки низкого давления подсасывается часть воздуха, а остальной воздух (вторичный) поступает в зону горения за счет диффузии и энергии струи газа. Соотношение «газ–воздух» регулируется положением воздушной шайбы относительно корпуса горелки.

Горелки бывают с центральной и периферийной подачей газа, однофакельные и многофакельные.

Достоинства инжекционных горелок: экономичней диффузионных, простота конструкции и регулирования мощности, меньше или вообще отсутствует зависимость от первичного воздуха.

Недостатки: громоздкость конструкции, достаточно высокий уровень шума, возможность проскока пламени внутрь горелки, небольшой диапазон рабочего регулирования.

Инжекционные горелки обычно применяют:

- при сжигании газа стабильного компонентного состава;
- в комбинированном режиме при сжигании мазута не более 20% от суммарной мощности горелки;
- при постоянной тяге в установке.

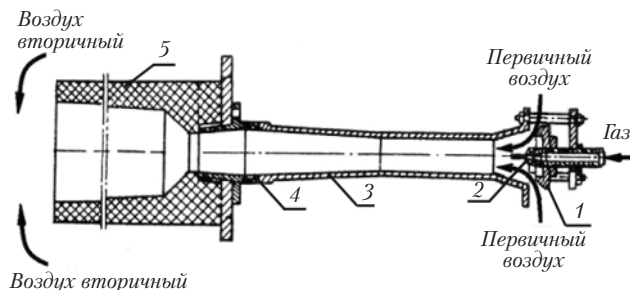


Рис. 11. Инжекционная горелка:

1 – воздушная шайба; 2 – сопло выхода газа; 3 – корпус горелки (инжекционно-смесительное устройство); 4 – горелочный насадок; 5 – керамический туннель

2. Горелки с принудительной подачей воздуха для горения – это дутьевые (или напорные) горелки (рис. 12), в которых воздух для горения подается принудительно при помощи автономного дутьевого вентилятора или встроенного вентилятора (в так называемых блочных горелках).

Они могут быть однопоточные и двухпоточные, т. е. с одним или несколькими подводами газа к горелке.

Газ из газопровода поступает в газовый канал. Воздух, нагнетаемый вентилятором, подается в воздушный канал, проходит через завихритель воздуха (металлические пластины, расположенные под углом к потоку воздуха), закручивается и перемешивается в смесителе с газом, который поступает в зону горения из газового канала через газовыпускные отверстия. Сжигание происходит в керамическом тоннеле.

Горелки могут снабжаться рекуператором (рекуперативная горелка), в котором происходит подогрев воздуха для горения и (или) газообразного топлива продуктами сгорания.

Горелки могут снабжаться регенератором (регенеративная горелка), в котором осуществляется подогрев воздуха для горения и (или) газообразного топлива продуктами сгорания.

Достоинства дутьевых горелок: большая тепловая мощность, широкий диапазон рабочего регулирования, возможность регулирования коэффициента избытка воздуха, возможность предварительного подогрева газа и воздуха.

Недостатки: сложность конструкции; возможность отрыва и проскока пламени, в связи с чем возникает необходимость применения стабилизаторов горения в виде керамического туннеля (горелочный камень), пилотного факела и т. д.

3. Комбинированные горелки ГМГм (рис. 13) предназначены для совместного или раздельного сжигания более чем одного вида топлива. Конструктивно комбинированная горелка часто представляет собой устройство, в котором соединена

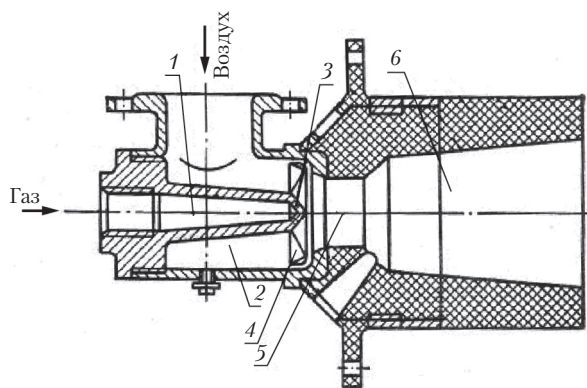


Рис. 12. Горелка с принудительной подачей воздуха:

- 1 – газовый канал; 2 – воздушный канал;
- 3 – газовыпускные отверстия; 4 – завихритель;
- 5 – смеситель; 6 – керамический туннель

газовая и жидкотопливная горелка. Таким образом, комбинированная горелка сочетает в себе все достоинства газовых и жидкотопливных горелок.

Газомазутная комбинированная горелка ГМ-4,5

Одновременное сжигание газа и мазута допускается только кратковременно на время перехода с одного вида топлива на другой. Для розжига применяют ЗЗУ, не входящие в комплект поставки.

Горелка состоит из форсуночного узла с основной, расположенной по оси горелки, и резервной, расположенной ниже под углом 6° к горизонтали, паромеханическими форсунками, газовой части, лопаточного завихрителя воздуха (правого или левого вращения), узла обратного затвора (захлопки) для автоматического закрытия воздушного клапана при снятии форсунок (рис. 14).

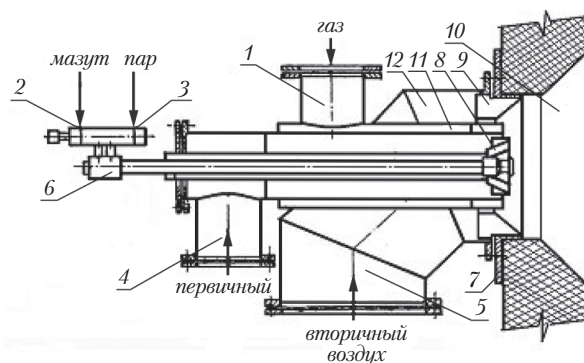


Рис. 13. Комбинированная однопоточная горелка ГМГм:

- 1 – вход газа; 2 – вход мазута;
- 3 – вход пара через газовыпускные отверстия;
- 4 – вход первичного воздуха; 5 – вход вторичного воздуха через смеситель; 6 – паромазутная форсунка;
- 7 – монтажная плита; 8 – завихритель первичного воздуха;
- 9 – завихритель вторичного воздуха;
- 10 – керамический туннель; 11 – газовый канал;
- 12 – канал вторичного воздуха

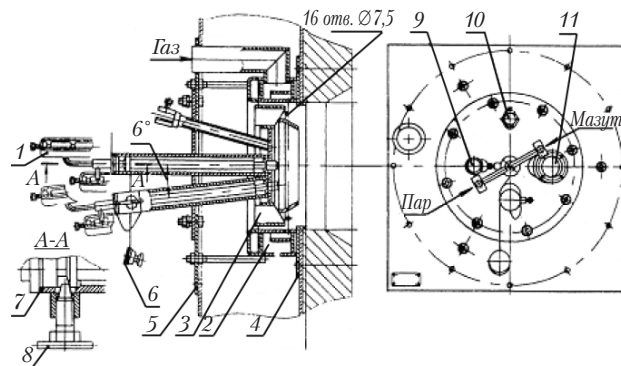


Рис. 14. Газомазутная комбинированная горелка ГМ-4,5:

- 1 – форсунка; 2 – газовый коллектор;
- 3 – лопаточный завихритель воздуха; 4 – фронтальной лист опоры; 5 – фланец; 6 – заглушка; 7 – прокладка;
- 8 – фиксатор; 9 – гляделка; 10 – фотодатчик; 11 – ЗЗУ

Газовая часть горелки состоит из кольцевого коллектора в сечении прямоугольной формы с одним рядом газовыпускных отверстий.

Внутри коллектора приварена разделительная обечайка для равномерного распределения газа по его объему. К торцу коллектора присоединен кольцевой обод полукруглой формы для обеспечения плавного входа воздуха в воздухонаправляющее устройство (ВНУ), основными элементами которого являются лопаточный завихритель и амбразура.

Воздух в ВНУ горелки поступает по воздуховоду, ограниченному фронтом котла и дополнительной металлической стенкой.

Блочная горелка

Это автоматическая горелка (рис. 15), скомпонованная с вентилятором в единый блок. Горелка укомплектована системой автоматического регулирования.

Блок управления (менеджер горения) управляет и контролирует работу горелки, получая команды от термостата (регулятора температуры), электрода контроля пламени и датчиков давления газа и воздуха.

Расход газа регулируется дисковым затвором (регулятором расхода газа), расположенным вне корпуса горелки.

Подпорная шайба отвечает за смешивание газа с воздухом в конической части пламенной трубы и используется для регулировки подводимого воздуха (регулировка со стороны напора).

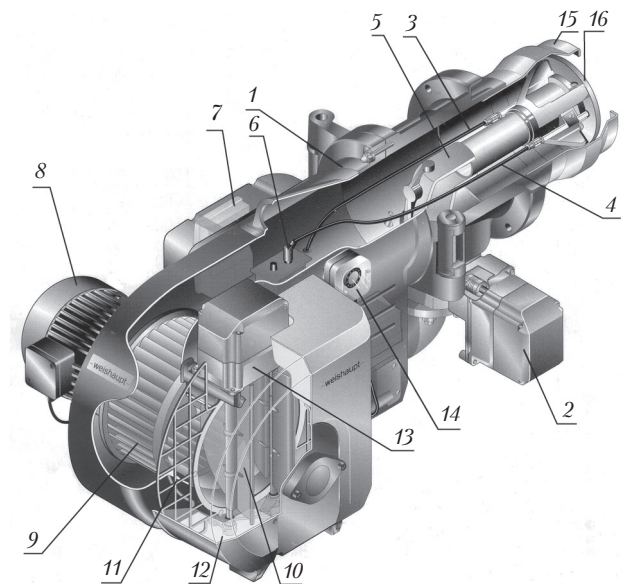


Рис. 15. Блочная горелка Monarch WM-G10:

- 1 – корпус; 2 – сервопривод газового дросселя;
- 3 – электрод контроля пламени; 4 – запальный электрод;
- 5 – смешительное устройство; 6 – электронный прибор зажигания; 7 – блок управления (менеджер горения, устройство управления и индикации);
- 8 – электродвигатель; 9 – вентиляционное колесо;
- 10 – воздушный дисковый затвор; 11 – защитная решетка;
- 12 – воздухосорбник с шумоглушителем; 13 – сервопривод воздушной заслонки; 14 – реле давления газа;
- 15 – пламенная труба; 16 – подпорная шайба

Другая возможность изменения количества подводимого воздуха заключается в изменении положения воздушного дискового затвора в корпусе регулятора воздуха (регулировка со стороны всасывания).

Регулирование соотношения «газ–воздух» (управление газовым и воздушным дисковыми затворами) может быть: связанным (от одного исполнительного механизма), частотным регулированием расхода воздуха (путем изменения частоты вращения электродвигателя вентилятора с применением инвертора, который состоит из частотного преобразователя и импульсного датчика), кислородным регулированием (путем точного дозирования топлива и воздуха). Управление таким процессом сжигания топлива осуществляется электронным устройством, которое называется менеджером горения.

Розжиг горелки производится автоматически прибором зажигания с помощью электрода зажигания. Наличие пламени контролируется электродом контроля пламени.

Рабочая последовательность включения горелки: запрос на выработку тепла (от термостата); включение электродвигателя вентилятора и предварительная вентиляция топки; включение электронного зажигания; открытие электромагнитного клапана, подача газа и розжиг горелки; сигнал датчика контроля пламени о наличии пламени.

Какие инциденты могут происходить на газовых горелках?

Отрыв пламени – перемещение корневой зоны факела от выходных отверстий горелки по направлению течения топлива или горючей смеси. Происходит, когда скорость газовой смеси или газа становится больше скорости распространения пламени. Пламя становится неустойчивым и может погаснуть. Через погасшую горелку продолжает идти газ, что может привести к образованию взрывоопасной смеси в топке.

Отрыв происходит при: повышении давления газа выше допустимого, резком увеличении подачи первичного воздуха, увеличении разрежения в топке.

Для защиты от отрыва пламени устанавливаются стабилизаторы горения, или, как их еще называют, горелочные камни (рис. 16): кирпичные горки и столбики; керамические туннели различных

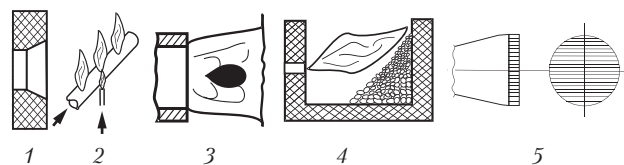


Рис. 16. Стабилизаторы горения:

- 1 – туннели; 2 – пилотный факел;
- 3 – плохобтекаемые тела; 4 – кирпичные горки;
- 5 – пластинчатые стабилизаторы

типов и кирпичные щели; плохообтекаемые тела, которые при работе горелки накаляются (при погасании пламени свежая струя газа загорится от стабилизатора), а также пилотные факелы.

Проскок пламени – перемещение зоны факела навстречу вытекающей смеси. Бывает только в горелках с предварительным смещением газа и воздуха. Происходит тогда, когда скорость газовоздушной смеси становится меньше скорости распространения пламени. Пламя проскакивает вовнутрь горелки, где продолжает гореть, вызывая деформацию горелки от перегрева.

Проскок происходит при: снижении давления газа перед горелкой ниже допустимого; розжиге горелки при подаче первичного воздуха; большой подаче газа при низком давлении воздуха.

Для защиты от проскока пламени устанавливаются пластинчатые или сетчатые стабилизаторы, т. к. через узкие щели и небольшие отверстия проскока пламени не происходит.

При проскоке может произойти небольшой хлопок, в результате которого пламя погаснет, при этом через неработающую горелку может продолжать поступать газ и произойти образование взрывоопасной смеси в топке и газоходах газоиспользующей установки.

Как производится изменение нагрузки горелки и установки?

Существуют горелки и установки с различными способами изменения тепловой мощности.

В горелке с многоступенчатым регулированием тепловой мощности регулятор расхода топлива может устанавливаться в нескольких положениях между максимальным и минимальным рабочими положениями.

В горелке с трехступенчатым регулированием тепловой мощности регулятор расхода топлива может устанавливаться в положениях «максимальный расход» – «минимальный расход» – «закрыто».

Горелка с двухступенчатым регулированием тепловой мощности работает в положениях «открыто» – «закрыто».

При работе *горелки с плавным регулированием* регулятор расхода топлива может устанавливаться в любом положении между максимальным и минимальным рабочими положениями.

Регулировать тепловую мощность установки можно количеством работающих горелок, если это предусмотрено заводом-изготовителем и режимной картой.

Изменение тепловой мощности вручную во избежание отрыва пламени производится следующим образом:

- при увеличении мощности вначале увеличивают подачу газа, а затем воздуха;
- при уменьшении мощности вначале снижают подачу воздуха, а затем газа.

Изменение мощности необходимо производить в несколько приемов для предотвращения инцидентов и аварий на горелках.

Как производится изменение нагрузки импортной горелки?

Регулирование тепловой мощности импортных горелок возможно несколькими способами, использование которых зависит от вида топлива, типоразмера горелки и конкретных условий организации процесса сжигания газообразного топлива.

Одноступенчатое регулирование является наиболее простым способом сжигания топлива и состоит из периодического включения и выключения горелки. При включении в горелку подается максимальное количество топлива (газа), таким образом горелка работает в режиме максимальной нагрузки.

Двухступенчатое регулирование основано на быстром включении горелки на минимальную или на максимальную мощность.

При *плавном двухступенчатом регулировании* минимальная и максимальная нагрузки устанавливаются в пределах заданного диапазона регулирования. Ввод в работу горелки происходит при минимальной тепловой мощности, соответствующей нагрузке зажигания. Регулирование мощности происходит плавно от малой нагрузки до максимальной в зависимости от теплопотребления. Внезапное увеличение расхода топлива или внезапное отключение горелки при этом способе регулирования исключаются.

Модулируемое регулирование – это плавное регулирование мощности в соответствии с запросом на теплопотребление в любой точке диапазона регулирования. Включение горелки происходит при нагрузке зажигания (в камеру сгорания подается небольшое количество газа). По истечении заданного программой времени включается режим минимальной нагрузки, а затем происходит плавное увеличение или уменьшение нагрузки. Выключение горелки происходит только при минимальной нагрузке.

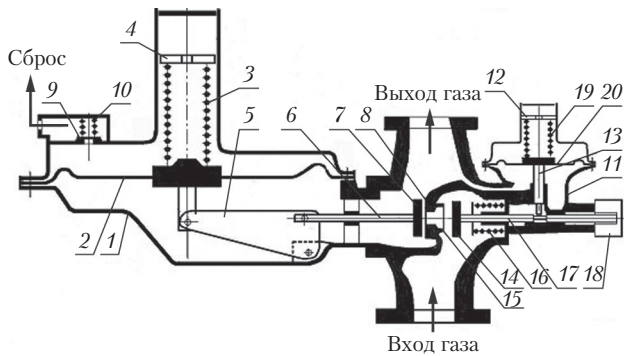


Рис. 54. Комбинированный регулятор прямого действия Тартарини:

- 1 – корпус РД; 2 – мембрана РД; 3 – пружина;
 4 – настроечная гайка; 5 – коленчатый рычаг; 6 – шток;
 7 – плунжер; 8, 15 – седло; 9 – клапан ПСК; 10 – ПСК;
 11 – ПЗК; 12 – настроечная шайба; 13 – стопорный шток;
 14 – золотник ПЗК; 16, 19 – пружина; 17 – шток;
 18 – пробка; 20 – мембрана ПЗК

ПЗК и ПСК. Устройство и принцип действия аналогичны регулятору РДНК.

Как работает механизм ПЗК комбинированных регуляторов давления типа RP/33 Тартарини?

Механизм ПЗК OS/66 (рис. 55) входит в состав комбинированных регуляторов давления типа RP/33 и является предохранительным запорным клапаном с пневматическим приводом типа OS/66. Это защитное устройство функционирует независимо от регулятора и может быть выполнено для срабатывания при установках давления по превышению или снижению давления газа за пороговое значение, а также в обоих случаях.

Выходное давление, действующее на мембрану 4, инициирует силу, противодействующую давлению пружины настройки максимального давления 1, таким образом преодолевая действие пружины настройки минимального давления запорного клапана 2.

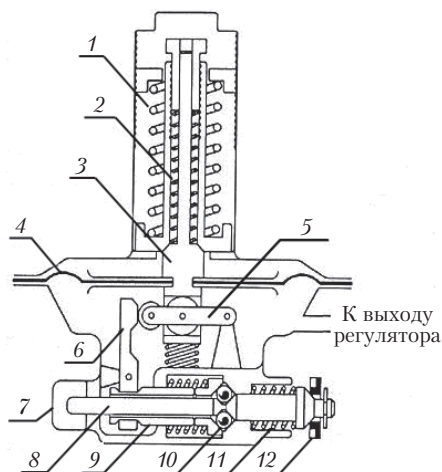


Рис. 55. Механизм ПЗК OS/66 Тартарини

При этом подвижная часть 3 клапана удерживается в сбалансированном состоянии, чтобы рычаг 5 находился на одном уровне с выступающей частью рычага 6. Кроме того, шарики 10 удерживаются втулкой 9, в свою очередь фиксируя золотник клапана 12 в открытом положении.

Любое изменение давления на выходе свыше установленного значения нарушает баланс. Фактически в случае увеличения давления на выходе действие пружины 1 преодолевается действием давления; в случае уменьшения давления на выходе действие пружины 2 преодолевает сжимающее действие давления. В обоих случаях подвижная часть 3 перемещает рычаг 5 и он больше не находится на одном уровне с выступающей частью рычага 6. Таким образом, рычаг 6 освобождает шарики 10, позволяя затвору клапана 12 закрыться под действием пружины 11.

Чтобы вернуть ПЗК в рабочее положение, необходимо выполнить следующие действия: вывернуть пробку 7, завинтить ее на шток 8 и медленно потянуть наружу, немного приоткрывая клапан, и удерживать в таком положении несколько секунд. Клапан оборудован внутренним байпасом. Это облегчает работу по восстановлению рабочего состояния клапана при высоком давлении. Подождя несколько секунд для перетока входного давления в выходной трубопровод, следует полностью вытянуть шток наружу, дождаться стабилизации выходного давления, а затем отпустить шток и убедиться, что устройство остается во взведенном положении. При отрицательном результате – повторить описанные выше действия. По окончании перезапуска установить крышку 7 в начальное положение.

Как устроены схемы ГРП (ГРУ) предприятий?

Все схемы построены по одному принципу и отличаются друг от друга набором оборудования. В зависимости от входного давления газа ГРП могут быть среднего и высокого давления. Схема ГРП (ГРУ) с регулятором давления газа типа РДУК или РДБК, включающая весь комплект возможного оборудования, приведена на рис. 67.

Как устроена схема ГРП (ГРУ) с РД и байпасом?

В состав ГРП (рис. 56) входят:

- газовый фильтр;
- линия редуцирования давления газа;
- обводная линия (байпас).

Пункт работает следующим образом.

Газ по входному газопроводу через входную задвижку 1, задвижку перед регулятором 2, фильтр 3 и ПЗК 4 поступает в регулятор давления газа 5, где происходит снижение давления газа до рабочего значения и поддержание этого давления на заданном уровне. Далее газ через задвижку после регулятора 6 подается потребителю.