

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ДВ.10. Проектирование систем энергообеспечения**

**Направление подготовки 35.03.06. Агроинженерия**

**Профиль образовательной программы «Электрооборудование и электротехнологии»**

**Форма обучения очная**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Конспект лекций</b> .....	3
<b>1.1 Лекция № 1</b> Характеристика систем отопления .....	3
<b>1.2 Лекция № 2</b> Отопительные приборы .....	15
<b>1.3 Лекция № 3</b> Элементы систем водяного отопления .....	23
<b>1.4 Лекция № 4</b> Теплопроводы систем отопления .....	32
<b>1.5 Лекция № 5</b> Схемы систем отопления .....	38
<b>1.6 Лекция № 6</b> Основы аэродинамики вентиляционных воздухопроводов и каналов .....	43
<b>1.7 Лекция № 7</b> Конструктивные элементы вентиляционных установок и систем .....	52
<b>1.8 Лекция № 8</b> Регулирование тепловой нагрузки .....	61
<b>1.9 Лекция № 9</b> Общая характеристика газового топлива .....	65
<b>1.10 Лекция № 10</b> Газопроводы .....	69
<b>1.11 Лекция № 11</b> Защита газопроводов от коррозии .....	72
<b>1.12 Лекция № 12, 13</b> Гидравлический расчет газовых сетей .....	80
<b>1.13 Лекция № 14, 15</b> Регулирование давление газа в сетях .....	85
<b>1.14 Лекция № 16, 17</b> Газоснабжение зданий .....	88
<b>1.15 Лекция № 18, 19</b> Газовое оборудование промышленных, коммунальных и коммунально-бытовых .....	92
<b>2. Методические материалы по проведению практических занятий</b> .....	94
<b>2.1 Лабораторная работа № 1</b> Расчет тепловой мощности системы отопления .....	94
<b>2.2 Лабораторная работа № 2</b> Определение коэффициента теплопередачи нагревательного прибора .....	101
<b>2.3 Лабораторная работа №3</b> Определение коэффициента затекания воды в нагревательный прибор .....	104
<b>2.4 Лабораторная работа №4</b> Определение теплоотдачи нагревательного прибора .....	110
<b>2.5 Лабораторная работа №5</b> Расчет воздухообмена и воздухораспределения в помещениях .....	117
<b>2.6 Лабораторная работа №6</b> Аэродинамический расчет воздухопроводов .....	123
<b>2.7 Лабораторная работа №7</b> Определение расчетных расходов горячей воды и теплоты .....	129
<b>2.8 Лабораторная работа №8</b> Гидравлический расчет подающих теплопроводов системы горячего водоснабжения .....	135
<b>2.9 Лабораторная работа №9, 10</b> Основные свойства и состав газообразного топлива ..	140
<b>2.10 Лабораторная работа №11, 12</b> - Горение газов. Защита газопроводов от коррозии .....	145
<b>2.11 Лабораторная работа №13, 14</b> Регуляторы давления газа .....	148
<b>2.12 Лабораторная работа №15, 16</b> Исследование инжекционной газовой горелки инфракрасного излучения .....	154
<b>2.13 Лабораторная работа №17, 18</b> Изучение конструкций газовых плит. Исследование работы бытовой газовой плиты .....	158
<b>2.14 Лабораторная работа №19, 20</b> Изучение конструкции и принципа работы газового проточного водонагревателя .....	162
<b>2.15 Лабораторная работа №21, 22, 23</b> Изучение конструкции и принципа работы емкостного газового водонагревателя .....	167
<b>2.16 Лабораторная работа №24, 25</b> Изучение установки сжиженного газа .....	172

## 1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

### 1. 1 Лекция №1 (2 часа).

**Тема: «Характеристика систем отопления»**

#### 1.1.1 Вопросы лекции:

1. Роль отопления здания в обеспечении требуемого микроклимата в его помещениях.
2. Расчетная мощность системы отопления.
3. Общая классификация систем отопления.
4. Местные и центральные системы.
5. Структурные схемы систем отопления.
6. Характеристика основных теплоносителей для систем отопления.

#### 1.1.2 Краткое содержание вопросов:

##### 1. Введение

**Газоснабжение** — это сложный комплекс добычи газа и его транспортирования потребителям.

Россия является одним из ведущих энергетических государств мира, которое не только удовлетворяет свои потребности в топливе и энергии, но и активно участвует в международной торговле энергоресурсами в качестве экспортера. Располагая 2,8 % населения и 12,8% территории мира, она имеет 12... 13% прогнозных ресурсов и около 12% разведанных запасов нефти, 45% ресурсов и 34 % запасов природного газа, около 23 % запасов каменного угля и 32 % запасов бурого угля, 14 % запасов урана.

Одним из основных источников энергии является природный газ. Его доля в мировой структуре производства первичных энергоресурсов превысила 20%. Природный газ является наиболее эффективным и экологически чистым видом топлива.

По сравнению с другими видами топлива природный газ имеет следующие преимущества:

- низкая себестоимость;
- высокая теплота сгорания, обеспечивающая целесообразность транспортирования его по магистральным газопроводам на значительные расстояния;
- полнота сгорания, при этом в окружающую природную среду попадает минимальное количество вредных веществ.
- высокая температура горения;
- возможность автоматизации процессов горения;
- повышенное значение коэффициента полезного действия за счет снижения потерь теплоты в окружающую среду;
- легкость регулирования температурных полей и состава газовой среды в рабочем пространстве печей и установок.

В нашей стране сосредоточено 30 % доказанных и свыше 40 % прогнозных мировых запасов газа. Однако по уровню газификации мы отстаем от западных стран.

Потребление природного газа составляет 60,8 % в топливном балансе страны, поэтому одним из направлений энергетической стратегии новой энергетической политики для повышения качества жизни населения является газификация.

Природный газ — высокоэффективный энергоноситель, и газоснабжение является одной из форм энергоснабжения, представляющей собой деятельность по обеспечению потребителей газом через системы газоснабжения и газораспределения, в том числе деятельность по формированию фонда разведанных месторождений газа, добыче, транспортированию, хранению и поставкам газа.

Система газоснабжения представляет собой имущественный производственный комплекс, состоящий из технологических, организационно и экономически

взаимосвязанных и централизованно управляемых производственных и иных объектов, предназначенных для добычи, транспортирования, хранения и поставок газа.

Эта система является совокупностью действующих на территории Российской Федерации систем газоснабжения: единой системы газоснабжения, региональных систем газоснабжения, газораспределительных систем и независимых организаций.

Единая система газоснабжения является основной системой газоснабжения РФ, ее деятельность регулируется государством..

Региональная система газоснабжения является основной системой газоснабжения территорий, ее деятельность контролируется уполномоченными государственной власти.

Газораспределительная система предназначена для транспортирования и подачи газа непосредственно потребителям.

**Деятельность по реализации научно-технических и проектных решений, осуществление строительно-монтажных работ и организационных мер, направленных на перевод объектов жилищно-коммунального хозяйства, промышленных и иных объектов на использование газа в качестве топливного и энергетического ресурса, называется газификацией.**

Газификация является одной из основ социально-экономического развития страны, обеспечивающей улучшение условий труда и быта населения, а также уменьшение загрязнения окружающей среды. Поэтому вопросы технической эксплуатации систем газоснабжения определяют в целом эффективность газификации.

Распределительные системы газоснабжения ставят задачи их расчета и повышения надежности при эксплуатации.

Использование газа как топлива приводит к необходимости изучения физико-химических основ его сжигания, методов расчета и проектирования газовых горелок, технологических особенностей агрегатов.

## **2. Газовые месторождения**

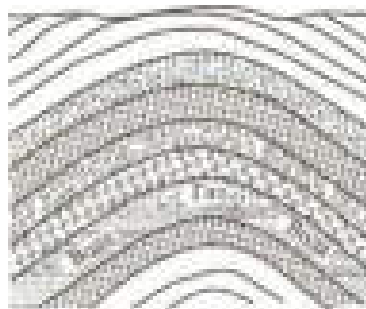
Природные углеводородные газы добывают из недр земли, они скапливаются в горных породах, имеющих сообщающиеся между собой пустоты. Породы, способные вмещать и отдавать газ, называются газовыми коллекторами. Они образуют в толщах горных пород огромные подземные природные резервуары, сверху и снизу ограниченные непроницаемыми породами, и являются залежами. Залежи, занимающие значительные площади, образуют месторождения.

Подземные резервуары имеют широкое горизонтальное распространение и в основном заполнены водой. Газовые скопления располагаются над водой и прижимаются к верхней малопроницаемой границе подземного резервуара.

На рис. 2.1 показаны газовые залежи простой формы, образованные антиклинальными складками пород. Бывают газовые залежи из нескольких газоносных пластов, или горизонтов. Давление в **газоносном** пласте зависит от глубины его залегания. Через каждые 10 м глубины давление в пласте возрастает на 0,0981 МПа.

Так как газ в подземных резервуарах находится под давлением, то при вскрытии его скважиной он способен притекать (фонтанировать) к поверхности с огромной скоростью.





Поверхность земли

Рис. 2.1. Газовые

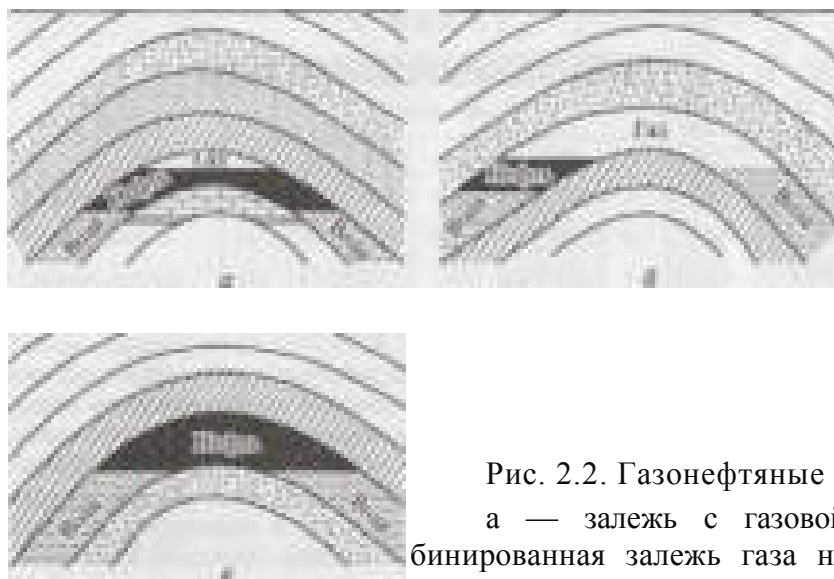


Рис. 2.2. Газонефтяные залежи:

а — залежь с газовой шапкой; б — комбинированная залежь газа на нефтяной и водяной подушках; в — нефтяная залежь

Природный газ получают также попутно с нефтью, в которой он растворен в объеме от 10 до 50 % от массы нефти. В подземном резервуаре, в котором нефть заключена вместе с газом, часть углеводородных газов (более тяжелых) находится в растворенном виде, а часть (метан, этан) располагается над нефтью, образуя так называемую газовую шапку (рис. 2.2, а). При вскрытии пласта скважиной вначале фонтанирует газ газовой подушки, а затем вследствие падения давления выделяется газ из нефти.

Если газ полностью растворен в нефти, он добывается вместе с ней. Обычно в 1 т нефти содержится 20...400 м<sup>3</sup> газа. Эту величину называют газовым фактором. Наиболее часто встречающиеся формы газонефтяных залежей показаны на рис. 2.2.

### 3. Газообразное состояние и его параметры

Газообразным состоянием называется такое состояние вещества, при котором силы, действующие между молекулами этого вещества, ничтожно малы, так же как и размеры самих молекул, по сравнению со средними расстояниями между ними. Движение молекул газа в межмолекулярном пространстве до их столкновения совершается в среднем равномерно, прямолинейно и беспорядочно. Состояние газа характеризуется его параметрами: давлением, плотностью или удельным объемом и температурой.

**Давление.** Давление газа обусловлено ударами молекул о стенки сосуда, заполненного газом, и определяется средней силой их действия на единицу площади поверхности. Давление, отсчитываемое от абсолютного вакуума, называется абсолютным.

Оно представляет собой давление газа на ограждающие его поверхности. Абсолютное давление — параметр состояния вещества.

Давление, отсчитываемое от имеющегося атмосферного (барометрического), называется относительным, или избыточным. Оно представляет собой:

- разность между абсолютным давлением  $p_{абс}$  и атмосферным давлением  $p_{атм}$  (давлением окружающей среды), если  $p_{абс} > p_{атм}$ , т.е.  $p_{изб} = p_{абс} - p_{атм}$ ;

- разность между атмосферным давлением и абсолютным давлением, если  $p_{атм} > p_{абс}$ . В этом случае относительное давление представляет собой давление разрежения, измеряемое вакуумметром,  $p_{вак} = p_{атм} - p_{абс}$

Единицей измерения давления в системе СИ служит Паскаль,  $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$

Давление может также измеряться в миллиметрах ртутного столба, мм рт. ст., или водяного столба, мм вод. ст. Соотношение указанных единиц измерения следующее:

$1 \text{ мм.вод.ст.} = 1 \text{ кгс/м}^2 = 9,807 \text{ Па}$ ;  $1 \text{ мм.рт.ст.} = 133,3 \text{ Па}$

**Плотность и удельный объем.** Плотность  $\rho$  - это масса вещества в единице объема, т.е. отношение массы вещества  $m$  к его объему  $V$ :

$$\rho = m/V$$

Объем, занимаемый единицей массы, называется удельным, или массовым, объемом и представляет собой величину, обратную плотности

$$V = 1/\rho$$

Плотность в системе СИ измеряется в  $\text{кг/м}^3$ , а удельный объем —  $\text{м}^3/\text{кг}$

Плотность газовой смеси определяется по формуле

$$\rho_{см} = 0,01(\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \dots + \rho_n V_n)$$

где  $\rho_1, \rho_2, \rho_n$  - плотность компонентов газового топлива;  $V_1, V_2, V_n$  - содержание компонентов по объему, %.

На практике часто пользуются понятием «относительная плотность»  $\rho_{отн}$ , которая представляет собой отношение плотности газа  $\rho_r$  к плотности воздуха  $\rho_{возд}$

$$\rho_{отн} = \rho_r / \rho_{возд}$$

При этом плотности газа и воздуха берутся при одинаковых давлении и температуре. Зависимость плотности газа от температуры и давления определяется соотношением

$$\rho_r = \frac{\rho_0 p T_0}{p_0 T}$$

где  $\rho_0$  — плотность газа при нормальных условиях ( $T_0 = 273 \text{ К}$  и  $p_0 = 101,3 \text{ кПа}$ );  $p$  — давление газа;  $T$  — температура газа. Значения плотности, относительной плотности и некоторых других параметров простых газов приведены в табл. 1.1.

**Температура.** Температура характеризует энергию, с которой движутся молекулы газа, т.е. кинетическое состояние молекул газа, степень его нагретости.

В России приняты две температурные шкалы: термодинамическая и международная практическая. Термодинамическая температурная шкала основана на законах термодинамики и, в частности, на идеальном цикле Карно. Эта шкала теоретическая, так как идеальный цикл Карно неосуществим.

Измерение температур в технике производится по международной практической шкале температур. Международная практическая шкала температур по мере совершенствования температурных измерений все время уточняется и приближается к термодинамической.

Температурная шкала основана на реперных точках воспроизводимых температур фазового равновесия химически чистых веществ при нормальном атмосферном давлении ( $p_0 = 101,325$  кПа). К ним относятся следующие точки: кипение кислорода ( $-182,962$  °C); затвердевание воды ( $0,000$  °C); кипение воды ( $100,000$  °C); кипение серы ( $444,60$  °C); плавление серебра ( $961,970$  °C); плавление золота ( $1\,064,430$  °C).

Единицей температуры в СИ является кельвин (K).

Наряду с этим температура измеряется по международной стоградусной шкале в градусах Цельсия (°C). Температура, отсчитываемая от абсолютного нуля, называется абсолютной.

Соотношение между температурой  $t$  в градусах Цельсия и температурой  $T$  в кельвинах с достаточной для практики точностью может быть выражено следующей зависимостью:

$$T = t + 273,35.$$

(1.5)

**Критические и приведенные параметры газов.** Для каждого газа существуют определенные температура и давление, ниже которых данный газ не может существовать в газообразном состоянии, поскольку превращается в жидкость.

Температура, выше которой данный газ не может быть сжижен любым повышением давления, называется критической температурой, а соответствующее ей давление — критическим давлением.

Удельный объем данного газа при критических температуре и давлении называется критическим объемом.

Критические параметры различных газов приведены в табл. 1.1.

Отношения абсолютных значений физических параметров газа к его критическим параметрам называются приведенными параметрами:

$$T_{пр} = \frac{T}{T_{кр}}; \quad p_{пр} = \frac{p}{p_{кр}}; \quad V_{пр} = \frac{V}{V_{кр}}.$$

**Нормальные и стандартные условия.** Для сравнения объемных количеств газа их приводят к нормальным и стандартным условиям. Нормальными считаются условия при температуре 0 °C ( $T_0 = -273,15$  K) и давлении  $p_0 = 760$  мм рт. ст. (0,1 МПа).

Стандартными считаются условия при температуре 20 °C ( $T_{ст} = -293,15$  K) и давлении  $p_{ст} = 760$  мм рт. ст. (0,1 МПа).

Приведение объема  $V$  газа к нормальным условиям (н. м<sup>3</sup>) производится по формуле

$$V_{нр} = V \frac{273,15 p}{(273,15 + T) p_0},$$

к стандартным (ст. м<sup>3</sup>) —

$$V_{ст} = V \frac{273,15 p}{(273,15 + T) p_0}.$$

Таблица 1.1

Физико-химические свойства некоторых простых газов

Газ	Формула	Молярная масса, кг/кмоль	Плотность, кг/м³	Относительная плотность	Температура, °C		Критические параметры		
					критическая	плавления при давлении 101,325 кПа	Температура, °C	Давление, МПа	Плотность, кг/м³
Водород	H <sub>2</sub>	2,016	0,089	0,069	-252,7	-259,2	-239,9	1,18	31
Оксид углерода	CO	28,010	1,250	0,967	-191,5	-205,1	-140,2	3,39	301
Метан	CH <sub>4</sub>	16,043	0,717	0,555	-161,5	-182,5	-83,5	4,48	138
Этан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30,070	1,355	1,048	-88,6	-183,3	32,1	4,57	206
Пропан	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,096	2,011	1,555	-42,1	-187,7	96,8	4,00	224
Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,123	2,708	2,094	-0,5	-138,8	152,1	3,55	228
Этилен	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28,054	1,216	0,975	-103,8	-169,2	9,5	4,75	215
Пропилен	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42,080	1,913	1,480	-47,7	-185,2	91,0	4,32	320
Бутилен	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,108	2,597	2,008	-6,3	-135,4	146,4	3,9	233
Диоксид углерода	CO <sub>2</sub>	44,011	1,977	1,529	-78,5	-56,6	31,1	7,14	468
Кислород	O <sub>2</sub>	32,000	1,429	1,105	-183,0	-218,8	-118,3	4,90	430
Азот	N <sub>2</sub>	28,013	1,250	0,967	-195,8	-210,0	-146,9	3,27	311
Атмосферный воздух	—	28,966	1,293	1,000	-191,0	-213,0	-140,7	3,65	335
Диоксид серы	SO <sub>2</sub>	64,066	2,926	2,262	-10,0	-75,5	157,5	7,88	525
Сероводород	H <sub>2</sub> S	34,082	1,536	1,188	-60,2	-87,7	100,4	9,00	349
Водяной пар	H <sub>2</sub> O	18,02	0,833	0,644	100	—	374,1	21,66	324

#### 4. Физические свойства газов

Важнейшими физическими свойствами газов являются молярная масса, плотность, вязкость и влажность. От свойств простых горючих и балластных газов, входящих в состав газового топлива, зависят его теплофизические свойства.

Молярная масса  $M$ , кг/кмоль, — это отношение массы вещества к его количеству. Молярная масса некоторых простых газов дана в табл. 1.1.

Плотность  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, — это масса газа, приходящаяся на 1 м<sup>3</sup> занимаемого им объема (рассмотрена в подразд. 1.1).

Вязкость — это способность газа оказывать сопротивление взаимному перемещению частиц. В соответствии с кинетической теорией газов молекулы соседних слоев газа перемешиваются вследствие теплового движения частиц. Происходит перенос импульса от молекул быстро движущегося слоя к молекулам более медленно движущегося слоя. В результате постепенно выравниваются скорости движения в соседних слоях движущегося потока газа. Сила внутреннего трения, противодействующая движению частиц в слоях, движущихся с различными скоростями, может быть определена по закону Ньютона, согласно которому сила внутреннего трения, отнесенная к единице поверхности, пропорциональна градиенту скорости:

$$f = \mu \frac{dw}{dn},$$

где  $\mu$  — коэффициент внутреннего трения;  $\frac{dw}{dn}$  — градиент скорости в направлении, перпендикулярном к плоскости соприкосновения слоев ( $dw$  — изменение скорости на бесконечно малом расстоянии  $dn$ , перпендикулярном к плоскости соприкосновения слоев).

В общем случае, если отнести силу внутреннего трения к произвольной поверхности соприкосновения слоев:

$$F = fS = \mu S \frac{dw}{dn},$$

где  $S$  — площадь поверхности параллельно перемещающихся слоев.

При  $\frac{dw}{dn} = 1$   $f = \mu$ . Коэффициент  $\mu$  представляет собой силу трения, приходящуюся на единицу поверхности соприкосновения двух соседних слоев, движущихся друг относительно друга, при условии, что на единицу длины нормали к поверхности соприкосновения скорость движения изменяется на единицу. Коэффициент внутреннего трения  $\mu$  называется *абсолютной*, или *динамической*, вязкостью, измеряется в паскаль-секундах (Па·с). В технических расчетах чаще применяют производную величину — *кинематическую вязкость*, м<sup>2</sup>/с,

$$\nu = \mu \rho,$$

где  $\rho$  — плотность газа.

Вязкость газа зависит от средней скорости теплового движения молекул и растет с увеличением температуры. Зависимость вязкости газа от температуры определяется формулой Сутерленда:

$$\mu = \mu_0 \frac{T_0 + C}{T + C} \left( \frac{T}{T_0} \right)^{3/2},$$

где  $\mu_0$  — абсолютная вязкость при температуре 0 °С;  $C$  — эмпирический безразмерный коэффициент.

Для смеси газов

$$\mu = \frac{100}{\sum \frac{m_i}{\mu_i}},$$

где  $m_i$  — массовая доля  $i$ -го компонента в смеси, %;  $\mu_i$  — динамическая вязкость  $i$ -го компонента.

Значения динамической и кинематической вязкости, а также эмпирического коэффициента  $C$ , входящего в формулу Сутерленда, для воздуха и углеводородных газов приведены в табл. 1.2.

Вязкость может быть определена лишь в условиях ламинарного течения газа. В условиях турбулентного движения вязкость перестает быть физической константой. В этом случае оперируют понятием о турбулентном сопротивлении.

*Влажность*, г/м<sup>3</sup>, г/кг, %, — содержание в газе водяного пара.

Насыщение газа водяными парами может быть только до определенного предела, который зависит от температуры и давления. Температура, при которой газ, находящийся под определенным давлением, насыщен до предела водяными парами, называется *точкой росы*. Охлаждение от этой точки приводит к конденсации водяных паров.

Одной из качественных характеристик влажности газа является *парциальное давление*, или упругость водяных паров, т. е. давление водяных паров при условии, что им предоставлен весь объем, занятый влажным газом.

Таблица 1.2

Значения вязкости некоторых газов при температуре 0 °С  
и давлении 101,3 кПа

Газ	$\mu$ , Па·с · 10 <sup>-4</sup>	$\nu$ , (м <sup>2</sup> /с) · 10 <sup>-4</sup>	Коэффициент $C$ в формуле Сутерленда
Водород	8,35	93,8	83
Оксид углерода	16,93	13,55	102
Метан	10,55	14,71	198
Этан	8,77	6,65	287
Пропан	7,65	3,82	324
Бутан	6,97	2,55	349
Пропилен	7,82	4,11	322
Бутилен	7,78	3,12	329
Диоксида углерода	14,09	7,10	355
Кислород	19,58	13,73	138
Азот	16,93	13,55	107
Атмосферный воздух	17,53	13,56	122
Сероводород	11,82	7,68	331
Водяной пар при температуре 100 °С	8,7	14,80	673

Различают абсолютную, удельную и относительную влажность газа.

*Абсолютной влажностью (влажностью)* газа называется количество или масса водяных паров, содержащихся в единице объема газа. Единица измерения абсолютной влажности — г/м<sup>3</sup>.

*Удельной влажностью* газа называется количество или масса водяного пара, приходящаяся на единицу массы влажного газа. Единица измерения удельной влажности — г/кг.

*Относительной влажностью* газа (степенью насыщения газа водяными парами) называется отношение абсолютной влажности газа к максимально возможной влажности при заданных температуре и давлении. Относительную влажность газа  $\varphi$  выражают в процентах и определяют как отношение парциального давления содержащегося в газе водяного пара  $p$  к давлению насыщенного водяного пара  $P$  при той же температуре:

$$\varphi = \frac{p}{P}.$$



Значения парциального давления водяного пара и влагосодержания воздуха в состоянии насыщения приведены в табл. 1.3. Таблица может быть использована для любых газов при давлении, близком к атмосферному.

Влажность газа  $W$ , кг, при различных давлениях на 1 кг сухого газа, можно определить по формуле

$$W = \frac{R_g}{R_v} \frac{\phi p_s}{p - p_s}, \quad (1.40)$$

где  $R_g$  и  $R_v$  — удельные газовые постоянные соответственно сухого газа и водяного пара, Дж/(кг·К);  $\phi$  — относительная влажность газа;  $p$  — общее давление влажного газа, кПа;  $p_s$  — упругость насыщенного водяного пара, кПа.

При давлении газа  $p$ , значительно превышающем парциальное давление водяного пара:

$$W = \frac{R_g}{R_v} \frac{p_s}{p} \phi. \quad (1.41)$$

Пересчет объема влажного газа  $V_v$  на объем сухого газа  $V$  при нормальных условиях производится по формуле

$$V = V_v \frac{273,15(p_0 + p_r + p_s)}{(273,15 + t)101,3}, \quad (1.42)$$

где  $p_0$  — атмосферное (барометрическое) давление;  $p_r$  — избыточное давление газа;  $p_s$  — парциальное давление (упругость) водяного пара в газе (содержание и упругость водяных паров в газах приводятся в специальных таблицах, а также определяются по графикам зависимости от давления и температуры).

Насыщенные пары углеводородных газов при данных температуре и давлении находятся в точке росы. При постоянном давлении и уменьшении температуры часть паров конденсируется. Изменение давления при постоянной температуре приводит к смещению равновесия точки росы, но состояние насыщенности паров сохраняется.

Точка росы имеет важное значение в двухфазных системах (пример таких систем — сжиженные газы, представляющие собой пропан-бутановые смеси). Для предотвращения конденсатообразования при естественном испарении в различных климатических зонах и в различные периоды года необходимо применять сжиженные газы с различным соотношением пропана и бутана. Точки росы для смесей пропана и  $n$ -бутана при давлении 3 кПа:

Пропан, % .....	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
$n$ -бутан, % .....	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Точка росы, °C .....	-42	-32	-26	-2	-17	-13	-10	-8	-5	-2	0

Таблица 1.3

Парциальное давление водяных паров и влагосодержание в состоянии насыщения

Температура, °C	Углеродность водяных паров, кгПа	Содержание водяных паров, г/м³	Температура, °C	Углеродность водяных паров, кгПа	Содержание водяных паров, г/м³	Температура, °C	Углеродность водяных паров, кгПа	Содержание водяных паров, г/м³
-30	0,037	0,33	-2	0,517	4,13	26	3,360	24,4
-28	0,046	0,41	0	0,611	4,84	28	3,771	27,2
-26	0,057	0,51	2	0,705	5,60	30	4,241	30,3
-24	0,069	0,60	4	0,813	6,40	32	4,753	33,9
-22	0,085	0,73	6	0,934	7,3	34	5,318	37,6
-20	0,103	0,88	8	1,072	8,3	36	5,940	41,8
-18	0,125	1,05	10	1,227	9,4	38	6,624	46,3
-16	0,150	1,27	12	1,401	10,7	40	7,375	51,2
-14	0,181	1,51	14	1,597	12,1	50	12,33	83,0
-12	0,217	1,80	16	1,817	13,6	60	19,92	130
-10	0,260	2,14	18	2,062	15,4	70	31,17	198
-8	0,309	2,54	20	2,337	17,3	80	47,36	293
-6	0,368	2,99	22	2,642	19,4	90	70,11	424
-4	0,437	3,51	24	2,982	21,8	100	101,33	598

### Вопросы на самостоятельное изучение

- 1.Разновидности газового топлива.
- 2.Теплофизические свойства газа

## **1. 2 Лекция №2 (2 часа).**

### **Тема: «Отопительные приборы»**

#### **1.2.1 Вопросы лекции:**

1. Классификация отопительных приборов и предъявляемые к ним требования.
2. Коэффициент теплопередачи отопительных приборов.
3. Номинальный и фактический тепловой поток от прибора.
4. Выбор и размещение отопительных приборов в помещениях.
5. Расчет площади нагревательной поверхности и числа элементов отопительных приборов различных видов.

#### **1.2.2 Краткое содержание вопросов:**

### **1. Подготовка газа к транспортированию и использованию**

Широкое распространение получили технологические системы группового сбора газа, которые позволяют улучшить качество подготовки газа к транспортированию. Возможны две технологические схемы сбора газа: централизованная и децентрализованная.

При централизованной схеме на установках комплексной подготовки газа (УКПГ) осуществляют сбор и первичную обработку газа, а окончательную его подготовку к транспортированию проводят на головных сооружениях (ГС). Данную систему применяют на газовых месторождениях.

Децентрализованная схема предусматривает сбор, первичную и окончательную подготовку газа к транспортированию на УКПГ. Эту схему применяют на газоконденсатных месторождениях с большим запасом газа и высоким пластовым давлением.

Выбор типа технологических установок по обработке газа зависит от следующих факторов: фракционный состав газа; содержание в газе вредных компонентов (сероводорода, углекислоты и др.); количество содержащейся в газе воды; производительность скважин; давление и температура газа.

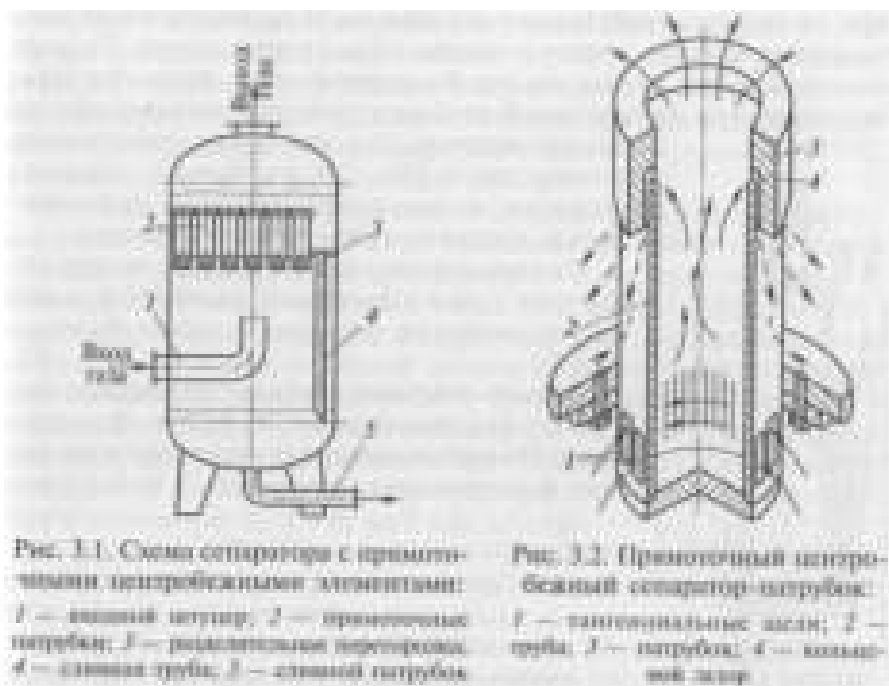
Газ, подаваемый в магистральный газопровод, должен быть очищен от механических и агрессивных химических примесей и осушен.

### **2. Очистка горючих газов от пыли, сероводорода, углекислого газа, осушка и одоризация**

**Очистка газа от механических примесей.** Механические примеси — это твердые, жидкие и газообразные вещества, входящие в состав газа и снижающие его теплоту сгорания. К механическим примесям также относят конденсат (углеводороды от гексана до керосина) с более высокой теплотой сгорания, чем у природного газа.

Для очистки природного газа от механических примесей на пути движения его от месторождения до потребителя устанавливают сепараторы, фильтры. Выбор технологии очистки газа от примесей зависит от размеров частиц и требуемой степени очистки. Наиболее широко используют гравитационный и инерционный принципы отделения газа от капельной жидкости и твердых механических примесей. Сепараторы устанавливают у скважин. В гравитационных сепараторах механические примеси выпадают под действием силы тяжести при малых скоростях движения газа. Недостатки таких сепараторов — большая металлоемкость и невысокая эффективность очистки.

В инерционных сепараторах механические примеси выпадают под действием силы тяжести и центробежных сил, возникающих при криволинейном движении газа.



### 3. Технологическая схема магистрального газопровода

Магистральный газопровод — это трубопровод, предназначенный для транспортирования газа от места добычи до места потребления. Магистральные газопроводы сооружают из стальных труб диаметром от 325 до 1 400 мм. Рабочее давление в них составляет 5,5 или 7,5 МПа. Возможно сооружение магистральных газопроводов с рабочим давлением 10 МПа и более. Оптимальные диаметры и основные параметры магистрального газопровода выбирают на основании технико-экономических расчетов.

Газ по газопроводу движется либо за счет энергии пластового давления, либо за счет энергии, передаваемой газу компрессорными станциями, расположенными вдоль газопровода.

Магистральный газопровод включает в себя головные сооружения, линейную часть, линейные компрессорные станции, станции подземного хранения газа, газораспределительные станции.

Головные сооружения — это комплекс сооружений, предназначенных для подготовки газа к транспортированию, т. е. для его очистки, осушки, одоризации. Сооружают их вблизи газовых промыслов. Очищенный и осушенный газ поступает в газопровод, по которому его перекачивают к месту потребления. Линейная часть магистрального газопровода включает в себя различные комплексы сооружений и установок, с помощью которых обеспечивается надежность и долговечность работы трубопровода.

Газопровод сооружают постоянного или переменного диаметра в одну или несколько ниток, которые укладывают параллельно.

Параллельные нитки могут быть как на всем протяжении от начальной до конечной точки газопровода, так и на отдельных участках. Трубопроводы, уложенные на отдельных участках газопровода параллельно ему для увеличения производительности и надежности его работы, называются лупингами.

На трассе газопровода через каждые 20...25 км устанавливают линейные крановые узлы, включающие в себя запорные устройства (краны), обводные и продувочные линии. Кроме того, крановые узлы устанавливают на всех отводах от газопровода,

переходах через водные преграды (на обоих берегах), перемычках между газопроводами и вблизи мест подключения компрессорной станции.

Используя эти узлы, можно отключить участки газопровода, освободить их от газа (через свечи), продуть, заполнить газом и включить в действие после выполнения ремонтных работ. В местах установки линейных крановых узлов предусматриваются устройства для визуального и дистанционного замера давления, заливки метанола внутрь газопровода, контроля прохождения очистных поршней (сигнализаторы прохождения поршня), телеизмерения и телеуправления.

Для сбора и удаления конденсата из газопровода в наиболее низких его местах предусматривается установка конденсатосборников. Для очистки внутренней поверхности газопровода от механических примесей предусматриваются устройства, позволяющие запускать и принимать (улавливать) очистные поршни. Для приема конденсата сооружают специальные резервуары, а также установки для очистки и перекачки чистого конденсата на базу хранения или в пункты налива в железнодорожные или автомобильные цистерны.

Для предохранения металла труб от почвенной коррозии используют установки катодной и протекторной защиты.

Компрессорные станции (КС) — это комплекс сооружений газопровода, предназначенных для очистки, компримирования и охлаждения газа. Их число и места расстановки по трассе газопровода определяют гидравлическим расчетом.

Станции подземного хранения газа (СПХГ) — это комплекс сооружений, предназначенных для закачки в пласт, хранения, отбора из него газа и подачи его в магистральные газопроводы.

Подземные хранилища природного газа (ПХПГ) позволяют сглаживать неравномерность газопотребления. Наличие хранилищ, подключенных к магистральному газопроводу, дает возможность проводить на газопроводах ремонтные работы.

Газ, поступающий из магистрального газопровода компримируется на компрессорной станции и через скважины подается в пласт. Газ из пласта отбирают через скважины (под давлением пласта), затем направляют на очистку и осушку и подают в магистральный газопровод. В летнее время имеются избытки газа, которые закачивают в ПХПГ. В зимнее время, когда возрастает потребность в газовом топливе, газ отбирают из подземного газового хранилища.

Газораспределительная станция (ГРС) — это комплекс сооружений газопровода, предназначенных для снижения давления, очистки, одоризации и учета расхода газа перед подачей его потребителям. Сооружают ГРС в конечном пункте магистрального газопровода и на всех его отводах.

#### **4. Классификация газопроводов**

Системы газоснабжения состоят из распределительных газопроводов, газораспределительных станций (ГРС), газорегуляторных пунктов (ГРП) и газорегуляторных установок (ГРУ). В системах газоснабжения городов и населенных пунктов в зависимости от давления транспортируемого газа различают: газопроводы высокого давления I категории (рабочее давление газа свыше 0,6 до 1,2 МПа); газопроводы высокого давления II категории (рабочее давление газа свыше 0,3 до 0,6 МПа); газопроводы среднего давления (рабочее давление газа свыше 0,005 до 0,3 МПа); газопроводы низкого давления (рабочее давление газа до 0,005 МПа).

Газопровод является важным элементом системы газораспределения, так как на его сооружение расходуется от 70 до 80% всех капитальных вложений. При этом 80% от общей протяженности приходится на газопроводы низкого давления и 20 % — на газопроводы среднего и высокого давлений.

Газопроводы низкого давления служат для подачи газа к жилым домам, общественным зданиям и коммунально-бытовым предприятиям.

Газопроводы среднего давления через ГРП снабжают газом газопроводы низкого давления, а также промышленные и коммунально-бытовые предприятия. По газопроводам высокого давления газ поступает в ГРП промышленных предприятий и газопроводы среднего давления. Связь между газопроводами различных давлений осуществляется через ГРП и ГРУ.

В зависимости от расположения газопроводы подразделяются на наружные (уличные, внутриквартальные, дворовые, межцеховые) и внутренние (расположенные внутри зданий и помещений), а также на подземные и надземные. В зависимости от назначения в системе распределения газа газопроводы подразделяются на распределительные, газопроводы-вводы, вводные, продувочные, сбросные и межпоселковые.

Распределительными являются наружные газопроводы, обеспечивающие подачу газа от источников газоснабжения до газопроводов-вводов, а также газопроводы высокого и среднего давлений, предназначенные для подачи газа к одному объекту.

Газопроводом-вводом считается участок от места присоединения к распределительному газопроводу до отключающего устройства на вводе.

Вводным газопроводом считается участок от отключающего устройства на вводе в здание до внутреннего газопровода.

Продувочный газопровод предназначен для продувки системы распределения газа агрегата перед вводом его в действие.

Сбросным газопроводом считается труба для аварийного сброса давления газа.

Межпоселковыми являются распределительные газопроводы, прокладываемые вне территории населенных пунктов.

Внутренним газопроводом считают участок от газопровода-ввода или вводного газопровода до места подключения газового прибора или теплового агрегата.

В зависимости от материала труб газопроводы подразделяются на металлические (стальные, медные) и неметаллические (полиэтиленовые).

Различают также трубопроводы с природным и сжиженным углеводородным газами.

По принципу построения системы распределения газа подразделяются на кольцевые, тупиковые и смешанные. В тупиковых системах газ поступает потребителю в одном направлении, т. е. потребители имеют одностороннее питание.

В отличие от тупиковых, кольцевые сети состоят из замкнутых контуров, в результате чего газ может поступать к потребителям по двум или нескольким линиям.

Надежность кольцевых сетей выше тупиковых. При проведении ремонтных работ на кольцевых сетях отключается только часть потребителей, присоединенных к данному участку.

В систему распределения газа входят: распределительные газопроводы всех давлений, газораспределительные станции и газоре-гуляторные пункты. Все элементы систем газоснабжения должны обеспечивать надежность и безопасность подачи газа потребителям.

В зависимости от числа ступеней давления газа в газопроводах системы газоснабжения городов и населенных пунктов подразделяются на одно-, двух-, трех- и многоступенчатые.

Одноступенчатые системы распределения газа обеспечивают подачу газа потребителям по газопроводам только одного давления, как правило, низкого (рис. 4.1).

В зависимости от назначения в системе распределения газа газопроводы подразделяются на распределительные, газопроводы-вводы, вводные, продувочные, сбросные и межпоселковые.

Распределительными являются наружные газопроводы, обеспечивающие подачу газа от источников газоснабжения до газопроводов-вводов, а также газопроводы высокого и среднего давлений, предназначенные для подачи газа к одному объекту.

Газопроводом-вводом считается участок от места присоединения к распределительному газопроводу до отключающего устройства на вводе.

Вводным газопроводом считается участок от отключающего устройства на вводе в здание до внутреннего газопровода.

Продувочный газопровод предназначен для продувки системы распределения газа агрегата перед вводом его в действие.

Сбросным газопроводом считается труба для аварийного сброса давления газа.

Межпоселковыми являются распределительные газопроводы, прокладываемые вне территории населенных пунктов.

Внутренним газопроводом считают участок от газопровода-ввода или вводного газопровода до места подключения газового прибора или теплового агрегата.

В зависимости от материала труб газопроводы подразделяются на металлические (стальные, медные) и неметаллические (полиэтиленовые).

Различают также трубопроводы с природным и сжиженным углеводородным газами.

По принципу построения системы распределения газа подразделяются на кольцевые, тупиковые и смешанные. В тупиковых системах газ поступает потребителю в одном направлении, т. е. потребители имеют одностороннее питание.

В отличие от тупиковых, кольцевые сети состоят из замкнутых контуров, в результате чего газ может поступать к потребителям по двум или нескольким линиям.

Надежность кольцевых сетей выше тупиковых. При проведении ремонтных работ на кольцевых сетях отключается только часть потребителей, присоединенных к данному участку.

В систему распределения газа входят: распределительные газопроводы всех давлений, газораспределительные станции и газоре-гуляторные пункты. Все элементы систем газоснабжения должны обеспечивать надежность и безопасность подачи газа потребителям.

В зависимости от числа ступеней давления газа в газопроводах системы газоснабжения городов и населенных пунктов подразделяются на одно-, двух-, трех- и многоступенчатые.

Одноступенчатые системы распределения газа обеспечивают подачу газа потребителям по газопроводам только одного давления, как правило, низкого (рис. 1).

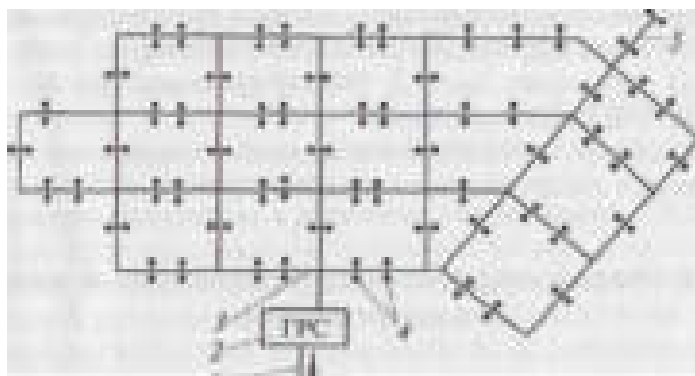


Рис. 1. Схема одноступенчатой системы распределения газа:

/ — магистральный газопровод; 2 — газораспределительная станция; 3 — кольцевой газопровод; 4 — ответвления к потребителям; 5 — тупиковый газопровод

Двухступенчатые системы распределения газа (рис. 2) обеспечивают распределение и подачу газа потребителям по газопроводам среднего и низкого или высокого и низкого давлений.

Трехступенчатая система распределения газа позволяет осуществлять распределение и подачу газа потребителям по газопроводам низкого, среднего и высокого давлений.

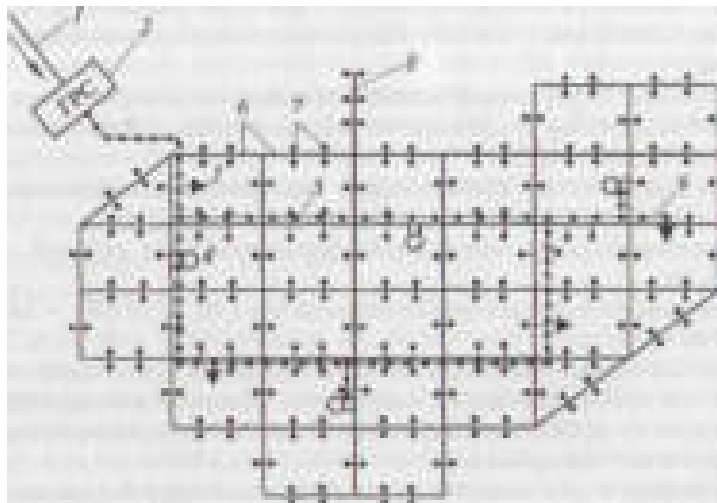


Рис. 2. Схема двухступенчатой системы распределения газа:

1 — магистральный газопровод высокого давления; 2 — ГРС; 3 — крупные потребители газа; 4 — городские ГРП, питающие газопроводы низкого давления; 5 — газопроводы высокого и среднего давлений; 6 — кольцевые газопроводы низкого давления; 7 — ответвления к потребителям; 8 — тупиковый газопровод низкого давления; 9 — тупиковый газопровод среднего давления

Многоступенчатая система газоснабжения предусматривает распределение газа по газопроводам высокого I категории (до 1,2 МПа), высокого II категории (до 0,6 МПа), среднего (до 0,3 МПа) и низкого (до 500 даПа) давлений.

Выбор системы газоснабжения зависит от характера планировки и плотности застройки населенного пункта.

## 5. Устройство подземных, надземных и наземных газопроводов

**Устройство подземных газопроводов.** Система газоснабжения должна быть надежной и экономичной, что определяется правильным выбором трассы газопровода, который зависит от расстояния до потребителя, ширины проездов, вида дорожного покрытия, наличия вдоль трассы различных сооружений и препятствий, а также от рельефа местности. Минимальная глубина заложения газопроводов должна быть не менее 0,8 м. В местах, где не предусматривается движение транспорта, глубина заложения газопровода может составлять 0,6 м.

Расстояние от газопровода до наружной стены колодцев и камер подземных сооружений должно быть не менее 0,3 м.

Допускается укладка двух и более газопроводов в одной траншее на одном или разных уровнях. При этом расстояние между газопроводами в свету должно быть достаточным для их монтажа и ремонта.

Расстояние по вертикали между подземными газопроводами всех давлений и другими подземными сооружениями и коммуникациями должно составлять:

- при пересечении водопровода, канализации, водостока, каналов телефонных и



теплосети — не менее 0,2 м;

- электрокабелей и телефонных бронированных кабелей — не менее 0,5 м;  
электрокабелей масло наполненных (на 110... 220 кВ) — не менее 1,0 м.

Допускается уменьшать расстояние между газопроводом и электрокабелем при прокладке их в футлярах. При этом концы футляра электрокабеля должны выходить на 1 м по обе стороны от стенок пересекаемого газопровода.

При пересечении каналов теплосети, коллекторов, туннелей с переходом над или под ними следует предусматривать прокладку газопровода в футляре, выходящем на 2 м в обе стороны от наружных стенок пересекаемых сооружений, а также проверку физическими методами контроля всех сварных стыков в пределах пересечения и на расстоянии 5 м в стороны от наружных стенок этих сооружений.

Запорную арматуру и конденсатосборники на газопроводах устанавливают на расстоянии не менее 2 м от края пересекаемой коммуникации или сооружения.

Газопроводы в местах прохода через наружные стены зданий заключают в футляры диаметром не менее чем на 100...200 мм больше диаметра газопровода.

**Устройство надземных и наземных газопроводов.** Надземные газопроводы прокладывают на отдельно стоящих опорах, эстакадах и колоннах. Газопроводы с рабочим давлением до 0,6 МПа допускается также прокладывать по стенам производственных зданий с помещениями категории безопасности В, Д; газопроводы с давлением до 0,3 МПа — по стенам общественных зданий и жилых домов не ниже **III, III(a)** степеней огнестойкости, а газопроводы низкого давления — по стенам общественных зданий и жилых домов IV и V степеней огнестойкости.

Надземные газопроводы проектируют с учетом компенсации продольных деформаций по фактически возможным температурным условиям работы, а в случае, когда не обеспечивается самокомпенсация, — с учетом установки компенсатора.

Высоту прокладки принимают с учетом возможности его осмотра и ремонта.

Под оконными проемами и балконами жилых и общественных зданий газопроводы не должны иметь разъемных соединений.

Расстояния между надземными газопроводами и трубопроводами другого назначения при их совместной прокладке и пересечении принимают следующими: при диаметре газопровода до 300 мм — не менее диаметра газопровода, но не менее 100 мм; при диаметре более 300 мм — не менее 300 мм.

При пересечении с воздушными линиями электропередачи (ЛЭП) наземные газопроводы размещают ниже этих линий, причем минимальные расстояния по вертикали между ними зависят от напряжения:

Напряжение ЛЭП, кВ....	до 1	20	35	до 150	220	330	500
Расстояние, м .....	1	3	4	4,5	5	6	6,5

Прокладка газопроводов по железнодорожным и автомобильным мостам осуществляется таким образом, чтобы исключить возможность скопления газа в случае его утечки в конструкциях моста. Газопроводы, подвешиваемые к мостам, должны выполняться из стальных бесшовных или прямошовных труб, изготовленных электродуговой сваркой, и иметь компенсирующие устройства.

Газопроводы, проложенные по металлическим и железобетонным мостам, плотинам и другим гидротехническим сооружениям, должны быть электроизолированы от металлических частей.

Расстояние между опорами надземных газопроводов определяется расчетом. Узлы и детали крепления газопроводов выполняются по рабочим чертежам типовых конструкций.

## 6. Запорные устройства

К запорным устройствам относятся трубопроводная арматура (краны, задвижки, вентили), гидравлические задвижки и затворы, а также быстродействующие (отсечные) устройства с пневматическим или магнитным приводом.

Запорные устройства должны обеспечивать: герметичность отключения; минимальные потери давления в открытом положении; удобство обслуживания и ремонта. Принципиальные схемы работы различных запорных устройств приведены на рис. 4.8.

Запирающий орган (затвор) крана (рис. 8, а) представляет собой пробку, вращающуюся в корпусе вокруг своей оси. В шаровых кранах пробка имеет шарообразную форму, а в остальных — форму усеченного конуса. Имеющееся в пробке сквозное отверстие в шаровых кранах круглое, а в остальных — щелевидное. Для полного открытия пробку необходимо повернуть на  $90^\circ$ .

Проход в задвижке (рис. 8, б) перекрывается затвором, имеющим форму плоского диска или клина и передвигающимся в плоскости, перпендикулярной направлению движения газа. Для полного открытия затвор выдвигают на расстояние, равное условному диаметру прохода  $D_v$ .

Вентильный затвор (рис. 8, в) перемещается вдоль оси седла, и для полного открытия его достаточно поднять на  $\frac{1}{4} D_v$ .

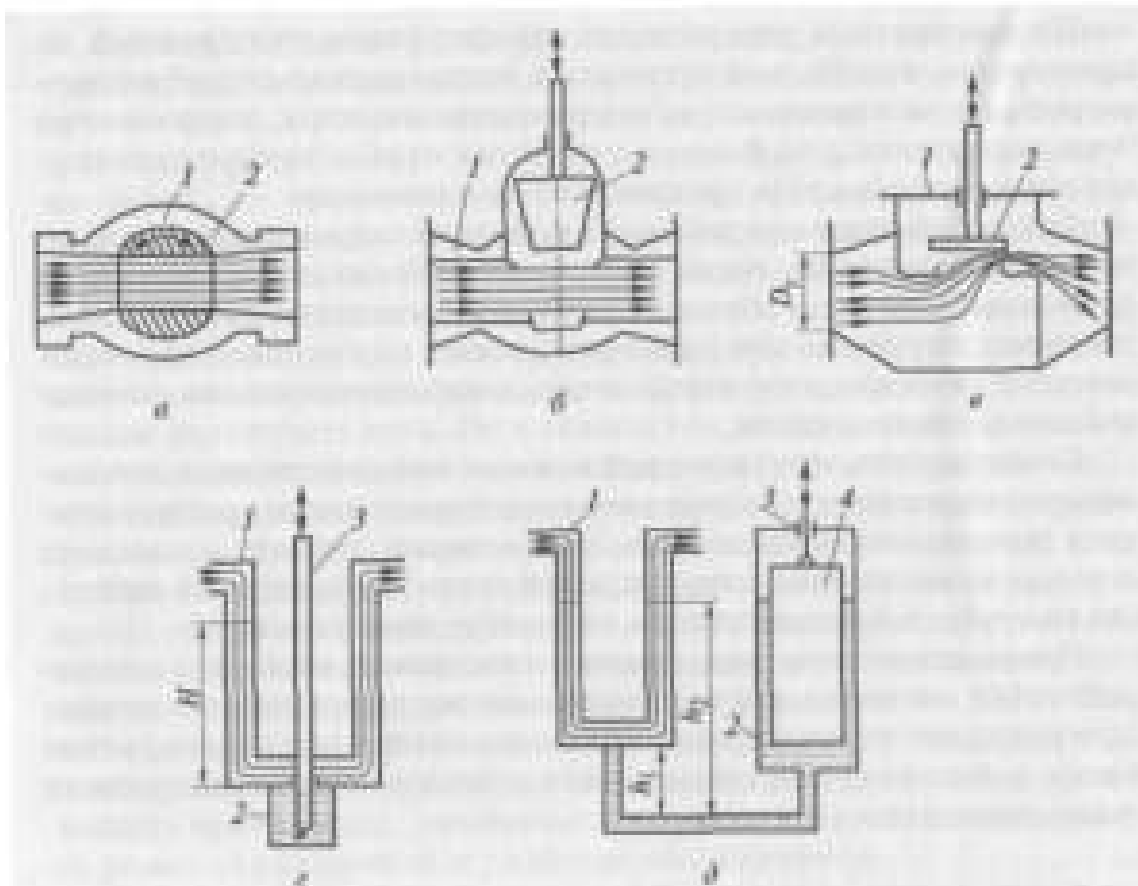


Рис. 4.8. Принципиальные схемы работы запорных устройств:

а — кран; б — задвижка; в — вентиль; г — гидрозатвор; д — гидравлическая задвижка; 1 — корпус; 2 — запирающий орган; 3 — трубка для клинчат вилы; 4 — клинчат

гидрозатворе и гидравлической задвижке (рис. 4.8, г, д) затвором служит вода, высота столба которой  $H - h_2 - \Delta h$  должна превышать максимальное давление (300 мм вод. ст.) в газопроводе.

Привод к затворам запорных устройств может быть ручным, механическим, пневматическим и гидравлическим, электрическим и электромагнитным.

### **1.3 Лекция №3 (2 часа).**

#### **Тема: «Элементы систем водяного отопления»**

##### **1.3.1 Вопросы лекции:**

1. Циркуляционные насосы, особенности их работы и размещения в системе отопления.
2. Подача и давление насосов.
3. Смесительная установка.
4. Функции смесительных насосов и изменение давления в системе отопления в зависимости от места установки насоса.
5. Коэффициент смешения.
6. Устройство и применение водоструйного элеватора.
7. Расширительный бак. Открытый и закрытый баки. Определение объема бака.
8. Удаление воздуха из системы отопления.
9. Состояние и перемещение воздуха в системе водяного отопления. Центральное и местное удаление воздуха.;

##### **1.3.2 Краткое содержание вопросов:**

#### **1. Виды коррозии**

Коррозией называется постепенное разрушение металла вследствие химического или электрохимического воздействия.

Химическая коррозия — взаимодействие металла с коррозионной средой. При этом металл взаимодействует со средой, не проводящей электрический ток. Протекающие окислительно-восстановительные реакции осуществляются путем непосредственного перехода электронов с атома металла на частицу (молекулу, атом) — окислитель, входящий в состав среды.

Электрохимическая коррозия — взаимодействие металла с коррозионной средой, при котором ионизация атомов металла и восстановление окислительного компонента коррозионной среды протекают не одновременно и их скорости зависят от электродного потенциала.

При электрохимической коррозии металл соприкасается с растворами, проводящими электрический ток, — электролитами.

Вследствие неоднородности строения металла, наличия примесей и различного состава раствора при соприкосновении металла с электролитом образуются микроскопические гальванические элементы, у которых катодом служат посторонние примеси, а анодом — сам металл. Ионы металла переходят в раствор, освобожденные электроны перемещаются к катодным участкам.

Процесс коррозии зависит от электродных потенциалов анодных и катодных участков.

При электрохимической коррозии протекают два самостоятельных процесса: анодный — переход металла в раствор в виде гидратированных ионов с оставлением эквивалентного числа электронов в металле, и катодный — ассимиляция находящихся в металле избыточных электронов.

Анодные и катодные процессы происходят на различных участках, однако могут протекать и на одной поверхности, чередуясь по времени.

Основными источниками блуждающих токов являются рельсовые сети трамвая, метрополитена и электрифицированной железной дороги. Положительный полюс источника постоянного тока электрифицированного транспорта подключается к контактному проводу, а отрицательный — к ходовым рельсам. Ток от положительной шины тяговой подстанции по питающей линии поступает в контактный провод, а оттуда через токоприемник — к двигателям электровоза и далее через колесные пары, рельсы и землю в отсасывающую линию к минусовой шине тяговой подстанции. Стекающий в землю ток, который называют *блуждающим*, тем больше, чем меньше переходное сопротивление между рельсами и землей и чем больше предельное сопротивление рельсов.

Наиболее значительные токи **утечки** наблюдаются на участках путей электрифицированных железных дорог, где имеются малые переходные сопротивления между рельсами и землей и большие тяговые токи. Блуждающие токи, возникающие при этом, могут распространяться на большие расстояния. Блуждающие токи, проникая в подземный газопровод, создают три потенциальные зоны: катодную — участок входа блуждающего тока из почвы в газопровод (не опасную в коррозионном отношении); анодную — участок выхода блуждающего тока из газопровода (опасную в коррозионном отношении); знакопеременную — участок газопровода, где наблюдается изменение потенциальной зоны во времени, т.е. возникают то анодная, то катодная зоны.

## **2.     *Защита газопроводов от почвенной коррозии и блуждающих токов***

Защита газопроводов от коррозии подразделяется на пассивную и активную.

**Пассивная защита.** Этот вид защиты предусматривает изоляцию газопровода. При этом используют покрытие на основе битумно-полимерных, битумно-минеральных, полимерных, этиленовых и битумно-резиновых мастик. Антикоррозийное покрытие должно иметь достаточные механическую прочность, пластичность, хорошую прилипаемость к металлу труб, обладать диэлектрическими свойствами, а также оно не должно разрушаться от биологического воздействия и содержать компоненты, вызывающие коррозию металла труб.

Одним из широко используемых методов пассивной защиты является изоляция липкими полимерными лентами шириной 400, 450, 500 мм или по заказу. Согласно ГОСТ 20477-86 в зависимости от толщины ленты основа ее может быть марок А или Б.

**Активная защита.** Методы активной защиты (катодная, протекторная, электродренажная) в основном сводятся к созданию такого электрического режима для газопровода, при котором коррозия трубопровода прекращается.

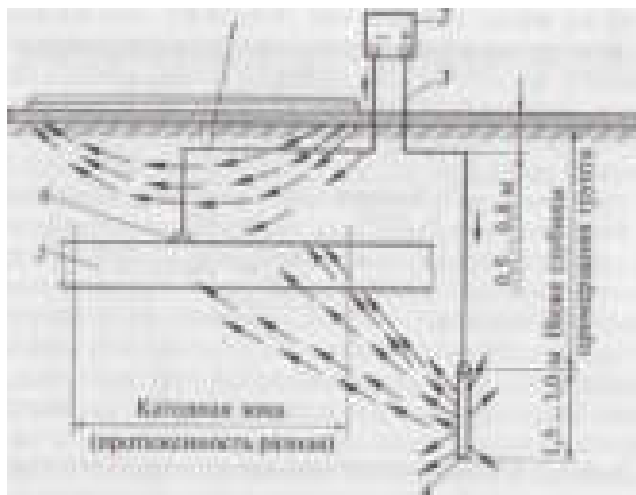


Рис. 1. Схема катодной защиты:

/ — дренажный кабель; 2 — источник постоянного тока; 3 — соединительный кабель; 4 — заземлитель (анод); 5 — газопровод; б — точка дренирования

**Катодная защита.** При катодной защите (рис. 1) для создания гальванической пары используется внешний источник питания 2. При этом катодом является газопровод 5, подсоединенный в точке дренирования б посредством дренажного кабеля к отрицательному электроду источника питания; анодом является металлическая штанга 4, заглубленная в грунт ниже зоны промерзания его.

Одна катодная станция обеспечивает защиту газопровода протяженностью до 1 000 м.

**Протекторная (электродная) защита.** При протекторной защите участок газопровода превращается в катод не за счет источника питания, а за счет использования протектора. Последний соединен проводником с газопроводом и образует с ним гальваническую пару, в которой газопровод является катодом, а протектор — анодом. В качестве протектора используется металл с более отрицательным потенциалом, чем у железа.

Принцип работы протекторной защиты показан на рис. 2. Ток от протектора 3 через грунт попадает на газопровод б, а затем по изолированному соединительному кабелю к протектору. Протектор при стекании с него тока будет разрушаться, защищая газопровод.

Зона действия протекторной установки приблизительно 70 м. Главное назначение протекторных установок — дополнение к дренажной или катодной защите на удаленных газопроводах для полного снятия положительных потенциалов.

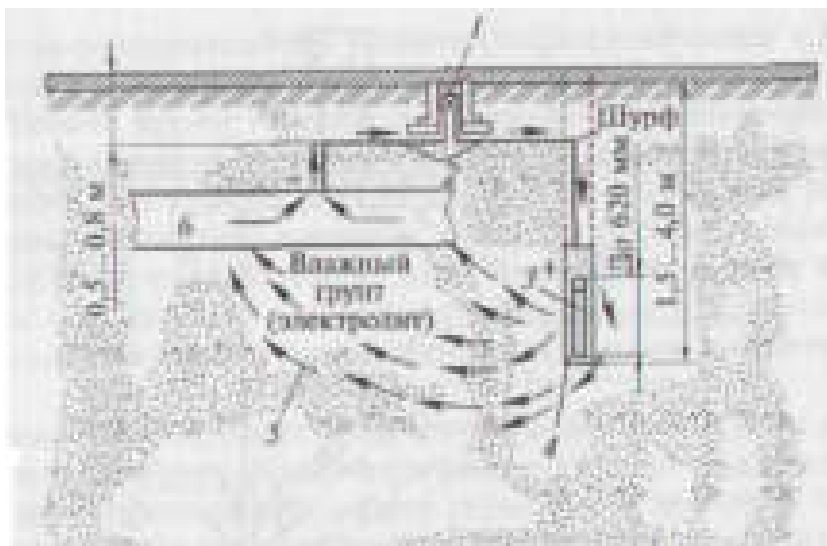


Рис. 2. Схема протекторной (электродной) защиты:  
 / — контрольный пункт; 2 — соединительные кабели; 3 — протектор (электрод);  
 4 — заполнитель (соли + глина + вода); 5 — пути движения защитного тока в грунте; 6 — газопровод

**Электродренажная защита.** При электродренажной защите ток отводится из анодной зоны газопровода к источнику (рельсу или отрицательной шине тяговой подстанции). Зона защиты около 5 км.

Применяют три типа дренажа: прямой (простой), поляризованный и усиленный.

Прямой дренаж характеризуется двухсторонней проводимостью (рис.3). Дренажный кабель присоединяется только к минусовой шине. Главный недостаток заключается в возникновении положительного потенциала на газопроводе при нарушении стыковых соединений рельсов, поэтому, несмотря на простоту, эти установки в городских газопроводах не применяют.

Поляризованный дренаж обладает односторонней проводимостью от газопровода к источнику. При появлении положительного потенциала на рельсах дренажный кабель автоматически отключается, поэтому его можно присоединять к рельсам.

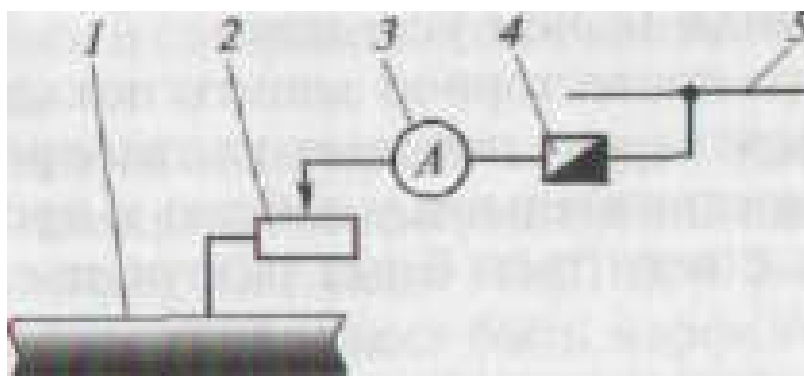


Рис. 3. Схема прямого (простого) дренажа:  
 / — защищаемый газопровод; 2 — регулировочный реостат; 3 — амперметр; 4 — предохранитель; 5 — минусовая шина (отсасывающий кабель)

Усиленный дренаж применяют, когда на газопроводе остается положительный или знакопеременный потенциал по отношению к земле, а потенциал рельса в точке дренирования тока выше потенциала газопровода. В усиленном дренаже дополнительно в цепь включают источник ЭДС, позволяющий увеличить дренажный ток. Заземлением в данном случае служат рельсы.

**Изолирующие фланцевые соединения и вставки.** Они используются дополнительно к устройствам электрохимической защиты и позволяют разбивать газопровод на отдельные участки, уменьшая проводимость и силу тока, протекающего по газопроводу. Электроизолирующие соединения (ЭИС) — прокладки между фланцами из резины или эбонита. Вставки из полиэтиленовых труб применяют для отсечения различных подземных сооружений друг от друга. Установка ЭИС приводит к сокращению затрат электроэнергии за счет исключения потерь тока перетекания на смежные коммуникации. ЭИС устанавливают на вводах к потребителям, подземных и надводных переходах газопроводов через препятствия, а также на вводах газопроводов в ГРС, ГРП и ГРУ.

**Электрические перемычки.** Электрические перемычки устанавливают на смежных металлических сооружениях в том случае, когда на одном сооружении имеются положительные потенциалы (анодная зона), а на другом — отрицательные (катодная зона), при этом на обоих сооружениях устанавливаются отрицательные потенциалы. Перемычки применяют при прокладке по одной улице газопроводов различного давления.

### 3. Мероприятия по защите подземных газопроводов от коррозии

**Защита от коррозии.** Все подземные стальные трубопроводы должны быть защищены от почвенной коррозии и коррозии, вызываемой блуждающими токами. Защита от коррозии подземных стальных трубопроводов осуществляется по проектам. Проекты защиты от коррозии подземных стальных трубопроводов должны разрабатываться одновременно с проектированием самих газопроводов. Мероприятия по защите от коррозии строящихся подземных трубопроводов и включение в работу устройств электрохимической защиты должны осуществляться до сдачи трубопроводов в эксплуатацию, но не позднее чем через шесть месяцев после укладки их в грунт.

Внешняя поверхность подземных металлических трубопроводов подвергается электрохимической коррозии, которая в зависимости от условий может быть вызвана взаимодействием наружной поверхности металла с окружающей средой (почвой) или воздействием на металл блуждающих токов.

Таблица 1 Показатели коррозионной активности грунта по отношению к стали

Степень коррозионной активности	Удельное электрическое сопротивление грунта, Ом ■ м	Потери массы образца, г	Средняя плотность поляризующего тока, мА/см
Низкая	Свыше 100	До 1	До 0,05
Средняя	20... 100	1...2	0,05 ...0,2
Высокая	До 20	Свыше 2	Свыше 0,2

Опасность почвенной коррозии подземных металлических сооружений, зависящая от коррозионной активности грунта по отношению к стальным подземным трубопроводам, определяется тремя показателями: удельным электрическим сопротивлением грунта, потерями массы образцов и плотностью поляризующего тока (табл. 1).

Критерием опасности коррозии, вызываемой блуждающими токами, является наличие положительной или знакопеременной разности потенциалов между трубопроводом и землей (анодной или знакопеременной зоны). Опасность коррозии подземных трубопроводов блуждающими токами оценивают на основании электрических измерений. Основным показателем, определяющим опасность коррозии стальных подземных трубопроводов под действием переменного тока электрифицированного транспорта, является смещение разности потенциалов между трубопроводом и землей в отрицательную сторону не менее чем на 10 мВ по сравнению со стандартным потенциалом трубопровода.

Защита подземных стальных трубопроводов от почвенной коррозии и коррозии, вызываемой блуждающими токами, осуществляется путем их изоляции от контакта с окружающим грунтом и ограничения проникновения блуждающих токов из окружающей среды и путем катодной поляризации металла трубопровода. Для уменьшения влияния коррозии рационально выбирают трассу трубопровода, а также используют различные типы изоляционных покрытий и специальные способы прокладки газопроводов. Подземные стальные трубопроводы, прокладываемые непосредственно в грунтах с высокой коррозионной активностью, защищают от почвенной коррозии с помощью изоляционных покрытий и катодной поляризации. Причем при использовании последней поляризационные потенциалы, создаваемые на всей поверхности трубопровода, по абсолютному значению должны соответствовать значениям табл. 2.

Измерение поляризационных потенциалов на подземных стальных трубопроводах осуществляют на специально оборудованных

контрольно-измерительных пунктах. На действующих стальных трубопроводах, не оборудованных такими пунктами, для измерения поляризационных потенциалов допускается осуществлять катодную поляризацию таким образом, чтобы значения потенциала трубы по отношению к медно-сульфатному электроду сравнения составляли -0,87...-2,5 В. На действующих стальных трубопроводах катодную поляризацию подземных стальных трубопроводов проводят таким образом, чтобы исключить вредное влияние ее на соседние подземные металлические сооружения. Это достигается уменьшением абсолютного значения минимального потенциала и увеличением абсолютного значения максимального защитного потенциала соседних подземных металлических сооружений, ранее не требовавших защиты.

#### **4. Коррозионные измерения на подземных стальных трубопроводах.**

Эти измерения выполняют для определения степени опасности электрохимической коррозии подземных трубопроводов и эффективности действия электрохимической защиты и осуществляются в ходе проектирования, строительства и эксплуатации устройств противокоррозионной защиты подземных стальных трубопроводов.

Целью коррозионных измерений при проектировании защиты вновь сооружаемых подземных трубопроводов является выявление участков трасс, опасных в отношении подземной коррозии. При этом определяют коррозионную активность грунта и наличие блуждающих токов в земле.

Коррозионные измерения при строительстве подземных трубопроводов подразделяются на две группы: проводимые при производстве изоляционно-укладочных работ и проводимые при монтажных работах и наладке электрохимической защиты. При



монтажных работах и наладке электрохимической защиты измерения проводят для определения параметров установок электрохимической защиты и контроля эффективности их действия.

В сети действующих трубопроводов измерение потенциалов проводят в зонах действия средств электрозащиты подземных сооружений и в зонах влияния источников блуждающих токов два раза в год, а также после каждого значительного изменения коррозионных условий (режима работы электрозащитных установок, системы электроснабжения электрифицированного транспорта). Результаты измерения фиксируют в картах-схемах подземных трубопроводов. В остальных случаях измерения производят один раз в год.

Удельное сопротивление грунта определяют с помощью специальных измерительных приборов М-416, Ф-416 и ЭП-1М. Для измерения напряжений и тока при коррозионных измерениях используют показывающие и регистрирующие приборы. Вольтметры применяют с внутренним сопротивлением не менее 20 кОм на 1 В. При проведении коррозионных измерений наибольшее распространение получили неполяризующиеся медно-сульфатные электроды: ЭН-1; НН-СЗ-56; МЭП-АКХ; МЭСД-АКХ и др.

Неполяризующиеся медно-сульфатные электроды длительного действия с датчиком электрохимического потенциала используются в качестве электродов сравнения при измерениях разности потенциалов между трубопроводом и землей, а также поляризованного потенциала стального трубопровода, защищаемого методом катодной поляризации.

Таблица 2

Нормированные значения поляризационных (защитных) потенциалов		
Металл трубопровода	Поляризационный (защитный) потенциал по отношению к медно-сульфатному не поляризуемому электроду в любой среде, В	
	минимальный	максимальный
Сталь с защитным покрытием	-0,85	-1,1
Сталь без защитного покрытия	-0,85	Не ограничивается

## 5. Определение коррозионной активности грунта.

При определении коррозионной активности по потере массы стальных образцов и поляризационным кривым производят отбор и обработку проб испытываемого грунта. Пробы грунта отбирают в шурфах, скважинах и траншеях из слоев, расположенных на глубине прокладки сооружения, с интервалами 50...200 м на расстоянии 0,3...0,5 м от боковой стенки трубы. Для пробы берут 1,5...2 кг грунта и удаляют из него твердые включения размером более 3 мм. Определение коррозионной активности грунта по потере массы стальных образцов производят на специальной установке (рис. 5.5), состоящей из жестяной банки, источника регулируемого напряжения постоянного тока Си стального образца. Образец представляет собой стальную трубку длиной 100 мм, изготовленную из водогазопроводных труб, обточенную снаружи и внутри.

Стальной образец устанавливают в жестяную банку и изолируют от дна банки с помощью пробки. Пробку укрепляют на нижнем торце трубки так,

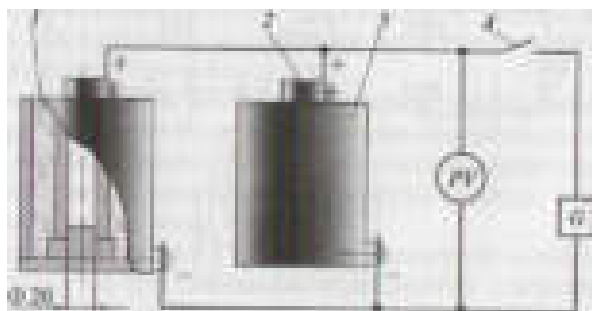


Рис. 5.5. Установка для определения коррозионной активности грунта по потере массы стальных образцов: 1 — испытываемый грунт; 2 — стальная трубка; 3 - банка; 4 — выключатель

чтобы расстояние между трубкой и банкой было 10... 12 мм. Отобранную пробу грунта просушивают. Банку заполняют испытываемым фунтом. Грунт увлажняют дистиллированной водой до появления на его поверхности непоглощенной влаги. К трубке подключают положительный, а к банке — отрицательный полюс регулируемого источника постоянного тока. Трубка находится под током в течение 24 ч при напряжении 6 В между трубкой и банкой.

После отключения тока трубку извлекают из грунта, очищают от него и рыхлых продуктов коррозии и подвергают катодному травлению в восьми процентном растворе гидрата оксида натрия при плотности тока 15...20 А/дм<sup>2</sup> до полного удаления продуктов коррозии. После удаления продуктов коррозии образец промывают дистиллированной водой, высушивают и взвешивают.

Определение коррозионной активности грунта по отношению к стали по поляризационным кривым производится по схеме, показанной на рис. 5.6, которая включает в себя источник регулируемого напряжения постоянного тока *G*; прерыватель тока ПТ; стакан вместимостью не менее 1 л из материала, обладающего диэлектрическими свойствами; вольтметр *PV* с внутренним сопротивлением не менее 20 кОм и миллиамперметр *PA*; электроды *E1* и *E2*. К каждому электроду припаивают изолированный проводник. Пробу грунта отбирают, сохраняя ее влажность, и помещают в стакан. Один электрод присоединяют к положительному полюсу источника тока, другой — к отрицательному. Для снятия поляризационной кривой электроды поляризуют при увеличении плотности тока. При этом достаточно задания трех-четырех значений тока. На основании полученных данных строят диаграмму.

**Определение наличия блуждающих токов в земле.** Наличие блуждающих токов в земле на трассе проектируемого трубопровода

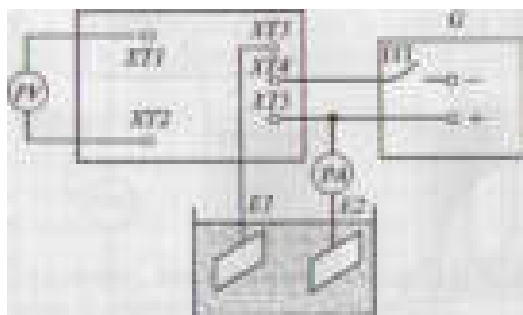


Рис 6. Схема для определения коррозионной активности грунта по поляризационным кривым:

AT/, XT2 — клеммы для подсоединения вольтметра; XT3, XT4, XT5 — клеммы для подсоединения датчика, трубы и электрода сравнения соответственно по результатам измерений разности потенциалов между проложенными в данном районе подземными металлическими сооружениями и землей.

Схема электрических измерений для обнаружения блуждающих токов в земле приведена на рис. 7. Для измерений используют медно-сульфатные электроды сравнения. Возможны два варианта расположения измерительных электродов на местности: параллельно будущей трассе сооружения, а затем перпендикулярно к оси трассы и в соответствии со сторонами света.

Второй вариант наиболее удобен в тех случаях, когда изучаются коррозионные условия целого района, а также при сложной трассе подземного сооружения.

Если одна из установок ориентирована по предполагаемой трассе трубопровода, то положительная клемма прибора подключается к электроду, направленному в сторону ее начала. Электроды, установленные перпендикулярно, подключают так, чтобы «нижний» электрод соединялся с положительной клеммой прибора, а «верхний» — с отрицательной. При расположении по второму варианту электроды, ориентированные на юг и запад, соединяют с положительными клеммами соединительных приборов, а на север и восток — с отрицательными. Если измеряемая разность потенциалов устойчива, т.е. не изменяется по амплитуде и знаку, это указывает на наличие в земле токов почвенного происхождения либо токов от линии передачи постоянного тока по системе провод-земля. Если измеряемая разность потенциалов имеет неустойчивый характер, т.е. изменяется по амплитуде и знаку или только по амплитуде, это указывает на наличие блуждающих токов от электрифицированного транспорта.

Измерение разности потенциалов между трубопроводом и землей. Измерения производят при помощи высокоомных показывающих или самопишущих приборов. Положительную клемму измерительного прибора присоединяют к трубопроводу, а отрицательную — к электроду сравнения.

Измерения выполняют в контрольно-измерительных пунктах или существующих на трубопроводах устройствах (сифонах, задвижках, гидрозатворах, регуляторных станциях и узлах домовых вводов). При проведении измерений на контрольно-измерительных пунктах соединительный провод от отрицательной клеммы вольтметра подключают к электроду сравнения контрольно-измерительных пунктов.

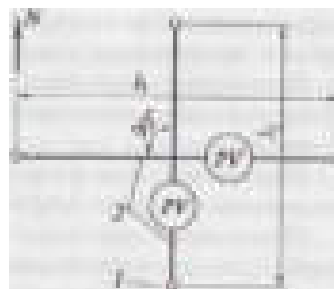


Рис. 7. Схема измерений для блуждающих токов в земле:

обнаружения

/— медно-сульфатный электрод; 2 — изолированные провода

#### 1. 4 Лекция №4 (2 часа).

##### Тема: «Теплопроводы систем отопления»

##### 1.4.1 Вопросы лекции:

1. Теплопроводы в системах отопления.
2. Применяемые материалы и стандарты.
3. Сравнение теплопроводов по технико-экономическим и эксплуатационным показателям.
4. Прокладка теплопроводов в зданиях.
5. Компенсация теплового удлинения, уклон и тепловая изоляция труб.
6. Регулирующая и запорная арматура в различных системах отопления.

##### 1.4.2 Краткое содержание вопросов:

##### 1. Классификация потребителей газа. Расчет годового потребления газа городом

Все виды потребления газа можно сгруппировать следующим образом: бытовое (в городских квартирах, домах сельской местности); коммунальное (на предприятиях бытового обслуживания, общественного питания, по производству хлебобулочных изделий и учреждениях здравоохранения и др.); на отопление и вентиляцию жилых и общественных зданий; промышленное.

Годовое потребление газа является основой при составлении проекта газоснабжения любого населенного пункта. Годовой расход газа для каждой категории потребителей определяют на конец расчетного периода. Расход газа на бытовые и коммунально-бытовые нужды населения зависит от множества факторов: применяемого газового оборудования, благоустройства и заселенности квартир, степени коммунально-бытового обслуживания населения, наличия централизованного теплоснабжения, климатических условий. Большинство из этих факторов не поддаются учету, поэтому годовое потребление газа рассчитывают по средним нормам, разработанным в результате анализа многолетнего опыта фактического его потребления.

Нормы расхода теплоты на одного человека или какой-либо условный показатель в год регламентируются соответствующими строительными нормами и правилами (СНиП), периодически пересматриваемыми и обновляемыми. В настоящее время принято руководствоваться СНиП 2.04.08-87\*.

Рассмотрим расчет годового потребления газа в населенном пункте отдельно для каждой группы потребителей.

**Потребление газа в квартирах.** При расчете необходимо учитывать степень благоустройства квартир. Обозначим часть населения, проживающего в квартирах с централизованным горячим водоснабжением,  $x_{цв}$ ; часть населения, проживающего в квартирах с горячим водоснабжением от газовых водонагревателей, —  $x_{гв}$ ; часть населения,

$$x_{цв} + x_{гв} + x_{б.г.в} = 1.$$

проживающего в квартирах без горячего водоснабжения, —  $x_{бгв}$ . Тогда для всего населения, использующего газ, будет справедливо выражение

Общий годовой расход теплоты в жилых домах населенного пункта, МДж, определяется по формуле

$$Q_{ж.д} = y_{ж.д} N (q_{цгв} x_{цгв} + q_{бгв} x_{бгв} + q_{гв} x_{гв}),$$

где  $y_{ж.д}$  — степень охвата газоснабжением квартир, т.е. отношение газифицированных квартир к их общему числу;  $N$  — число жителей в населенном пункте;  $q_{цгв}$  — норма расхода теплоты на одного человека в год в квартире с газовой плитой и централизованным горячим водоснабжением, МДж;  $q_{бгв}$  — норма расхода теплоты на одного человека в год в квартире без горячего водоснабжения, МДж;  $q_{гв}$  — нормы расхода теплоты на одного человека в год при наличии в квартире газовой плиты и газового водонагревателя, МДж.

**Потребление газа на предприятиях бытового обслуживания.** При расчете потребления газа этими предприятиями учитывают расход теплоты на обработку белья в прачечных и дезинфекционных камерах и на мытье населения в банях.

Нормы расхода теплоты в прачечных и дезинфекционных камерах отнесены к 1 т сухого белья, а в банях — к одной помывке.

При определении расхода газа в прачечных учитывают степень охвата населения прачечными  $z_{пр}$ , т.е. отношение числа людей, пользующихся услугами прачечных, к общему числу жителей  $N$ , а накопление сухого белья для стирки на одного человека в год принимают равным 100 кг.

При наличии в городе прачечных с различной степенью механизации общее количество стираемого белья подразделяют соответственно их производительности и обозначают части населения, пользующегося не механизированными прачечными, —  $x_{нпр}$ , пользующегося механизированными прачечными, —  $x_{мпр}$ , а прачечными с сушкой и глажением —  $x_{мпр.с}$ .

Расход теплоты прачечными (в год) рассчитывают следующим образом:

$$Q_{пр} = 0,1 z_{пр} y_{пр} N (x_{нпр} q_{нпр} + x_{мпр} q_{мпр} + x_{мпр.с} q_{мпр.с}),$$

где  $y_{пр}$  — степень охвата прачечных газоснабжением;  $q_{нпр}$  — норма расхода теплоты на стирку 1 т белья в немеханизированных прачечных с сушильными шкафами, МДж;  $q_{мпр}$  — норма расхода теплоты на стирку 1 т белья в механизированных прачечных, МДж;  $q_{мпр.с}$  — норма расхода теплоты на стирку 1 т белья в механизированных прачечных с сушкой и глажением, МДж.

Дезинфекция белья и одежды производится в паровых и газовоздушных дезинфекционных камерах. Зная степень охвата населения дезинфекционными камерами  $z_{дк}$  и накопление белья для дезинфекции  $M_{дк}$  на одного человека в год в тоннах, а также степень охвата дезинфекционных камер газоснабжением  $y_{дк}$ , определим расход теплоты на дезинфекционные камеры в год:

$$Q_{дк} = M_{дк} z_{дк} y_{дк} N (x_{газ} q_{газ} + x_{пл} q_{пл}),$$

где  $x_{плк}$  — часть населения, пользующаяся паровыми дезинфекционными камерами;  $q_{пдк}$  — норма расхода теплоты на дезинфекцию 1 т белья и одежды в паровых камерах, МДж;  $x_{гвд}$  — часть населения, пользующаяся дезинфекционными камерами;  $q_{гвд}$  — норма расхода теплоты на дезинфекцию 1 т белья и одежды в горячевоздушных камерах, МДж.

Потребление газа в банях определяют из расчета 52 помывки на одного человека в год. Если часть населения, пользующегося банями, —  $Z_б$ , а степень охвата бань газоснабжением  $z_б$ , то расход теплоты в год на бани

$$Q_б = 52 z_б y_б N (z_{бв} q_{бв} + x_{ббв} q_{ббв}),$$

где  $z_{бв}$  — часть населения, пользующегося банями с ванными;  $q_{бв}$  — норма расхода теплоты на одну помывку в банях с ванными;  $x_{ббв}$  — часть населения, пользующегося банями без ванн;  $q_{ббв}$  — норма расхода теплоты на одну помывку в банях без ванн.

**Потребление газа на предприятиях общественного питания.** Степень охвата населения обслуживанием предприятиями общественного питания  $\gamma_{поп}$  находят как долю от общей численности населения, считая при этом, что каждый житель, регулярно пользующийся предприятиями общественного питания, потребляет примерно один обед и один ужин (завтрак) в день. Степень охвата газоснабжением предприятий общественного питания  $z_{поп}$  указывается в задании на их проектирование.

Тогда расход теплоты в год предприятиями общественного питания

$$Q_{поп} = 360 z_{поп} y_{поп} N (q_о + q_{уж}),$$

где  $q_о$  — норма расхода теплоты на приготовление одного обеда, МДж;  $q_{уж}$  — норма расхода теплоты на приготовление одного ужина (завтрака), МДж.

**Потребление газа в учреждениях здравоохранения.** Газ в учреждениях здравоохранения идет на приготовление пищи ( $x_{узп}$ ) и нагрев горячей воды для хозяйственно-бытовых нужд и лечебных процедур ( $x_{ухб}$ ).

Так как нормы расхода теплоты даются на одну койку, то при расчете потребления газа необходимо определить общее число коек, т.е. вместимость медицинских учреждений, исходя из условий: 12 коек на 1 000 жителей.

Тогда расход теплоты в год учреждениями здравоохранения

$$Q_{узп} = 0,012 y_{узп} N (x_{узп} q_{узп} + x_{ухб} q_{ухб}),$$

где  $y_{узп}$  — степень охвата учреждений здравоохранения газоснабжением;  $q_{узп}$  — норма расхода теплоты на приготовление пищи на одну койку, МДж;

$q_{ухб}$  — норма расхода теплоты на приготовление горячей воды для хозяйственно-бытовых нужд и лечебных процедур, МДж.

**Потребление газа предприятиями по производству хлеба и кондитерских изделий.** Расчет годового расхода газа ведут в предположении, что средняя суточная выпечка на одного жителя составляет 0,6...0,8 кг.

С учетом степени охвата газоснабжением предприятий по производству хлебобулочных и кондитерских изделий  $y_{хп}$  расход на них теплоты

$$Q_{хп} = 0,012 y_{хп} N (x_{хф} q_{ф} + x_{п} q_{п} + x_{ки} q_{ки}),$$

где  $x_{хф}$  — доля формового хлеба в суточной выпечке;  $q_{ф}$  — норма расхода теплоты на выпечку 1 т формового хлеба, МДж;  $x_{п}$  — доля подового хлеба в суточной выпечке;  $q_{п}$  — норма расхода теплоты на выпечку 1 т хлеба подового, батон, булок, сдобы, МДж;  $x_{ки}$  — доля кондитерских изделий в суточной выпечке;  $q_{ки}$  — норма расхода теплоты на выпечку 1 т кондитерских изделий, МДж.

Годовые расходы газа на технологические нужды промышленных и сельскохозяйственных предприятий определяют по данным топливопотребления этих предприятий с перспективой их развития или на основе технологических норм расхода топлива.

## **2. Неравномерность и регулирование потребления газа**

Потребление газа происходит неравномерно. Причем различают следующие виды неравномерности потребления газа: сезонный, или по месяцам года; суточный, или по дням недели; часовой, или по часам суток.

Режим потребления газа зависит от режима отдельных потребителей и их удельного веса в общем объеме потребления.

Неравномерность потребления оказывает влияние на экономические показатели систем газораспределения.

Газопровод, рассчитанный на минимальный расход газа, не обеспечит подачу необходимого его количества при максимуме потребления. Ориентация при расчете на пик потребления приводит к неполному использованию пропускной способности газопроводов в период снижения нагрузки, что повышает себестоимость транспорта газа.

Режим потребления газа по месяцам характеризуется значительной неравномерностью. Наиболее неравномерна отопительная нагрузка газа, которая изменяется в соответствии с температурой наружного воздуха, т.е. зимой при низких температурах воздуха расход газа максимальный.

Довольно равномерно потребляют газовое топливо промышленные предприятия, а так как их режим зависит в основном от характера технологического процесса, наибольшей равномерностью потребления отличаются предприятия с непрерывным технологическим процессом. Неравномерность потребления газа промышленными предприятиями зависит также от соотношения теплоты, идущей на отопление и вентиляцию, и теплоты, расходуемой на технологические процессы. Режим потребления газа по дням недели зависит от уклада жизни населения, режима работы предприятий, изменения температуры наружного воздуха. Потребление газа в квартирах в течение первых четырех дней недели равномерно. В пятницу расход газа возрастает и достигает максимального значения в субботу. В воскресенье потребление газа снижается.

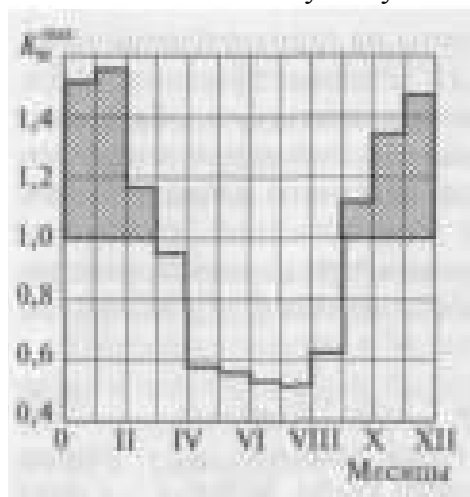


Рис. 1. График неравномерности потребления газа по месяцам

Режим потребления газа по часам суток бытовыми и коммунальными потребителями отличается значительной неравномерностью. Суточный график потребления характеризуется двумя пиками: утренним и вечерним.

Неравномерность потребления газа характеризуют два показателя, которые проанализируем на примере режима потребления газа по месяцам года:

- коэффициент  $\alpha$ , определяющийся количеством газа в долях от годового потребления, которое является избыточным по отношению к средней равномерной его подаче (объемный показатель);

- максимальный коэффициент сезонной неравномерности потребления газа  $K_M^{\max}$  (мощностный показатель), т.е. отношение расхода газа за данный месяц к среднемесячному расходу за год.

На рис.1 представлен график потребления газа по месяцам. Неравномерность потребления характеризуется площадью графика, заштрихованного над средней линией подачи газа, которая определяется разностью

$$\sum_{i=1}^n k_i n_i - \sum_{i=1}^n n_i,$$

где  $k_i$  — коэффициент неравномерности;  $n_i$  — число дней в месяце. Коэффициент сезонной неравномерности потребления, %,

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n k_i n_i - \sum_{i=1}^n n_i}{\sum_{i=1}^n k_i} 100.$$

Для регулирования сезонной неравномерности потребления газа используют подземное хранение запасов газа; потребители-регуляторы, которыми сбрасывают излишки газа в летний период; резервные мощности промыслов и газопроводов.

Газ закачивают в хранилища в период наименьшего его потребления, а в месяцы наибольшего потребления газ отбирают из этих хранилищ. Если емкость хранилища ограничена, то используют потребители-регуляторы, с помощью которых заполняют провалы в графике потребления, т.е. подавая им излишки газа. В качестве потребителей-регуляторов используют электростанции, котельные, промышленные предприятия, рассчитанные на двойное топливоснабжение: газ и мазут или газ и угольная пыль. В летний период такие предприятия используют избытки газа, а зимой они переходят на другой вид топлива.

Суточную неравномерность потребления также регулируют путем ограничения подачи газа электростанциям и промышленным предприятиям с двойным топливоснабжением.

Перспективным направлением регулирования потребления газа является создание изотермических хранилищ сжиженного газа и установок регазификации.

Для покрытия часовой неравномерности потребления используют аккумулирующие емкости последних участков магистральных газопроводов, т.е. в ночное время газ накапливается в газопроводе и его давление растет, а днем производительность газопровода увеличивается за счет аккумулированного газа. Если емкости последнего участка не хватает, в нестационарный режим работы включается следующий участок магистрального газопровода.

### 3. Расчетный расход газа

Системы газоснабжения любых населенных пунктов рассчитываются на максимальный часовой расход газа. Расчетный расход газа на хозяйственно-бытовые нужды определяется как часть от годового расхода:

$$Q_D = Q_{ч\max} = k_{ч\max} Q_T,$$



где  $K_{ч\max}$  — коэффициент часового максимума;  $Q_{г}$  — годовой расход газа,  $\text{м}^3$ .

Коэффициент часового максимума расхода газа принимается дифференцированно по каждому району газоснабжения, сети которого представляют собой самостоятельную систему, не связанную с системами других районов.

Расчетный часовой расход газа для предприятий различных отраслей промышленности рассчитывают по данным топливопотребления.

При определении максимальных часовых расходов газа для газопроводов жилых и общественных зданий газовых сетей используют два метода. Первый метод заключается в использовании коэффициента одновременности включения газовых приборов в пик потребления.

Второй метод расчета основан на использовании максимальных коэффициентов! неравномерности потребления, представляющих собой отношение максимального часового расхода газа к среднечасовому расходу за год. Расчетный расход газа с определяют по формуле

$$Q_{г} = \sum_{i=1}^n K_o Q_{ном} N_i,$$

где  $n$  — число типов приборов или однотипных групп приборов;  $K_o$  — коэффициент одновременности работы однотипных приборов или однотипных групп приборов, соответствующий общему числу приборов  $\sum N_i$  (для жилых домов это общее число квартир);  $Q_{ном}$  — номинальный расход газа прибором или группой приборов, принимаемый то их паспортным данным или техническим характеристикам,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Расчетный расход газа через коэффициенты неравномерности потребления определяется следующим образом:

$$Q_{г} = \sum_{i=1}^n K_{чг\max} \left( \frac{Q_{жкв}}{8760} \right) N_i,$$

где  $n$  — число типов квартир;  $K_{чг\max}$  — максимальный коэффициент часовой неравномерности потребления газа за год, зависящий от характера использования газа в квартире (приготовление пищи или приготовление пищи и нагрев горячей воды), ее населенности и общего числа квартир  $\sum N_i$ , типа  $i$ ;  $Q_{жкв}$  — годовое потребление газа жильцами квартиры,  $\text{м}^3$ ; 8760 — число часов в году.

При расчете расхода с использованием коэффициентов одновременности не учитывается число людей, пользующихся одним газовым прибором. Несоответствие мощности установленных приборов потребности приводит к необоснованному увеличению расчетных расходов газа, а следовательно, перерасходу металла.

**Коэффициент часового максимума.** Максимальный часовой расход газа определяют по годовому расходу и коэффициенту неравномерности его потребления:

$$Q_{ч\max} = \frac{K_{чг\max} Q_{г}}{8760} = \frac{Q_{г}}{m},$$

где  $K_{чг\max}$  — максимальный коэффициент часовой неравномерности потребления газа за год;  $Q_{г}$  — годовое потребление газа,  $\text{м}^3$ ;  $m = 8760 / K_{чг\max}$  — число часов максимального использования газа.

Если бы потребление газа было равномерным и равным максимальному часовому расходу, то весь годовой расход потребили бы в  $m$  часов, т.е. в число часов использования максимума газа. Величину, обратную  $m$ , называют коэффициентом часового максимума

$$K_{чг\max} = 1/m$$

## 1. 5 Лекция №5 (2 часа).

### Тема: «Схемы систем отопления»

#### 1.5.1 Вопросы лекции:

1. Однотрубные системы насосного водяного отопления.
2. Двухтрубные и горизонтальные системы насосного водяного отопления.
3. Система отопления с естественной циркуляцией воды.
4. Децентрализованная система водяного отопления

#### 1.5.2 Краткое содержание вопросов:

Все расчеты систем газораспределения осуществляются на основе законов гидравлики (механики газов), которые рассматривают движущиеся среды как среды сплошные, не касаясь вопросов их молекулярного строения. Поэтому нет никакого принципиального различия между законами, управляющими движением газов и жидкостей. Разделение нетвердых тел на среды сжимаемые (собственно газы) и несжимаемые (собственно жидкости) не совсем точно. Строго говоря, капельные жидкости обладают некоторой способностью сжиматься и, наоборот, газы очень часто можно рассматривать как тела несжимаемые. Законы механики твердого тела непосредственно относятся к механике жидкостей и газов, однако для последних все осложняется способностью отдельных частиц и элементов к взаимному перемещению друг относительно друга. Вследствие этого полное изменение во времени какой-нибудь величины (например, давления, скорости, температуры и т.д.), характеризующей движущуюся жидкую частицу, складывается из местного (локального) и конвективного изменений и при переходе к бесконечно малым величинам равно их сумме.

Так, например, полная производная давления  $p$ , действующего на движущуюся в потоке жидкую частицу, выражается следующим образом:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\partial p}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial p}{\partial x} + w_y \frac{\partial p}{\partial y} + w_z \frac{\partial p}{\partial z},$$

где  $\tau$  — время;  $w_x$ ,  $w_y$ ,  $w_z$  — составляющие скорости по координатным осям. Выражение получило название субстанциальной производной. Выражение  $\partial p / \partial \tau$  — местное изменение, а остальные члены правой части уравнения характеризуют конвективное изменение.

Различают установившиеся или стационарные процессы, когда характеризующие эти процессы величины в каждой точке пространства не зависят от времени, и не установившиеся или нестационарные процессы, когда эти величины зависят от времени. Например, при установившемся движении газа в трубе скорости и давления в каждой точке постоянны, поэтому в уравнении  $\partial p / \partial \tau = 0$ . Опыт показывает, что если поток газа или жидкости направить вдоль поверхности, то бывшее ранее равномерным поле скоростей изменяется (рис. 1).

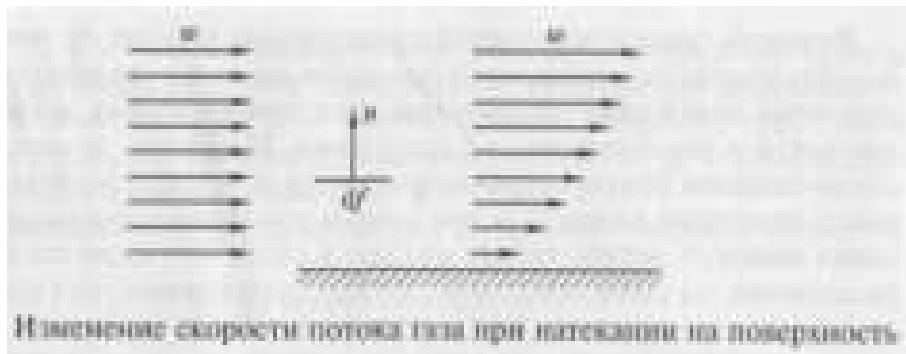


рис1

Поле какой-нибудь физической величины называется распределение значений ее в рассматриваемой области.

Изменение скоростного поля при натекании потока на пластинку объясняется тем, что жидкости и газы обладают внутренним трением, или, иначе, вязкостью. Вследствие вязкости поток стенкой затормаживается, при этом скорость потока у поверхности пластинки равна нулю ( $w = 0$ ), она увеличивается по мере отдаления от пластинки до начального значения. В потоке жидкости или газа, направленном вдоль какого-нибудь тела, между слоями, движущимися с разной скоростью, возникает сила трения, значение которой может быть найдено из формулы

$$\tau_n = \mu \frac{dw}{dn} \text{ кг/м}^2,$$

где  $\tau_n$  — касательное напряжение, т.е. сила трения, отнесенная к единице поверхности, расположенной вдоль по потоку между слоями;  $\mu$  — коэффициент пропорциональности,  $\text{кгс/м}^2$ , называется коэффициентом динамической вязкости;  $\frac{dw}{dn}$  — градиент скорости в направлении, нормальном к этой поверхности.

Различают

- коэффициент кинематической вязкости,  $\text{м}^2/\text{с}$ ,

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu g}{\gamma};$$

- коэффициент внутреннего трения,  $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с})$ ,

$$\eta = \mu g.$$

где  $\rho$  — плотности,  $\text{кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ,  $\rho = \frac{\gamma}{g}$ ;  $g$  — ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $\gamma$  — удельный вес,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Вязкость газов и жидкостей существенно зависит от температуры. Для капельных жидкостей она уменьшается с увеличением температуры вследствие увеличения расстояния между молекулами жидкости и уменьшения сил сцепления. Наоборот, вязкость газов с повышением температуры возрастает вследствие увеличения скорости движения молекул и тем самым усиления тормозящего действия молекул, переходящих из слоя в слой. Что касается влияния расстояния на силы сцепления между молекулами, то силы сцепления для газа невелики и решающего значения не имеют. Зависимость коэффициента внутреннего трения газов от температуры определяется по формуле, найденной опытным путем:

$$\eta_t = \eta_0 \frac{1 + \frac{C}{273}}{1 + \frac{C}{T}} \sqrt{\frac{T}{273}},$$

где  $\eta_0$  — значение коэффициента внутреннего трения при  $0^\circ\text{C}$ ;

$C$  — постоянная величина, различная для разных газов;  $T$  — абсолютная температура ( $T = t + 273$ ).

Согласно кинетической теории газов их вязкость не зависит от давления, так как пропорциональна плотности и длине свободного пробега молекул. На практике в ряде случаев пренебрегают вязкими свойствами среды. Среда, не обладающая вязкостью, называется *идеальной*. В дальнейшем будем называть газом текущую среду в широком смысле слова, характеризуя ее особенности только терминами, имеющими общее значение: сжимаемая, несжимаемая, идеальная, реальная. Используем следующую систему единиц: метр, килограмм (силы), секунда — м, кг, с. Переход от одной системы единиц к другой совершается путем обычного преобразования, например:

$$\text{кг/м}^3 = \frac{1000 \text{ см}^3 \text{ воды}}{10\,000 \text{ см}^3} = \frac{1}{10} \text{ см вод. ст.} = 1 \text{ мм вод. ст.} = 10,0 \text{ Па}.$$

Одна физическая атмосфера (атм) равняется 760 мм рт. ст. или 10 333 мм вод. ст., или 103,33 кПа; одна техническая атмосфера — 1 ат = 1 кгс/см<sup>2</sup> = 10 000 кгс/м<sup>2</sup> = 10 000 мм вод. ст. = 10 кПа = 0,1 МПа; ата — обозначение абсолютного или барометрического давления; ати — обозначение манометрического, избыточного давления (ата = ати + 1).

Уравнение состояния для идеального газа имеет вид

$$p = \rho RT.$$

Законы газового состояния подробно рассматриваются в общих курсах физики. Приведем некоторые следствия из них. Например, из закона Гей-Люссака непосредственно следует:

$$\rho_t = \rho_0(1 + \beta t); \quad V_t = V_0(1 + \beta t); \quad \gamma_t = \frac{\gamma_0}{1 + \beta t},$$

где  $w_0$ ,  $V_0$ ,  $\gamma_0$  — соответственно скорость, м/с, секундный объем, м<sup>3</sup>/с, и удельный вес, кг/м<sup>3</sup>, при данной температуре и атмосферном давлении;  $w_1$ ,  $V_1$  и  $\gamma_1$  — соответственно скорость, секундный объем и удельный вес при нормальных условиях;  $\beta$  — коэффициент объемного расширения газа,  $\beta = 1/273$ , 1/°C.

Из равенств (7.5) следует:  $w_1 \gamma_1 = w_0 \gamma_0 = w \gamma = \text{const}$ , а также

$$V_2 = V_1 \frac{1 + \beta T_2}{1 + \beta T_1} = V_1 \frac{T_2}{T_1},$$

где  $T_1$  и  $T_2$  — абсолютные температуры, К.

Принято считать, что газы подчиняются закону Бойля — Мариотта:

$$V_1 p_1 = V_2 p_2 = V p = \text{const},$$

где  $V_1$  и  $V_2$  — объемы газа соответственно при давлениях  $p_1$  и  $p_2$  и постоянной температуре.

При расчетах пользуются также характеристическим уравнением

$$pV = RT,$$

которое дает зависимость произведения  $pV$  от температуры. В уравнении  $R$  — газовая постоянная, из этого уравнения следует, что для конкретного газа

$$\frac{pV}{T} = \text{const}.$$

На основе выражения получены зависимости:

$$\gamma_2 = \gamma_1 \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2}; \quad V_1 = V_0 (1 + \beta T_1) \frac{p_0}{p_1},$$

где  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  — удельный вес газа соответственно при температурах  $T_1$ ,  $T_2$  и давлениях  $p_1$ ,  $p_2$ ;  $V_0$  — объем газа при нормальных условиях;  $p_0$  — атмосферное давление, выраженное в тех же единицах, что и  $p_1$ ,  $p_2$ .

## 1. Силы, действующие в газе

Все силы, действующие в газах, можно подразделить на поверхностные, пропорциональные величине поверхности (например, силы давления и силы вязкости), и объемные (массовые), пропорциональные объему (массе газа) и действующие на каждую частицу газа, заключенного в данном объеме (например, сила тяжести и силы инерции). Поверхностные силы, отнесенные к единице поверхности, называются *напряжениями* (например, касательное напряжение трения).

Движение газов в каналах (трубах) может происходить под действием различных сил. В том случае, когда это движение происходит под действием сил тяжести, возникших, например, вследствие

наличия разности температур газа в различных местах трубопровода, движение носит название *естественного*. Движение газов в каналах под действием внешних причин (компрессор, вентилятор, тяга и т.д.) называется *принудительным*.

**Уравнение равновесия газов.** На газ в трубопроводе действует сложное поле сил, которое необходимо уметь вычислять для правильного проектирования газопроводов.

Существуют два важных положения, касающихся характеристики силового поля в газе:

- газ находится в равновесии, если для каждой произвольно выделенной части результирующая всех сил, приложенных к этой части, равна нулю;
- во всяком газе, находящемся в равновесии, для любой выделенной части поверхностные силы перпендикулярны к поверхности и направлены снаружи внутрь.

Перпендикулярность сил к поверхности объясняется тем, что в состоянии равновесия силы трения отсутствуют. Для газа, находящегося в равновесии, напряжение не зависит от направления и называется давлением в данной точке. Ничто не изменится, если мы примем во внимание и массовые силы, ибо они будут равны нулю, поскольку объем данной точки равен нулю.

Если предположить отсутствие внутреннего трения у газов, то не только в случае равновесия, но во всех случаях поверхностные силы будут перпендикулярны к поверхности любой частицы. Иными словами, в газе, не обладающем трением, давление в любой точке однозначно определяется одним числом.

Общее дифференциальное уравнение равновесия газообразного тела выражается суммой элементарных уравнений по осям координат:

$$\kappa_x \rho = \frac{\partial p}{\partial x}; \quad \kappa_y \rho = \frac{\partial p}{\partial y}; \quad \kappa_z \rho = \frac{\partial p}{\partial z}.$$

В покоящемся газе из массовых сил действует только сила тяжести, направленная сверху вниз, поэтому

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g_z.$$

Для случая, когда плотность газов постоянная по высоте, интегрируя предыдущее уравнение, получим  $p = g_z p + C$ , или  $p = -\gamma z + C$ , где  $C$  — постоянная интегрирования.

Обозначив давление на высоте  $Z_0$  через  $p_0$ , а на высоте  $z$  через  $p$ , получим:

$$p - p_0 = \gamma (z_0 - z), \text{ или } p = p_0 - \gamma (z - z_0).$$

Обозначая через  $h$  расстояние до рассматриваемой точки вверх от некоторого уровня  $Z_0$ , на котором давление в газе равно  $p_0$ , получим давление в этой точке

$$p = p_0 - \gamma h.$$

Рассмотрим давление неподвижного газа на стенки сосуда, изображенного на рис. 2. Пусть сосуд наполнен газом, удельный вес которого  $\gamma_g$  меньше удельного веса окружающего воздуха  $\gamma_v$ . Очевидно, в плоскости раздела воздуха и газа в сечении  $Z_0$  давление на стенки сосуда со стороны воздуха и со стороны газа будет одинаковым. Обозначим давление на этом уровне через  $p_0$ . Очевидно, на любом другом уровне, расположенном выше  $Z_0$ , например на высоте  $L$ , давление на стенку как со стороны газа  $p_g$ , так и со стороны воздуха  $p_v$  будет меньше, чем на уровне  $Z_0$ , а именно, согласно предыдущему уравнению:

$$p_g = p_0 - h\gamma_g; \quad p_v = p_0 - h\gamma_v.$$

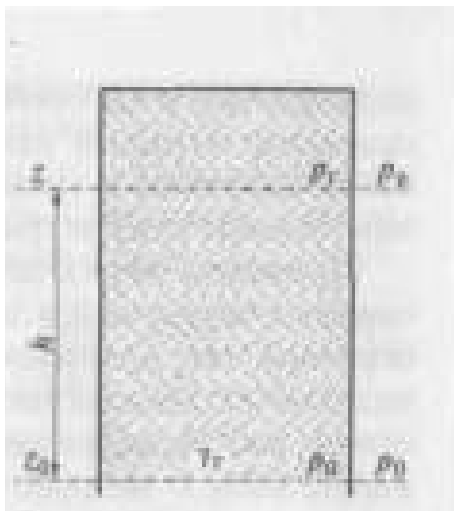


Рис. 2. Схема определения геометрического напора

Так как давление на стенку со стороны газа с увеличением высоты расположения рассматриваемой точки уменьшается медленнее, чем со стороны воздуха, то со стороны газа будет избыточное давление против атмосферного на этом же уровне.

Этот избыток давления составит  $\Delta p = p_g - p_a = h(y_g - y_a)$ .

Величина  $\Delta p$  характеризует уровень геометрического напора, или пьезометрической высоты.

## 1. 6 Лекция №6 (2 часа).

**Тема: «Основы аэродинамики вентиляционных воздуховодов и каналов»**

### 1.6.1 Вопросы лекции:

1. Виды давлений в сети воздуховодов.
2. Распределение давлений в сети.
3. Определение потерь давления в воздуховодах и каналах.
4. Теория смещения потоков.
5. Аналитическое определение коэффициентов местных сопротивлений при смещении потоков.

### 1.6.2 Краткое содержание вопросов:

Поведение потока газа или жидкости можно описать двумя способами. Первый из них (способ Лагранжа) заключается в том, что указывается поведение с течением времени каждой частицы, составляющей поток: изменение положения ее траектории, изменение по времени действующих на каждую частицу давлений, изменение температуры частиц и т.д. При этом способе описания потока дается история поведения характеристик каждой частицы, составляющей поток.

Второй способ (способ Эйлера) заключается в том, что указывается, что происходит в каждой точке изучаемого потока в каждый данный момент в результате прохождения через эти точки различных частиц движущейся среды, каковы скорости в каждой точке изучаемого потока, давления, температуры и т. п. Таким образом, этот способ дает как бы моментальные снимки состояния потока во всех его точках.

При описании движения среды по первому способу используется понятие *траектории* — пути, по которому движется частица. Во втором способе используется понятие *линии тока* — линии, касательные к которой в каждой точке совпадают с направлением скорости потока в данной точке. При установившемся течении, когда

скорости в каждой точке потока не изменяются со временем, линии тока и траектории совпадают.

Проведем через замкнутую кривую (например, в плоскости, перпендикулярной к направлению потока) линии тока, тогда мы получим так называемую трубку тока, содержимое трубки тока называется жидкой нитью. Трубка тока обладает следующим свойством: расход через любое ее сечение одинаков, так как скорости касательны к линиям тока и через стенки трубки жидкость не будет ни втекать, ни вытекать.

В основу теории движения газа положены следующие уравнения: неразрывность течения (сплошность); движение идеальной жидкости; движение вязкого газа; уравнение Бернулли; уравнение импульсов Эйлера.

Уравнение неразрывности представляет собой результат применения закона сохранения массы к несжимаемой движущейся среде (газу или жидкости):

$$\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} = 0;$$

для одномерного движения вдоль оси  $X$ :  $\partial w_x / \partial x = 0$

Для течения сжимаемого газа уравнение имеет вид

$$\rho \left( \frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} \right) + \frac{\partial \rho}{\partial t} + w_x \frac{\partial \rho}{\partial x} + w_y \frac{\partial \rho}{\partial y} + w_z \frac{\partial \rho}{\partial z} = 0.$$

Уравнения неразрывности получают значительно более простой вид для трубки тока в условиях установившегося (стационарного) потока. Количество газа,  $\text{м}^3/\text{с}$ , проходящего через одно из сечений трубки тока, —  $G_1 = w_1 f_1 \gamma_1$ , через другое сечение —  $G_2 = w_2 f_2 \gamma_2$ , где  $w_1$  и  $w_2$  — скорости газа в этих сечениях,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $f_1$  и  $f_2$  — площади сечений,  $\text{м}^2$ ;  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  — удельный вес газа в сечениях,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Так как через боковые поверхности трубки тока ни расхода, ни прихода газа нет, то при установившемся течении приход газа через одно сечение должен быть равен расходу газа через другое сечение:

$$w_1 f_1 \gamma_1 = w_2 f_2 \gamma_2.$$

Это и есть уравнение неразрывности в рассматриваемом случае.

Если удельный вес газа при движении не изменяется, т.е.  $\gamma_1 = \gamma_2$ , то уравнение неразрывности принимает вид  $w_1 f_1 = w_2 f_2$ .

Эти уравнения действительны для течения в трубах или каналах, если за  $w$  принимать среднюю скорость по сечению, определяемую как  $w = V/f$ , где  $V$  — секундный объем газа или жидкости, протекающих через сечение. В таком виде уравнения неразрывности широко применяются в инженерных расчетах.

Уравнение движения идеального газа выводится с учетом силы тяжести, давления и инерции (силы вязкости отсутствуют) и для трехмерного потока оно имеет вид:

$$\kappa_x \cdot \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{dw_x}{dt} = 0; \quad g_y \cdot \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{dw_y}{dt} = 0; \quad g_z \cdot \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{dw_z}{dt} = 0.$$

Размерность каждого члена этих уравнений —  $\text{м}/\text{с}^2$ .



Уравнение движения вязкого газа — в этом случае кроме рассмотренных ранее сил в жидкости будут действовать также силы вязкости. Действие вязкости на поток жидкости в трубах или каналах проявляется в том, что скорости по сечению потока будут неодинаковы. В середине потока скорости имеют максимальные значения и уменьшаются к стенкам. Непосредственно у самой стенки скорости равны нулю. С учетом сжимаемости газа одномерное уравнение движения вязкого газа:

$$\rho \frac{\partial w}{\partial t} = \chi_1 \rho - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}.$$

Уравнение неразрывности (сплошности) и уравнение движения газа — два основных уравнения механики газов. Система, состоящая из двух дифференциальных уравнений, имеет множество решений в соответствии с бесчисленным количеством частных случаев течения газа или жидкости. Для однозначного решения этой системы необходимо присоединение дополнительных уравнений, описывающих так называемые краевые условия. С помощью этих дополнительных уравнений из всей совокупности явлений движения газа выделяется данный конкретный случай. Решение такой системы уравнений — задача математически очень сложная. До сих пор точное решение удалось получить только для небольшого числа простейших случаев. Однако понимание задач механики газов и умение находить их приближенные важные для инженерной практики решения невозможны без изучения основных дифференциальных уравнений механики газов. Далее дается решение уравнения Эйлера для трубки тока и решение задачи одномерного ламинарного течения вязкой жидкости в круглой трубе и указаны области применения полученных выводов для практических задач.

Уравнение Бернулли для одномерного пространства имеет вид

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{w^2}{2g} = \text{const.}$$

где  $z$  — геометрическая высота, выражает удельную энергию положения частицы, т.е. энергию, отнесенную к 1 кг движущейся жидкости (или газа), м;  $p/\gamma$  — пьезометрическая высота, выражает удельную энергию давления, м;  $w^2/2g$  — скоростная высота, выражает удельную кинетическую энергию, м.

Уравнение представляет собой закон сохранения энергии, поскольку сумма  $(z + p/\gamma)$  характеризует потенциальную, а отношение  $w^2/2g$  — кинетическую энергию струйки, отнесенную к 1 кг движущейся среды.

Физический смысл уравнения Бернулли заключается в том, что *при установившемся движении частицы идеальной несжимаемой жидкости вдоль линии тока сумма геометрической, пьезометрической и скоростной высот не изменяется.*

Если отнести энергию движущейся частицы не к 1 кг, а к 1 м<sup>3</sup> движущейся жидкости, то уравнение Бернулли примет вид

$$z\gamma + p + \frac{w^2}{2g}\gamma = \text{const.}$$

где  $z\gamma$  — геометрический напор, м\*кг/м<sup>3</sup> = кг/м<sup>2</sup> (мм вод. ст., Па);  $p$  — пьезометрический (статический) напор, кг/м<sup>2</sup> (мм вод. ст., Па);  $w^2\gamma/2g$  — скоростной (динамический) напор, кг/м<sup>2</sup> (мм вод. ст., Па).

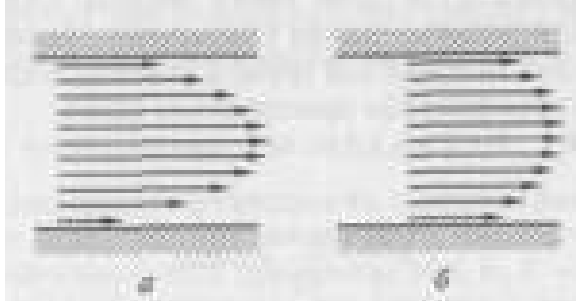
В практических инженерных задачах пользуются средним значением скорости по сечению потока, определяя ее как отношение секундного расхода газа к площади сечения потока:  $w_{cp} = V/f$ .

Действительная скорость в различных точках сечения отличается от этого значения на некоторую величину  $\Delta w$ , различную для разных точек по абсолютному значению и по

знаку, поэтому уравнение для потока в целом при плавно изменяющемся сечении будет иметь следующий вид:

$$z\gamma + p + \frac{\alpha w^2}{2g} \gamma = \text{const.}$$

Коэффициент  $\alpha$  зависит от неравномерности распределения скоростей по сечению



Профиль скорости потока газа в трубопроводе при ламинарном (а) и при турбулентном (б) режимах протекания газа

Для ламинарного потока в круглой трубе, где распределение скоростей по сечению потока соответствует параболе,  $\alpha = 2$ . Для установившегося турбулентного течения в трубах  $\alpha = 1,1 \dots 1,13$ .

Применяя уравнение Бернулли для расчета движения газов и жидкостей по каналам и трубам с неплавным изменением сечения, необходимо выбирать сечения, для которых составляются уравнения, на достаточно большом расстоянии от мест резких расширений и сужений потока или резких изменений его направления.

Уравнение было выведено из предположения, что газ несжимаем и температура его постоянна.

Уравнение для идеального газа, учитывающее внутреннюю энергию газа и предназначенное для расчетов, когда изменяется температура потока, имеет вид

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{w^2}{2g} + \frac{E}{A} = \text{const.}$$

где  $E$  — внутренняя энергия газа при температуре  $t$  (считая от  $0^\circ\text{C}$ );  $A$  — механический эквивалент теплоты,  $A = 1 \cdot 10^{-3}$  кДж/Н.

Энергия частицы реальной жидкости (газа), движущейся в потоке, не будет оставаться постоянной. Часть энергии будет расходоваться (переходить в тепловую энергию) на преодоление сопротивлений, возникающих вследствие вязкости.

Уравнение Бернулли при условии учета потери напора  $h_n$  может быть представлено в следующем виде:

$$z\gamma + p - p_z + p_z + \frac{w^2}{2g} \gamma + h_n = \text{const.},$$

где  $p_z$  — давление атмосферы на том же уровне  $z$ , где протекает исследуемый поток с характеристиками  $w$ ,  $u$  и  $p$ .

После преобразования уравнение Бернулли выражается в виде постоянства суммы напоров: геометрического  $h_{\text{геом}}$ , статического (пьезометрического), динамического  $h_{\text{дин}}$  и потерь  $h_n$

$$h_{\text{геом}} + h_{\text{стат}} + h_{\text{дин}} + h_n = \text{const.}$$

При движении газов в трубопроводах происходят постоянные превращения напоров. Если говорить об изотермическом течении газа, то превращения напоров обратимы за исключением того, что теряется, причем на потери расходуется напор динамический, который при движении газа постоянно возобновляется за счет имеющегося запаса статического напора.

Важнейшей инженерной задачей является сведение к минимуму потерь напора при движении газа. Поэтому изучение причин потерь напора является весьма важным.

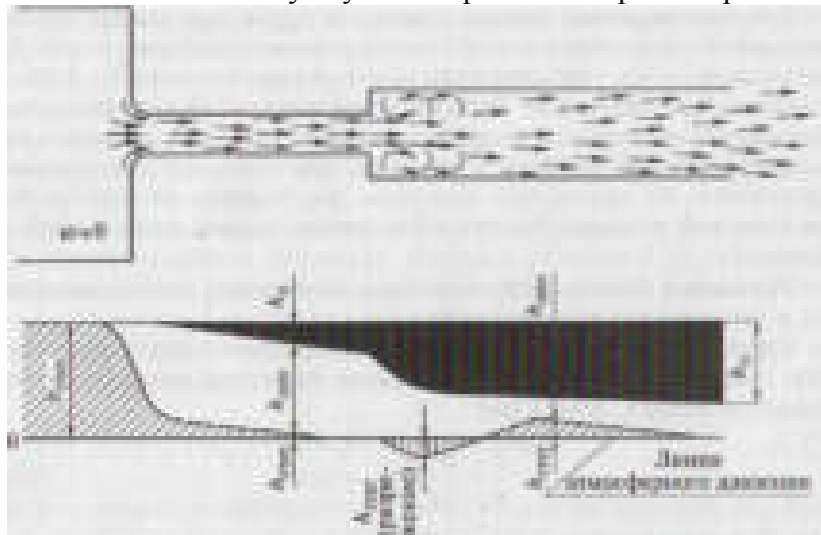


Схема изменения напоров при протекании потока газа по трубопроводу переменного сечения (к выводу уравнения Бернулли)

Теорема импульсов Эйлера (приводится без вывода) имеет важное значение для некоторых инженерных расчетов, так как она позволяет анализировать явления, происходящие в некоторой, выделенной из общего потока области, по данным, относящимся к воображаемой поверхности, ограничивающей эту область. Формулировка теоремы импульсов такова: изменение импульса всех сил какой-нибудь области газа, ограниченной воображаемой контрольной поверхностью, отнесенного к единице времени, равно результирующей внешних сил, действующих на данную поверхность. Если движение газа установившееся, то изменение импульса сил массы газа обусловлено только перемещением в единицу времени объема газа, ограниченного контрольной поверхностью. Также изменение полного импульса сил, вызванное перемещением газового объема, равно результирующей импульсов сил, проходящих в единицу времени через неподвижную в пространстве контрольную ограничивающую поверхность. Математически теорема импульсов может быть записана в следующем виде:

$$\frac{d}{dt} (\sum m w) = \sum P,$$

где  $m$  — масса газа;  $P$  — внешняя сила, действующая на поверхность. Теорема импульсов вытекает и из теоремы механики твердого тела о количестве движения системы материальных точек. Практическое применение теоремы импульсов дается далее.

## 1. Потери давления при движении газа

### *Характер движения газа*

Характер движения газа бывает различным. Отличают слоистое, или ламинарное, движение от турбулентного или вихреобразного. Пределы существования ламинарного и

турбулентного движений были установлены О. Рейнольдсом (1883 г.), который показал, что характер движения газа или жидкости зависит от соотношения сил инерции и сил внутреннего трения в потоке.

Последнее характеризуется некоторым безразмерным комплексом, впоследствии названным критерием Рейнольдса:

$$Re = \frac{w d \rho}{\mu} = \frac{w d \gamma}{\eta_t} = \frac{w_0 \gamma_0 d}{\eta_t} = \frac{w d}{\nu}$$

Для случая течения в трубах круглого сечения поток при значениях чисел Рейнольдса, меньших 2 100, является ламинарным, при числах Рейнольдса, больших 2 300, течение становится турбулентным. Искусственными мерами можно добиться того, чтобы поток оставался ламинарным при числах Рейнольдса, значительно больших указанного критического значения 2 300. Однако такой поток будет неустойчивым; если в каком-либо месте его возникает возмущение, то это возмущение быстро распространится на весь поток и он станет турбулентным.

### ***Сопротивление трению***

Потеря давления (напора) при движении газа по прямой трубе объясняется трением газа о стенки и определяется по выражению

$$Re = \frac{w d \rho}{\mu} = \frac{w d \gamma}{\eta_t} = \frac{w_0 \gamma_0 d}{\eta_t} = \frac{w d}{\nu}$$

где  $h_{тр}$  — потеря давления на трение при ламинарном движении;  $w_{cp}$  — средняя скорость движения газа;  $l$  — длина трубы;  $D$  — диаметр трубы;  $X = 64/Re$  — коэффициент потери напора на трение. Уравнение (7.24) можно представить следующим образом:

$$h_{тр} = \lambda \frac{w_0^2}{2g} \gamma_0 (1 + \beta l) \frac{l}{D},$$

где  $w_0$  и  $\gamma_0$  — средняя скорость и удельный вес при нормальных условиях.

Для расчета потери давления на трение при турбулентном движении могут быть также использованы уравнения и, но коэффициент потери давления на трение имеет другое значение и может быть найден из таблиц или по формуле  $\lambda = A/Re^n$ , причем по опытным данным для кирпичных каналов  $A=0,175$ ,  $n=0,12$ ; для гладких металлических каналов  $A=0,32$ ,  $n=0,25$  (для значений  $Re$  до 100 000); для шероховатых  $A=0,129$ ,  $n=0,12$ . Если вычисляется потеря давления на трение в каналах некруглого сечения, то следует в формулах и заменить  $D$  на  $D_{гидр} = 4f/S$ , где  $D_{гидр}$  — гидравлический диаметр трубопровода;  $f$  — площадь поперечного сечения;  $S$  — периметр. Рассматривая формулы и выражения для  $\lambda$  и  $Re$ , легко установить, что, во-первых, потеря давления на трение при ламинарном движении пропорциональна скорости в первой степени, а при турбулентном — скорости в степени от 1,75 до 1,88 и, во-вторых, в отличие от ламинарного движения коэффициент потери напора на трение  $\lambda$  при турбулентном движении существенно зависит от материала стенки и тем больше, чем выше шероховатость последней. Физически это объясняется тем, что при турбулентном движении струйки газа, как бы прорываясь через пограничный слой, приходят в соприкосновение со стенками, что не имеет места при слоистом движении.

### Местные сопротивления

К местным сопротивлениям относятся резкие переходы от одного сечения к другому (например, прохождение потока через измерительную диафрагму), плавные и резкие повороты, разветвления, протекание через пористые тела (фильтры), запорно-регулирующую арматуру и т.д. Рассмотрим некоторые из них.

**Внезапное расширение.** Задача была решена на основе теоремы Эйлера и уравнения неразрывности. Для определения потерь напора от внезапного расширения  $h_{вн,р}$  получено выражение

$$p_2 - p_1 = \rho(w_1^2 - w_2^2).$$

Если бы расширение было плавным, т.е. без потерь, то согласно закону Бернулли, можно было бы записать

$$p_1 + \rho \frac{w_1^2}{2} = p_2 + \rho \frac{w_2^2}{2}.$$

Откуда

$$p_2 - p_1 = \frac{\rho}{2}(w_1^2 - w_2^2).$$

Вычтя уравнение  $p_2 - p_1 = \rho(w_1^2 - w_2^2)$ , из  $p_2 - p_1 = \frac{\rho}{2}(w_1^2 - w_2^2)$ , получим, очевидно, потерю напора на внезапное расширение:

$$p_2 - p_1 = h_{вн,р} = \rho(0,5w_1^2 - 0,5w_2^2 - w_1w_2 + w_2^2) = 0,5\rho(w_1 - w_2)^2.$$

Выражение может быть также написано в следующем виде:

$$h_{вн,р} = \frac{(w_1 - w_2)^2}{2g} \gamma = \left(1 - \frac{f_2}{f_1}\right) \frac{w_1^2}{2g} \gamma = \left(1 - \frac{f_2}{f_1}\right) \frac{(w_1)^2}{2g} \gamma (1 + \beta r).$$

Потеря давления на внезапное расширение для случая, когда  $w_2 = 0$ , равняется полному динамическому напору:

$$h = \frac{w_1^2}{2g} \gamma = \frac{(w_1)^2}{2g} \gamma (1 + \beta r)$$

и поэтому является наибольшей. Если плавное расширение осуществляется в диффузоре с центральным углом раскрытия не более  $6...7^\circ$ , то потеря на расширение является минимальной. Наоборот, при плавном сужении она совершенно отсутствует; если сужение резкое, то потеря давления происходит вследствие расширения происходящего после резкого сжатия потока в узком сечении.

**Поворот потока.** При повороте потока вследствие удара о стенку теряется часть напора, вычисляемая по формуле

$$h = K \frac{w^2}{2g} \gamma = K \frac{w_0^2}{2g} \gamma (1 + \beta r).$$

коэффициента  $K$  определяется для различных вариантов поворота экспериментальным путем и практически не зависит от  $Re$ .

Физически потери напора при повороте объясняются главным образом плохим обтеканием внутреннего угла, вследствие чего поток в месте поворота сужается, скорость его в этом месте увеличивается и образуется вихревая полость. Если канал закруглить или в месте поворота с угла на угол расположить направляющие лопатки, разделяющие поток на ряд более мелких потоков, то потеря напора при повороте существенно уменьшится.

Для определения потери напора при движении газа через любое местное сопротивление всегда может быть применена формула, изменяется только значение  $K$ .

### Гидравлический расчет наклонных распределительных газопроводов

Городские распределительные газопроводы не всегда являются строго горизонтальными. Наличие разности отметок начальной и конечной точек газопровода может оказывать заметное влияние на величину расхода газа, особенно для газопроводов с малыми допустимыми перепадами давления.

Плотность газа в распределительных газопроводах практически постоянна по всей длине и не может влиять на изменение скорости газа. Линейная скорость газа — переменная вдоль распределительного газопровода низкого давления. Изменение линейной скорости газа вызвано отбором газа из газопровода. В связи с этим поток газа будет инерционным, что влияет на величину перепада давления.

В общем случае на перепад давления в распределительном газопроводе оказывают влияние следующие факторы: гидравлические потери на трение, разность отметок газопровода, силы инерции потока газа и местные сопротивления в газопроводе.



Схема для расчета перепада давления на участке наклонного газопровода

Интегрируя уравнение Бернулли при  $p = \text{const}$ , найдем перепад давления  $p_1 - p_2$  на всем участке наклонного газопровода

$$p_1 - p_2 = - \int_{p_1}^{p_2} dp = \int_0^l \lambda \frac{w^2}{2d} \rho dx + \rho g \int_{z_{c1}}^{z_{c2}} dz_{c1} + \alpha \rho \int_{w_1}^{w_2} d\left(\frac{w^2}{2}\right).$$

После интегрирования этого уравнения и подстановки соответствующих пределов получим

$$p_1 - p_2 = \int_0^l \frac{\lambda w^2 \rho}{2d} dx + \rho g (z_{c2} - z_{c1}) - \alpha \rho \frac{w_1^2 - w_2^2}{2}.$$

Окончательное выражение общего перепада давления на рассматриваемом участке газопровода с учетом перепадов давления на местных сопротивлениях будет иметь вид

$$p_1 - p_2 = \int_0^l \frac{\lambda w^2 \rho}{2d} dx + \rho g (z_{c2} - z_{c1}) - \alpha \rho \frac{w_1^2 - w_2^2}{2} + \rho \sum_{i=1}^{n-1} \xi_i \frac{w_i^2}{2}.$$

При отсутствии отбора газа по длине линейные скорости в начале и в конце газопровода равны между собой, т. е.  $w_1 = w_2$ . В этом случае перепад давления для наклонного газопровода будет:

для ламинарного режима

$$P_1 - P_2 = \frac{32Q_{tr}\rho v l}{F d^3} + \rho g(z_{r2} - z_{r1}) + \rho \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \frac{w_i^2}{2};$$

для критического режима

$$P_1 - P_2 = \frac{0,0025Q_{tr}^{1/3}v^{-1/3}\rho l}{2F^{1/3}d^{2/3}} + \rho g(z_{r2} - z_{r1}) + \rho \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \frac{w_i^2}{2};$$

для турбулентного режима в случае применения закона Блазиуса

$$P_1 - P_2 = \frac{0,159Q_{tr}^{1,75}v^{0,25}\rho l}{F^{1,75}d^{1,25}} + \rho g(z_{r2} - z_{r1}) + \rho \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \frac{w_i^2}{2};$$

для турбулентного режима при квадратичном законе сопротивления

$$P_1 - P_2 = \frac{\lambda Q_{tr}^2 \rho l}{2F^3 d} + \rho g(z_{r2} - z_{r1}) + \rho \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \frac{w_i^2}{2};$$

где  $\lambda$  — коэффициент гидравлического сопротивления;  $Q_{tr}$  — транзитный расход газа;  $\rho$  — плотность газа;  $g$  — ускорение свободного падения;  $d$  — внутренний диаметр газопровода;  $F$  — площадь внутренней поверхности трубопровода;  $w$  — линейная скорость потока газа;  $z_r$  — изменение профиля газопровода;  $v$  — коэффициент кинематической вязкости;  $\xi_i$  — коэффициент местного сопротивления.

Если коэффициент гидравлического сопротивления зависит от числа Рейнольдса и шероховатости внутренней поверхности стенок газопровода (переходная область турбулентного режима), то следует использовать для  $\lambda$  обобщенную формулу  $\lambda=f(\text{Re}, \kappa_b, d)$ .

Для тупиковых участков газопровода, в которых отсутствует транзитный расход ( $Q_{Tr} = 0$ ), перепад давления:

для ламинарного режима

$$P_1 - P_2 = \frac{16Q_n v \rho l}{F d^3} + \rho g(z_{r2} - z_{r1}) - \alpha \rho \frac{w_l^2}{2} + \rho \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \frac{w_i^2}{2};$$

для критического режима

$$P_1 - P_2 = \frac{0,00075Q_n^{2/3}v^{-1/3}\rho l}{2F^{1/3}d^{2/3}} + \rho g(z_{r2} - z_{r1}) - \alpha \rho \frac{w_l^2}{2} + \rho \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \frac{w_i^2}{2};$$

для турбулентного режима в случае применения закона Блазиуса

$$P_1 - P_2 = \frac{0,0577Q_n^{1,75}v^{0,25}\rho l}{F^{1,75}d^{1,25}} + \rho g(z_{r2} - z_{r1}) - \alpha \rho \frac{w_l^2}{2} + \rho \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \frac{w_i^2}{2};$$

для турбулентного режима при квадратичном законе сопротивления

$$P_1 - P_2 = \frac{\lambda Q_n^2 \rho l}{6F^3 d} + \rho g(z_{r2} - z_{r1}) + \alpha \rho \frac{w_l^2}{2} + \rho \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \frac{w_i^2}{2};$$

где  $Q_n$  — путевой расход газа;  $\alpha$  — коэффициент Кориолиса, равный для ламинарного режима 2,0 и для турбулентного — 1,1;  $i$  — порядковый номер местного сопротивления;  $n$  — число местных сопротивлений.

Когда в газопроводе нет транзитного расхода, весь газ отбирается по длине, и в конце газопровода расход окажется равным нулю. Поэтому линейная скорость газа в конце газопровода принята равной нулю.

Для газопроводов с транзитными и путевыми расходами расчетные формулы будут иметь вид: для ламинарного режима

$$p_1 - p_2 = \frac{32\nu\rho l}{F d^3} (Q_{\text{тп}} + 0,5Q_n) + \rho g(z_{r2} - z_{r1});$$

для критического режима

$$p_1 - p_2 = \frac{0,00075\nu^{-1/3}\rho l}{2F^{1/3}d^{2/3}Q_n} [(Q_{\text{тп}} + Q_n)^{5/3} - Q_{\text{тп}}^{5/3}] + \\ + \rho g(z_{r2} - z_{r1}) - \alpha\rho \frac{w_1^2 - w_2^2}{2} + \rho \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \frac{w_i^2}{2};$$

для турбулентного режима в случае применения закона Блазиуса

$$p_1 - p_2 = \frac{0,0577\nu^{0,25}\rho l}{2F^{1,75}d^{1,25}Q_n} [(Q_{\text{тп}} + Q_n)^{2,75} - Q_{\text{тп}}^{2,75}] + \\ + \rho g(z_{r2} - z_{r1}) - \alpha\rho \frac{w_1^2 - w_2^2}{2} + \rho \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \frac{w_i^2}{2};$$

для турбулентного режима при квадратичном законе сопротивления

$$p_1 - p_2 = \frac{\lambda\rho l}{6F^2 d Q_n} [(Q_{\text{тп}} + Q_n)^2 - Q_{\text{тп}}^2] + \\ + \rho g(z_{r2} - z_{r1}) - \alpha\rho \frac{w_1^2 - w_2^2}{2} + \rho \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \frac{w_i^2}{2}.$$

Параметры, входящие в расчетные формулы, выражены в единицах СИ.

## 1. 7 Лекция №7 (2 часа).

**Тема:** «Конструктивные элементы вентиляционных установок и систем»

### 1.7.1 Вопросы лекции:

1. Аэродинамический расчет вытяжных гравитационных вентиляционных систем.
2. Аэродинамический расчет воздухопроводов систем вентиляции с механическим побуждением.
3. Расчет воздухопроводов равномерной раздачи и равномерного всасывания.

### 1.7.2 Краткое содержание вопросов:

Подача газа к газифицированным городам, населенным пунктам или промышленным объектам производится от магистральных газопроводов через газораспределительные станции или крупные газораспределительные пункты (КРП).



ГРС и КРП являются конечными объектами магистрального газопровода и выполняют следующие задачи: очистка газа от механических примесей; снижение давления газа до заданного значения и автоматическое поддержание этого значения; подогрев газа перед снижением давления, препятствующий выделению твердых кристаллогидратов и обмерзанию трубопроводов и арматуры; защита трубопроводов от недопустимых повышений давления; одоризация газа; учет расхода и количества проходящего газа.

От ГРС или КРП газ транспортируется по сети среднего или высокого давления до газорегуляторных пунктов и газораспределительных установок, располагаемых в отапливаемых отдельно стоящих зданиях, где давление газа снижается и он подается в распределительные газопроводы разных категорий давления. Наиболее разветвленными и, следовательно, протяженными и дорогостоящими являются распределительные газопроводы низкого давления, которые снабжают массового потребителя (жилые дома, мелкие промышленные и коммунально-бытовые потребители).

Надежное и устойчивое функционирование систем газоснабжения невозможно без надежной работы регулирующей и предохранительно-запорной арматуры и оборудования. Первым и основным условием устойчивой и безопасной работы системы газоснабжения является обеспечение постоянного давления; второе условие — предохранение от возможного повышения или понижения давления газа в контролируемой точке газопровода или перед газоиспользующей установкой.

Системы газоснабжения работают круглосуточно с переменными режимами, зависящими от характера потребления. Наибольшая неравномерность потребления присуща мелким бытовым потребителям, но и она имеет определенную закономерность, обусловливаемую большим числом факторов, главными из которых являются: климатические условия, уклад жизни населения, время работы предприятий и учреждений, состояние жилого фонда, степень газификации разных категорий потребителей, степень индустриализации региона и т.п. Неравномерность потребления и определяет режимы давлений в распределительной газовой сети городов, поселков и сельской местности.

Основное назначение ГРП и ГРУ — снижение давления газа и поддержание его постоянным независимо от изменения входного давления и расхода газа потребителями. ГРП и ГРУ оснащаются схожим технологическим оборудованием и отличаются в основном только расположением. ГРУ располагают непосредственно в помещениях, где находятся агрегаты, использующие газовое топливо (цехах, котельных). ГРП в зависимости от назначения и технической целесообразности размещают в пристройках к зданиям, встраивая в одноэтажные производственные здания или котельные, в отдельно стоящих зданиях.

В зависимости от набора технологического оборудования различают газорегуляторные пункты (ГРП), газорегуляторные пункты блочные (ГРПБ), шкафные регуляторные пункты (ШРП) и шкафные регуляторные установки (ШРУ).

Газорегуляторный пункт, который смонтирован в контейнере блочного типа, собирают и испытывают в заводских условиях.

Для шкафных газорегуляторных пунктов характерно размещение технологического оборудования в контейнерах шкафного типа.

ГРП и ГРПБ различают с входным давлением газа до 0,6 МПа и входным давлением газа свыше 0,6 до 1,2 МПа.

ШРП и ШРУ различают с входным давлением газа до 0,3 МПа; свыше 0,3 до 0,6 МПа и свыше 0,6 до 1,2 МПа.

ГРП по своему назначению подразделяются на сетевые, которые обеспечивают подачу газа в распределительные сети низкого, среднего или высокого давлений, и объектовые, служащие источниками газоснабжения для отдельных потребителей. В состав технологического оборудования регуляторных пунктов входят следующие элементы:

регулятор давления, понижающий или поддерживающий постоянным давление газа независимо от его расхода;

предохранительный запорный клапан (ПЗК), прекращающий подачу газа при повышении или понижении его давления после регулятора сверх заданных значений;

предохранительное сбросное устройство, предназначенное для сброса излишков газа, чтобы давление не превысило заданное в схеме регуляторного пункта;

фильтр газа, служащий для его очистки от механических примесей;

• контрольно-измерительные приборы (КИП), которые фиксируют давление газа до и после регулятора, а также на обводном газопроводе (манометр); перепад давлений на фильтре, позволяющий судить о степени его загрязненности (дифманометр); расход газа (расходомер); температуру газа перед расходомером (термометр);

- импульсные трубопроводы, служащие для присоединения регулятора давления, предохранительно-запорного клапана, предохранительного сбросного устройства и контрольно-измерительных приборов.

Технологические схемы оборудования ГРП (ШРП), ГРУ (ШРУ) могут быть самыми разнообразными: число технологических линий в зависимости от расхода газа и режима потребления его может быть от одной до пяти. ГРП могут быть одно- и двухступенчатыми. Принципиальная схема одноступенчатого ГРП (ГРУ) показана на рис. 1.

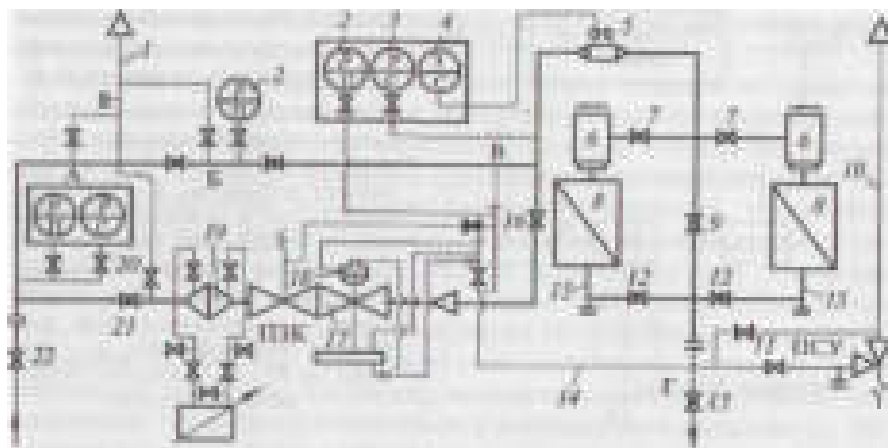


Рис 1. Схема ГРП (ГРУ) с регулятором РДУК-2 и измерением расхода газа двумя ротационными счетчиками:

1, 10 — сбросный трубопровод; 2 — показывающий манометр; 3 — самопишущий манометр; 4 — самопишущий термометр; 5 — технический термометр; 6 — фильтр ревизии; 7, 9, 12 — задвижки; 8 — ротационные счетчики; 11 — запорное устройство; 13 — запорное устройство на выходе из ГРП; 14 — импульсный трубопровод; 15 — поворотные колена; 16 — запорное устройство в конце основной рабочей линии; 17 — регулятор давления; 18 — пилот; 19 — фильтр; 20 — кран на сбросном трубопроводе; 21 — задвижка в начале технологической линии; 22 — запорное устройство перед ГРП

1. Они предназначены для автоматического поддержания давления на заданном уровне. В общем виде совокупность регулируемого объекта и регулирующего органа образует замкнутый контур системы автоматического регулирования, функциональная структура которого показана на рис. 2.



Во время работы в регулируемом объекте вследствие возмущающего воздействия, а также изменения нагрузки на притоке  $Q_n$  или стоке  $Q_c$  происходит отклонение регулируемого давления  $p_2$  от заданного значения, что вызывает воздействие объекта на регулятор, который, изменяя текущее значение регулируемого давления и сравнивая его с заданным, отрабатывает регулирующее воздействие  $\mu$  на объект, которое посредством регулирующего органа изменяет приток газа так, что текущее значение регулируемого давления возвращается к заданному значению. Требуемое значение регулируемого давления устанавливается задающим воздействием  $h$ .

Процесс, обеспечивающий понижение давления газа на выходе и поддержание его на постоянном уровне при переменном расходе, называют *дросселированием*. Обеспечивается он устройствами, называемыми *дросселями*. Они понижают давление  $p_1$ , в начале потока до более низкого давления  $p_2$  на выходе за счет потерь напора, вызываемых в потоке газа. Этими потерями напора можно управлять, поддерживая одно из давлений  $p_1$ , или  $p_2$  постоянным или изменяющимся по заданному закону. Наиболее простое устройство состоит из отверстия, степень открытия которого варьируется задвижкой (клапаном или краном) ручного управления (чтобы добиться желаемого давления  $p_1$  в сети в любом случае). Между верхним и нижним давлениями и массовым расходом (либо объемным расходом  $Q_o$  газа, выраженным в нормальных условиях по температуре и давлению) существует взаимосвязь в зависимости от режима истечения газа через отверстие клапана регулятора сечением  $f_K$ . Вследствие этого, каково бы ни было значение одного из давлений (на входе или выходе) и расхода газа, существует значение площади сечения  $f_K$ , которое позволяет установить другое давление (на выходе или входе) на желаемом значении в пределах возможностей устройства.

Процесс дросселирования не может быть отделен от процесса регулирования, особенно когда, например, выходное давление должно поддерживаться в установленных пределах. Отсюда следует название этих устройств «дроссель-регулятор». В дальнейшем будут обсуждаться дроссели-регуляторы выходного давления, упрощенно называемые *регуляторами давления*. При установившейся работе системы «регулятор давления — объект» количество газа, пропускаемого регулятором давления газа, равно количеству отбираемого газа, т.е. при условии этого равновесия регулируемый параметр — выходное давление — сохраняет свое постоянное значение. Если равновесие нарушено, например, вследствие изменения режима потребления, тогда будет изменяться и регулируемое давление  $p_2$ . Регулятор давления будет находиться в равновесии, если алгебраическая сумма сил, т.е.  $\sum N_i$ , действующих на регулирующий клапан, равна нулю. В этом случае регулятор будет пропускать в объект и постоянное количество газа. Если баланс сил нарушается, то клапан начнет перемещаться в сторону действия больших сил, изменяя приток газа. Таким образом, равновесие объекта обеспечивается условием равенства притока газа через регулятор и стока его в систему к объекту, а равновесие регулятора — условием  $\sum N_i = 0$ .

Как видно из рис.2, на регулирующий механизм воздействуют следующие силы: сила, образованная от действия регулируемого давления на мембрану; противодействующая сила, которая уравнивает первую; дополнительные силы, обусловленные массой подвижных частей, сил трения, инерционных сил и др.

Согласно принципу Д'Аламбера  $\sum N = 0$ :

$$p_2 F_M + (p_1 - p_2) f_k = N_{зад} + N_{тр} + N_{ин},$$

где  $p_2$  — выходное давление;  $F_M$  — активная площадь мембраны;  $p_1$  — входное давление;  $f_k$  — площадь клапана регулирующего органа;  $N_{зад}$  — задающая противодействующая сила;  $N_{тр}$  — силы трения, возникающие при движении (колебании) подвижных частей регулятора;  $N_{ин}$  — инерционные силы. (В установившемся режиме действием инерционных сил и сил трения можно пренебречь.)

Примем, что активная площадь мембраны остается неизменной, тогда

$$p_2 (F_M - f_k) + p_1 f_k = N_{зад},$$

Допустим, что  $p_1 = p_2$ , то получим

$$p_2 = \frac{N_{зад}}{F_M},$$

где  $N_{зад}$  — постоянная величина, по которой можно определить отклонение давления  $p_2$ .

При изменении начального давления на величину  $\Delta p_1$  изменение конечного давления на  $\Delta p_2$  можно найти из уравнения

$$\begin{aligned} \pm \Delta p_2 (F_M - f_k) &= \pm \Delta p_1 f_k, \\ \pm \Delta p_2 &= \pm \Delta p_1 \frac{f_k}{F_M - f_k}. \end{aligned}$$

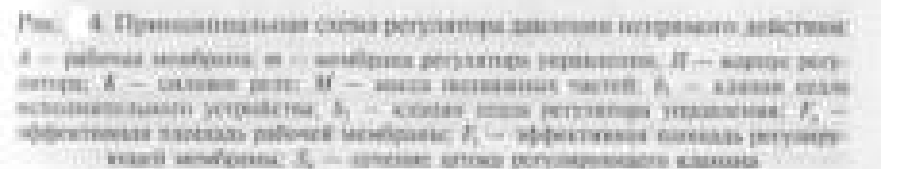
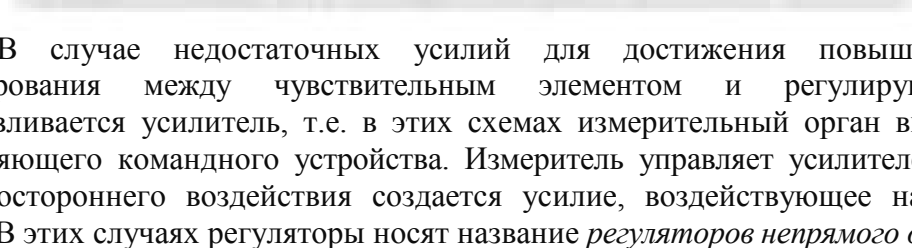
При значительных изменениях начального давления влиянием конечного давления можно пренебречь, конечное давление тогда

$$\begin{aligned} p_2' &= \pm \Delta p_2 \frac{N_{зад} - p_1 f_k}{F_M}, \\ \text{где } \Delta p_2 &= \pm p_1 \frac{f_k}{F_M}. \end{aligned}$$

В соответствии с теми задачами, которые должен выполнять регулятор при работе его в совокупности с регулируемым объектом, основные функции отдельных его элементов сводятся к следующим. Датчик производит непрерывное измерение текущего значения регулируемой величины, преобразует его в выходной сигнал и подает к регулируемому устройству. Задающее устройство вырабатывает сигнал заданного значения регулируемой величины  $\phi_0$  и также подает его к регулируемому устройству. Регулирующее устройство производит алгебраическое суммирование сигналов текущего и заданного значений регулируемой величины, в результате чего образуется сигнал рассогласования  $\Delta \phi = \phi_m - \phi_0$ , который усиливается, корректируется в соответствии с принятым для данного регулятора законом регулирования и в виде командного сигнала  $\psi_k$  подается к исполнительному механизму. Исполнительный механизм преобразует командный сигнал в регулирующее воздействие  $\psi$  и в соответствующее перемещение регулирующего органа, который осуществляет воздействие на регулируемый объект путем изменения количества газа на его притоке. Линии связи соединяют отдельные элементы

Рис. 3. Принципиальная схема простейшего регулятора давления прямого действия с грузом и заданным выходным давлением.

1 — корпус; 2 — мембрана; 3 — уплотняющий салык; 4 — грузный клапан давления; 5 — шток; 6 — шпиль; 7 — рабочий клапан; 8 — клапан; 9 — электромагнит.



57

$$p_2(F_M - S_p) + p_1 f_k = N_{\text{за}} + p_2(f_k - S_p),$$

где  $F_M$  — эффективная площадь мембраны регулятора управления;  $S_p$  — площадь сечения штока клапана регулятора управления;  $f_k$  — площадь клапана регулятора управления;  $p_3$  — промежуточное регулирующее давление.

В регуляторе непрямого действия отклонение  $p_2$  меньше, чем в регуляторе прямого действия, так как влияние начального давления сказывается не непосредственно, а в зависимости от количественной нагрузки  $Q$  регулятора. При этом изменение начального давления на  $\Delta p_1$  ведет сначала к изменению промежуточного давления на  $\Delta p_3$ , которое, в свою очередь, воздействует на изменение  $\Delta p_2$

$$\pm \Delta p_2 = \pm \Delta p_3 \frac{f_k}{F_M - f_k}.$$

Влияние площади сечения седла  $S_c$  становится незначительным. Если  $p_1 = p_3$ , то  $\Delta p_3 = \Delta p_1$ . Тогда общее отклонение выражается уравнением равновесия:

- для верхнего положения мембраны

$$p_2(F_{\text{за}} + S_p) + p_1 f_k = N_{\text{за}} + p_2(f_k - S_p);$$

- для нижнего положения мембраны

$$p_2(F_{\text{за}} + S_p) + p_1 f_k = N_{\text{за}} + p_2(f_k - S_p).$$

В регуляторе входное давление давит на исполнительный орган. Чтобы исполнительный орган открылся при входном давлении, на рабочую мембрану должна действовать сила  $F(p_1 - p_3)$ , которая равна силе сбросного клапана  $f_{\text{ск}} (p_1 - p_2)$ . При массе  $M$  подвижных частей получим

$$p_1 F(p_1 - p_3) + p_2 f_{\text{ск}} = M + p_1 f_{\text{ск}} + p_3 F,$$

откуда

$$p_3 = p_1 - \frac{(p_1 - p_2)f_{\text{ск}} + M}{F} = p_1 - \Delta p.$$

Таким образом, на мембрану исполнительного устройства регулятора давления непрямого действия воздействует разность давлений  $\Delta p = p_1 - p_3$ .

Примером такого типа регуляторов является блочный регулятор РДБК-1, включающий в себя односедельный регулирующий клапан, регулятор управления непрямого действия, стабилизатор, два основных регулирующих органа и один в камере над мембраной регуливающего клапана.

Одной из основных характеристик регуляторов давления является значение отклонения выходного давления (неравномерность регулирования), которое у статических регуляторов давления прямого действия составляет значение порядка  $\pm(10...20)$  %, а у астатических регуляторов непрямого действия порядка  $\pm(2...5)$  %.

Другими, но не менее важными характеристиками регуляторов, являются надежность работы; нечувствительность; герметичность затвора регуливающего клапана; давление, при котором наступает герметичность затвора регуливающего клапана; предел регулирования по расходу и перепаду давлений. Регулятор давления будет надежным, когда при идентичных значениях входного давления и расхода он всегда обеспечивает при постоянном режиме одно и то же выходное давление. В действительности наблюдается рассеивание этих значений, которое характеризует неточность регулирования и нечувствительность регулятора. Это обусловлено рядом факторов: трение в сопряженных

движущихся частях, люфты в сочленениях, инерция массы подвижных частей и т.п. При этом регулирующий орган реагирует на изменения регулируемого давления, которые превосходят значения нечувствительности. Нечувствительность  $\epsilon$  определяется величиной изменения регулируемого давления, обеспечивающего реверс в движении регулирующего клапана. Относительное значение  $\xi = p_{неч} p_{\max} / p_0$  называют коэффициентом нечувствительности регулятора, которое в большей мере зависит от качества изготовления и составляет для качественно изготовленного регулятора 0,6...6%. Неравномерность регулирования и нечувствительность регулятора нормируется ГОСТ 11881—76 «Регуляторы, работающие без использования постороннего источника энергии».

В газовом хозяйстве получили распространение в основном регуляторы, отрабатывающие релейный, пропорциональный и пропорционально-интегральный законы регулирования.

Регуляторы, отрабатывающие релейный закон регулирования, применяются обычно в котловой автоматике регулирования. При пропорциональном законе регулирования изменение проходного сечения отверстия  $S$  пропорционально разности давлений  $p_0 - p$ :

$$S - S_0 = k_1 (p_0 - p),$$

где  $S$  — площадь текущего сечения проходного отверстия регулирующего органа, м<sup>2</sup>;  $S_0$  — площадь сечения при первоначальном установившемся выходном давлении, м<sup>2</sup>;  $p$  — текущее выходное давление, МПа;  $p_0$  — выходное первоначальное (номинальное) давление (в момент времени  $t = 0$ ), МПа;  $k_1$  — коэффициент пропорциональности.

Регуляторы давления с пропорциональным законом регулирования называются *статическими*. К статическим регуляторам относятся мембранные регуляторы с пружинной нагрузкой. Отличительной особенностью этих регуляторов является то, что в установившемся режиме работы регулируемая величина не может оставаться на заданном значении, а изменяется с изменением нагрузки объекта. Они обладают статической неравномерностью регулирования и определенной степенью нечувствительности, порождаемыми рядом факторов (трение, зазоры в сочленениях и др.), что является недостатком статических регуляторов ( $p$  изменяется с изменением нагрузки объекта). С другой стороны, наличие статизма делает статический регулятор наиболее устойчивым при работе его в системе автоматического регулирования, что является важным достоинством. В целях уменьшения отклонения регулируемой величины  $p$  от заданной  $p_0$ , обусловленного статической неравномерностью, заданное значение регулируемой величины  $p_0$  целесообразно устанавливать на средней нагрузке  $Q_{ср}$ .

При интегральном законе регулирования скорость изменения проходного сечения дроссельного отверстия пропорциональна разности между выходным, текущим и расчетным значениями давления:

$$\frac{dS}{dt} = k_2 (p_0 - p),$$

или

$$S - S_0 = k_2 \int (p_0 - p),$$

откуда и произошло название интегрального закона регулирования. Регулятор давления с интегральным законом регулирования не дает отклонения между полученным и заданным значениями давления. После изменения расхода газа наступает новое равновесное состояние, скорость изменения проходного сечения дроссельного органа становится равной нулю, тогда  $p_0 - p = 0$ , т.е. выходное давление восстанавливается до своего начального значения. Регулятор давления с интегральным законом регулирования в

случае изменения расхода газа создает колебательный режим, при котором текущее значение  $p$  колеблется около среднего значения  $p_0$ , и постоянный режим никогда не достигается. Недостатки регуляторов с интегральным законом регулирования обусловлены их динамическими свойствами. Такие регуляторы называются *астатическими* и могут применяться для регулирования только в объектах с большим самовыравниванием.

Сравнение регуляторов с пропорциональным и интегральным законами регулирования показывает, что первые обладают преимуществом по динамическим свойствам и обеспечивают лучший переходный процесс регулирования, а преимущества вторых обусловлены отсутствием статической неравномерности, т.е. лучшими статическими свойствами в установившемся режиме. Поэтому в практике применяются регуляторы с пропорционально-интегральным законом регулирования, которые известны под названием регуляторов с упругой обратной связью, или *изодромными*. При отклонении текущего значения регулируемой величины от заданного регулятор этого типа в начальный момент времени переместит регулирующий орган на значение, пропорциональное отклонению, но если при этом регулируемая величина не придет к заданному значению, регулирующий орган будет перемещаться до тех пор, пока регулируемая величина не достигнет своего заданного значения.

Система автоматического регулирования, состоящая из объекта регулирования и регулятора, должна быть не только устойчивой, но и обладать определенными качественными показателями: повышенной точностью регулирования в установившихся режимах (уменьшение или устранение статической ошибки воспроизведения задающего воздействия, уменьшение или устранение влияния постоянных возмущений); улучшенными характеристиками переходных процессов.

Основными показателями качества регулирования являются время регулирования, перерегулирование, колебательность и установившаяся ошибка. Время регулирования определяет длительность или быстродействие переходного процесса. В тупиковых объектах имеет большое значение и скорость изменения регулируемой величины.

Основная трудность при подборе регуляторов давления состоит в том, что регулируемые объекты различны по своим динамическим свойствам. Они могут иметь участки с «бесконечно» большими объемами, например, при питании многочисленных сетей, до совершенно коротких участков с объемом в несколько кубометров и менее, например, подвод к горелкам топок водогрейных и паровых котлов с относительно высоким потреблением газа. Регулятор должен не только стабильно работать в широком диапазоне нагрузок от минимального потребления газа (для розжига) до полной нагрузки, но и быстро реагировать на резкую смену нагрузки между этими пределами.

Способы придания системам автоматического регулирования достаточного запаса устойчивости разнообразны. Наиболее доступным и возможным решением этой задачи является правильный выбор регулятора давления для того или иного объекта регулирования, которые будут рассмотрены далее.

При отсутствии расхода газа выходное давление его увеличивается до тех пор, пока не будет достаточным для герметичного закрытия регулирующего клапана. Это давление не должно быть больше максимально допустимого рабочего давления всех подключенных к газовой распределительной сети газоиспользующих установок и приборов. Обычно в практике указанное давление не превышает полуторакратного значения от настроенного значения регулятора давления газа.

СНиП 2.04.08-87\* «Газоснабжение» регламентирует относительную нерегулируемую протечку газа через закрытые клапаны двухседельных регуляторов значением 0,1 % от номинального расхода. Для односедельных клапанов герметичность затворов должна соответствовать 1 классу по ГОСТ 9544—75. Допустимая нерегулируемая протечка газа при применении в качестве регулирующих устройств поворотных заслонок не должна превышать 1 % от их номинальной пропускной способности.



Предел регулирования по пропускной способности представляет собой отношение максимальной пропускной способности регулятора к минимальной пропускной способности, при которой он будет продолжать работать, удовлетворительно поддерживая заданное значение давления. При этом ограничивающим фактором является возникновение автоколебаний (пульсаций, вибраций) регулирующего органа. Это явление происходит в случае, когда нагрузка снижается до некоторой точки ниже минимальной пропускной способности. Регуляторы давления газа непрямого действия типа РДБК имеют диапазон пропускной способности около 1:20. При большом объеме сети и условиях с медленными изменениями нагрузок это отношение увеличивается до 1:30.

Регуляторы давления прямого действия с жесткой обратной связью имеют устойчивый процесс регулирования во всем диапазоне к пропускной способности. Другими характеристиками регулятора давления газа являются его пропускная способность при максимальном и минимальном рабочем давлении; минимальный перепад входного и выходного давлений, при котором регулятор работоспособен.

### **1. 8 Лекция №8 (2 часа).**

#### **Тема: «Регулирование тепловой нагрузки»**

##### **1.8.1 Вопросы лекции:**

1. Методы регулирования. Общее уравнение регулирования.
2. Тепловые характеристики теплообменных аппаратов.
3. Удельная теплопроизводительность отопительной системы.

##### **1.8.2 Краткое содержание вопросов:**

1 Механизация и автоматизация процессов послеуборочной обработки зерна;

В соответствии с принятой технологией весь урожай зерновых, бобовых, масличных культур и семян трав после комбайновой уборки подлежит очистке, а около 60 % убранного урожая необходимо подвергать искусственной сушке.

Необходимость в послеуборочной обработке зерна (очистке, сортировании и сушке) вызвана тем, что поступающий из-под комбайнов зерновой ворох наряду с зерном содержит 20...30 % сорных и до 5 % солоmistых примесей, а влажность зерна в зависимости от климатических условий значительно отличается от допустимой (14 %) и иногда достигает 30 % и более.

Для послеуборочной очистки и искусственной сушки зерна используют стационарные зерноочистительно-сушильные пункты. Для этих пунктов предназначены зерноочистительные агрегаты типа ЗАВ и очистительно-сушильные комплексы (типа КЗС) производительностью 10...100т/ч и вентилируемые бункера вместимостью до 100 т. Для очистки и сортирования зернового вороха используют воздухорешетные и триерные машины, а сушат зерно в зерносушилках шахтного, камерного и барабанного типов и в установках активного вентилирования. Каждый агрегат и комплекс, помимо указанных машин, содержит набор транспортеров и норий, зернопроводы и накопительные емкости, устройства для взвешивания, загрузки и разгрузки автотранспорта, воздушные циклоны, щиты и пульта управления машинами. Все машины согласованы по производительности и объединены в единую поточную линию, обслуживаемую одним-двумя операторами.

На основе этих средств разработаны пульта и станции автоматического управления агрегатами и комплексами послеуборочной обработки зерна, которые автоматически обеспечивают:

последовательность пуска машин поточной линии в направлении, обратном направлению потока зерна, начиная с машины, установленной в конце линии;

остановку всех машин, предшествующих по потоку зерна любой остановившейся машине в линии;

возможность ручного включения и отключения любой машины при наладке без

соблюдения технологических блокировок;

включение аспирационной системы перед пуском машин и отключение всех машин при останове аспирационной системы; программный розжиг топки и контроль ее работы; контроль температуры теплоносителя и нагрева зерна; защиту электрооборудования от токов короткого замыкания и перегрузок;

работу разгрузочных устройств шахт и охладительных колонок сушилки;

световую сигнализацию о включении и отключении всех двигателей машин и механизмов, о предельных уровнях зерна в сушилках и технологических емкостях и об отклонении температуры теплоносителя от заданного значения. Кроме световой, имеется аварийно-предупредительная звуковая сигнализация, которая срабатывает при аварийном останове какой-либо машины, переполнении технологических емкостей и при погасании пламени в топке. В схемах автоматики предусмотрены кнопочные посты для аварийного одновременного останова при необходимости всех работающих машин.

## 2 Автоматизация процессов очистки и сортирования зерна;

Технологические и электрические схемы автоматизации рассмотрим на примере автоматизации наиболее широко распространенного зерноочистительно-сушильного комплекса КЗС-20Ш. Автоматизация других агрегатов и комплексов выполнена аналогично.

Комплекс КЗС-20Ш предназначен для послеуборочной обработки зерновых, зернобобовых и крупяных культур.

Очищенные семена и отходы поступают в соответствующие секции блока бункеров. Зерносушилка СЗШ-16 имеет две шахты. При влажности зерна до 20 % поток зерна разделяется и одновременно проходит через обе шахты. При влажности свыше 20 % весь поток проходит обе шахты последовательно. При параллельной работе шахт зерно норями 11 и 13 равномерно и одновременно распределяется по двум шахтам. Высушенное и охлажденное зерно норией 7 подается в резервный бункер 18, откуда самотеком поступает во вторую ветвь загрузочной нории 5.

Останавливают машины в обратной последовательности, нажимая кнопки «Стоп» SB17...SB1. В случае переполнения бункеров 18, 20, 21 и 22 переключаются контакты датчиков уровня SL1...SL4 и включается звуковой сигнал НА, а соответствующие сигнальные лампы HL11...HL14 гаснут.

## 3 Оптимизация автоматического управления очистительными и сортировальными машинами;

Установлено, что существующая система автоматического контроля и дистанционного управления машинами не полностью удовлетворяет требованиям послеуборочной обработки зерна на агрегатах и комплексах и имеет существенные резервы. Оптимизация систем автоматического управления всеми технологическими процессами позволит повысить производительность машин на 20...25 %, снизить простои машин в 4...5 раз, уменьшить затраты труда в 2...3 раза и обеспечить заданное качество обработанного зерна. Этого можно достичь лишь при применении совокупности автоматических устройств, объединенных в оптимальную систему автоматизированного управления технологическими процессами всего послеуборочного комплекса.

Цель оптимизации автоматического управления зерноочистительной машиной состоит в получении максимальной производительности  $q_k$  при заданном значении чистоты  $r_k$  обработанного зерна.

Для получения хорошей чистоты очистки следует регулировать загрузку машины  $q_{нс}$  погрешностью не более  $\pm 5\%$  заданного значения.

Для высокопроизводительных зерноочистительных машин с целью получения высококачественной очистки экономически целесообразно использовать следующие автоматические СУ оптимальным процессом очистки зерна: СУ чистотой для блока

подсевных решет; СУ содержанием зерна  $Z_a$  в отходах каждого канала аспирации и СУ содержанием зерна  $Z_n$  для блока решет, отделяющего крупные примеси. Пока наиболее сложной и практически нерешенной в техническом отношении задачей является разработка датчиков чистоты сортировки и датчиков содержания зерна в каналах аспирации и в крупных примесях.

#### 4 Автоматизация зерносушилок;

В сельском хозяйстве нашей страны используют шахтные, барабанные и камерные зерносушилки. Это наиболее ответственные объекты автоматизации зерноочистительно-сушильного комплекса, на которые приходится 85 % всех контролируемых и управляемых операций на комплексе.

Шахтные зерносушилки типа СЗШ (рис. 8.4) имеют две сушильные камеры, два надсушильных бункера 6, две загрузочные норрии 7 влажного зерна, две норрии сухого зерна 8, разгрузочные устройства 3, две охлаждающие колонки  $P_{co}$  шлюзовыми затворами. Теплоноситель из топки 2 по трубопроводу 1 подается в сушильные камеры 4 и 5. Пространство между шахтами используется в качестве диффузора 12, в центральную часть которого снизу подводится теплоноситель. Отработанный теплоноситель отводится с боковых сторон с помощью вентиляторов 13. Внутри камеры размещены пятигранные коробки 11. Одной стороной каждый короб упирается в глухую стенку, в другой его стороне выполнено открытое окно.

Технологическая схема теплогенератора для зерносушилки типа СЗШ показана на рисунке 8.5.

Зерносушилку останавливает оператор, поочередно отключая оборудование в последовательности, обратной пуску, при помощи кнопок «Стоп» SB19...SB1.B экстренных случаях одновременно все машины останавливают кнопкой SBили SB1.

#### 5 Автоматизация процесса активного вентилирования зерна;

**Активное вентилирование** — продувание массы зерна холодным или подогретым воздухом — наиболее эффективный прием временного хранения (консервирования) влажного зерна.

Круглосуточное вентилирование необходимо, если влажность зерна была выше 20 %, а относительная влажность воздуха не превышала 90%. В дождливую погоду проводят периодическое вентилирование зерна подогретым воздухом в течение 1,5 ч через 4...6 ч.

**Автоматическая СУ воздухораспределением** (рис. 8.8, б) воздействует на электропривод М, который устанавливает поршень- заглушку в требуемое положение следующим образом.

**Схема управления загрузкой, температурой и влажностью зерна бункеров** активного вентилирования показана на рисунке 8.9.

Благодаря высоким влагосорбционным свойствам озона и протонирования время сушки и затраты энергии сокращаются в 1,5...1,8 раза по сравнению с сушкой семян подогретым воздухом той же температуры.

#### 6 Характеристика зерносушилок как объектов автоматизации;

**Режим сушки.** В зерноочистительных и сушильных пунктах автоматизация технологических процессов неполная. Рассмотренные схемы автоматизации зерноочистительно-сушильных комплексов обеспечивают дистанционное управление (пуск и останов) и автоблокировку в поточных линиях, защиту от аварийных и ненормальных режимов работы установок и предупредительную сигнализацию, контроль температуры теплоносителя и зерна, измерение предельных значений уровня в емкостях и влажности зерна на входе и выходе сушилки, а также регулирование температуры теплоносителя на входе в сушилку.

Для получения продовольственного и семенного зерна высокого качества

параметры процесса сушки необходимо выбирать с учетом как биофизических свойств зерна (вида и типа зерновой культуры, начальной его влажности и температуры), так и технологических показателей процесса сушки (начальной и конечной температуры и влажности теплоносителя, загрузки и экспозиции сушки зерна в сушилке и др.).

Только с учетом указанных факторов можно обеспечить оптимальное автоматическое управление процессом сушки зерна по температуре и влажности. Как показывает практика, при ручном управлении процессом сушки температура теплоносителя (агента сушки) колеблется в пределах 15...20°C, температура нагрева зерна — 5...7 °C, а влажность зерна — 4...6 % от требуемых значений. Из-за инерционности изменения параметров управления оператор не в состоянии стабилизировать управляемые параметры на заданных уровнях, что вызывает нарушение процесса сушки, а производительность поточных линий не превышает 70 % номинальной. Например, при заниженной температуре теплоносителя производительность сушилки резко падает и увеличиваются удельные затраты энергии на сушку. При повышенной температуре клейковина (белок) зерна подвергается денатурации, что приводит к ухудшению качества продовольственного и особенно семенного зерна. В связи с этим семенное зерно сушат при более низкой температуре, чем продовольственное.

Для сушки продовольственного зерна температура теплоносителя должна быть не более  $\pm 150^{\circ}\text{C}$ , семян злаковых культур — 70, бобовых — 45 °C соответственно.

Другими словами, система автоматического управления должна оптимизировать процесс сушки систем по двум-трем управляемым параметрам:  $\theta$ ,  $w$  ( $A_w$ ),  $\theta_T$  — при помощи изменения входных величин (температуры теплоносителя  $\theta_T$ , скорости вили производительности  $q$  и времени / прохождения зерна через сушилку), по отклонению управляемых параметров и с учетом возмущающих воздействий  $G$  и  $v\%$ .

#### 7 Автоматизация взвешивания продукции;

Сыпучие грузы взвешивают на платформенных рычажных и тензометрических весах.

В сельскохозяйственном производстве наиболее распространены стационарные платформенные весы, грузоприемный механизм которых состоит из четырех поперечных рычагов, передающих усилие на коромысло или тягу циферблатного указательного устройства. Некоторые из этих весов могут регистрировать результаты взвешивания. На одной оси со стрелкой циферблатного указателя весов этого типа смонтирован барабан, имеющий 13 кодирующих дорожек. На каждой дорожке барабана в определенном порядке расположены отверстия, образующие цифровой код, соответствующий углу поворота стрелки. Двенадцать дорожек образуют код массы, тринадцатая служит для контроля успокоения подвижной системы весов. Считывание кода с барабана осуществляется фотодиодами, расположенными против каждой из дорожек и освещаемыми специальным источником света через отверстия в барабане. Положение, когда фотодиод освещен, соответствует 1, когда не освещен — 0. Таким образом, определенной схемой размещения отверстий на барабане записан циклический код чисел десятичной системы от 0 до 1000. Результат взвешивания считывается оператором со шкалы, фиксируется на бумажной ленте и может быть передан на пункт централизованного учета.

Преимущества схемы цифрового управления — отсчет импульсов; отсутствие погрешности в измерениях из-за налипания материала на стенки бункера 2.

Дальнейшее усовершенствование порционных весов — многокомпонентные весовые дозаторы, представляющие собой то же весовое устройство, но приспособленное для последовательного взвешивания в одном бункере нескольких компонентов какой-либо смеси (например, комбикорма).

## 1. 9 Лекция №9 (2 часа).

### Тема: «Общая характеристика газообразного топлива»

#### 1.9.1 Вопросы лекции:

1. Введение. Газовые месторождения.
2. Газообразное состояние и его параметры (Давление, Плотность и удельный объем. Температура. Критические и приведенные параметры газов. Нормальные и стандартные условия.).
3. Физические свойства газов

#### 1.9.2 Краткое содержание вопросов:

1) Выбор типа и размера регулятора давления зависит от расхода газа, его входного и выходного давлений. Основными параметрами, определяющими пропускную способность регулятора, являются условный диаметр  $D_y$  проходного сечения дросселирующего органа и соответствующий ему коэффициент пропускной способности  $K_v$ .

Возможны два варианта определения параметров регулятора давления:

1) по заданной пропускной способности  $Q$ , перепаду давлений ( $p_1 - p_2$ ) на дроссельном органе и температуре газа  $T_2$  определяют коэффициент пропускной способности  $K_v$ , а затем по справочным данным выбирают соответствующий регулятор;

2) заданному расходу, перепаду давлений и температуре газа выбирают регулятор, а затем рассчитывают условное проходное сечение и коэффициент пропускной способности.

Коэффициент пропускной способности  $K_v$  характеризует пропускную способность дросселирующего органа и зависит от его проходного сечения и гидравлического сопротивления. Численно  $K_v$  равен количеству воды в тоннах, которое пропускает за 1 ч данное исполнительное устройство при перепаде давлений на его дросселирующем органе  $1 \text{ кг/см}^2$ , т.е. единицей измерения коэффициента пропускной способности является тонна в час (т/ч).

Способ определения  $K_v$  зависит от вида истечения газа через дросселирующее устройство: докритическое, критическое или сверхкритическое.

Под критическим понимается истечение газа с максимальной скоростью, равной скорости звука, которая может быть достигнута на выходе из дросселирующего органа регулятора при критических или сверхкритических отношениях входного  $p_1$  и выходного  $p_2$  давлений. Характер течения газа через дросселирующий орган регулятора в значительной мере характеризует его пропускную способность.

В процессе истечения газов при заданном давлении  $p_1$  скорость истечения и расход растут с уменьшением выходного давления  $p_2$  только до достижения этим отношением определенного для этого газа значения, которое называется критическим  $(p_2/p_1)_{кр}$ . Если  $p_2/p_1$  достигло критического значения, то при заданном  $p_1$  расход газа становится максимальным при наименьшем давлении  $p_2 = p_{кр}$ :

$$\frac{p_2}{p_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)_{кр} = \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}},$$

где  $k$  — показатель адиабаты.

Из этого уравнения следует, что отношение  $(p_2/p_1)_{кр}$  не зависит от  $p_1$ , а также от выходного давления  $p_2$  и является функцией показателя адиабаты  $k$ , а значит, зависит только от свойств газа.

Для природного газа  $k = 1,32$ , следовательно,  $p_2/p_1 = 0,542$ , т.е. в регуляторе давления, который поддерживает низкое давление 200 Па, при входном избыточном давлении 0,1 МПа и более наступит критический режим истечения газа.

Пропускная способность регулятора (при  $p = 0,1013$  МПа и  $t = 0^\circ\text{C}$ ) определяется формулой

$$Q_p = 1,595 \varphi f_c p_1 \sqrt{\frac{1}{\rho}}$$

где  $\varphi$  — коэффициент, зависящий для данного газа от  $p_2/p_1$ ;  $f_c$  — площадь седла,  $\text{см}^2$ ;  $p_1$  — входное давление, абсолютное, МПа;  $\rho$  — плотность газа,  $\text{кг/м}^3$ .

До достижения критического значения  $p_2/p_1$  расход газа растет с увеличением входного давления  $p_1$ . Если отношение  $p_2/p_1$  меньше критического, то расход газа через регулятор растет пропорционально увеличению  $p_1$ , т. е. отношение  $p_2/p_1$  на расход не влияет, а коэффициент  $\varphi$  остается постоянным. Учитывая значительные потери давления в корпусе регулятора, действительный расход газа через регулятор будет меньше теоретического, и для его определения вводят поправочный коэффициент а меньше единицы:

$$Q_0 = 1,595 \varphi f_c a p_1 \sqrt{\frac{1}{\rho}}$$

Повышение и понижение давления газа после регулятора давления сверх допустимых пределов может привести к аварийной ситуации. При повышении давления газа возможны отрыв пламени у горелок газоиспользующего оборудования и появление в рабочем объеме газозоудной смеси. Значительное понижение давления газа может привести к проскоку пламени в горелку или его погасанию, что приведет к образованию взрывоопасной газозоудной смеси в топках и газоходах агрегатов.

2) Ранее было сказано о составе технологической структуры ГРП и ГРУ, основным элементом которой является регулятор давления. Другие не менее важные структурные виды оборудования перечисляются и рассматриваются в кратком виде далее.

**Предохранительные запорные клапаны.** Для предотвращения недопустимого изменения давления газа в ГРП (ГРУ) устанавливают предохранительные запорные клапаны (ПЗК) и предохранительные сбросные клапаны (ПСК).

Предохранительные запорные клапаны могут быть низкого (тип ПКН) и высокого (тип ПКВ) давлений.

Производятся и применяются также предохранительные запорные клапаны типа КПН и КПВ соответственно низкого и высокого давлений.

Если по условиям производства перерыв в подаче газа недопустим, то вместо ПЗК должна быть предусмотрена сигнализация оповещения обслуживающего персонала.

Согласно «Правилам безопасности в газовом хозяйстве» верхний предел срабатывания предохранительных запорных клапанов не должен превышать максимальное рабочее давление газа после регулятора более чем на 25 %.

Настройка ПЗК на срабатывание зависит от назначения ГРП, который может обеспечивать подачу газа в тупиковую или кольцевую газораспределительную сеть.

При тупиковой системе разводки газопроводов выключение и отключение части потребителей может вызвать кратковременное, но значительное понижение или повышение давления газа в контролируемой точке даже при исправном регуляторе. Во избежание срабатывания ПЗК в случае повышения давления и отключения всех потребителей в обычном (не аварийном) режиме клапан настраивают на давление, несколько большее того, на которое настроено предохранительное сбросное устройство (ПСУ). Это устройство, сбрасывая небольшие количества газа в атмосферу, не позволяет подниматься давлению в контролируемой точке до значения срабатывания ПЗК.

При неисправном регуляторе сброс через ПСУ окажется недостаточным, давление в контролируемой точке повысится, ПЗК сработает и перекроет подачу газа потребителям.

Кольцевая система газопровода запитывается газом от нескольких **ГРП**, поэтому изменение отбора газа потребителями скажется на их работе.

Неисправность одного из регуляторов и связанное с этим увеличение давления вызывают уменьшение подачи газа в кольцевую сеть газопровода регуляторами других **ГРП**. В этом случае сброс в атмосферу газа через ПСУ в **ГРП** с неисправным регулятором недопустим, так как он может продолжаться длительное время, снижая давление газа в газопроводе, что невыгодно с экономической точки зрения и вредит экологии. Поэтому в кольцевых системах ПЗК настраивают на давление срабатывания, меньшее, чем давление начального открытия ПСУ. При этом ПСУ предохраняет кольцевую систему газопроводов от повышения в ней давления сверх допустимых пределов в случае, когда в **ГРП** сработал ПЗК, но из-за негерметичности затвора давление в системе увеличивается.

**Предохранительные сбросные клапаны.** Для предотвращения повышения давления газа выше допустимого значения после регулятора давления устанавливают предохранительное сбросное устройство, которое сбрасывает в атмосферу избыточный объем газа. Согласно «Правилам безопасности в газовом хозяйстве» предохранительные сбросные клапаны, в том числе встроенные в регулятор давления, должны обеспечивать сброс газа при превышении максимального рабочего давления после регулятора не более чем на 15%.

По конструктивному устройству предохранительные сбросные клапаны подразделяются на пружинные, мембранные и жидкостные.

Особой разновидностью ПСК является гидравлический предохранитель (ГП) (рис. 5), который состоит из корпуса / и двух фланцевых патрубков: входного 4 и выходного 2. Фланец входного патрубка соединен с контролируемым участком газопровода. Нижняя часть входного патрубка через крышку 3 опущена в корпус таким образом, чтобы ее обрез не доходил до дна. Корпус заполнен затворной жидкостью.

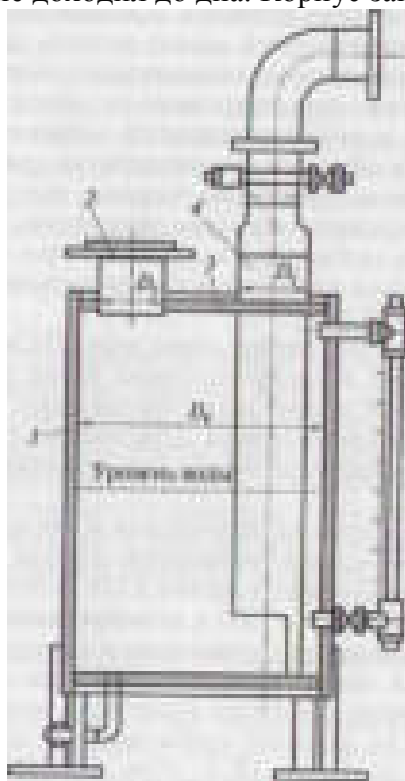


Рис. 5. Гидравлический предохранитель: / - корпус; 2 - выходной патрубок; 3 - крышка; 4 - входной патрубок

Началом срабатывания ГП следует считать момент появления первых пузырьков газа, барботирующих через жидкость, полным открытием — работу ГП при давлении в контролирующей точке газопровода, превышающем заданное на 15%.

Выбор конструкции предохранительного сбросного клапана производится в соответствии с требуемой пропускной способностью.

**Определение пропускной способности.** Количество газа, подлежащее сбросу ПСК при наличии перед регулятором ПЗК, должно удовлетворять условию:  $Q > 0,0005 Q_d$ , где  $Q$  - количество газа, подлежащее сбросу ПСК в течение часа при  $t = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $p = 0,10132$  МПа;  $Q_d$  — расчетная пропускная способность регулятора давления при тех же условиях, м<sup>3</sup>/ч.

При отсутствии перед регулятором давления ПЗК количество газа, подлежащее сбросу, определяют:

- для регуляторов давления с золотниковым клапаном —  $Q > 0,01 Q_d$ ;
- регулирующих заслонок —  $Q > 0,02 Q_d$ .

При необходимости параллельной установки в ГРП нескольких регуляторов давления суммарное количество газа, подлежащее сбросу ПСК в течение часа, должно удовлетворять условию:  $Q' > Q_n$ , где  $Q$  — количество газа, подлежащее сбросу ПСК в течение часа для каждого регулятора, м<sup>3</sup>;  $n$  — число регуляторов давления, шт.

Молоточные, мембранные и пружинные ПСК имеют небольшую пропускную способность.

Для обеспечения устойчивой работы системы газораспределения пропускная способность ПСУ должна возрастать плавно по мере повышения давления в контролируемой точке газопровода таким образом, чтобы начало сброса газа в атмосферу происходило при превышении заданного давления не более чем на 5 %, а полное открытие ПСУ — при превышении его на 15 %.

**Газовые фильтры.** Эти фильтры предназначены для очистки газа от пыли, ржавчины, смолистых веществ и других твердых частиц. Качественная очистка газа позволяет повысить герметичность запорных устройств, а также увеличить межремонтное время их эксплуатации за счет уменьшения износа уплотняющих поверхностей. При этом также уменьшается износ и повышается точность работы расходомеров (счетчиков и измерительных диафрагм), особенно чувствительных к эрозии. Правильный выбор фильтров и их квалифицированная эксплуатация являются важнейшими факторами обеспечения надежного и безопасного функционирования систем газоснабжения.

Максимально допустимый перепад давлений на сетчатых фильтрах не должен превышать 5 000 Па, на волосяных — 10000 Па, а до начала эксплуатации или после очистки и промывки фильтра этот перепад должен составлять соответственно 2 000...2 500 Па и 4000...5000 Па.

В конструкциях фильтров предусмотрены штуцеры для присоединения приборов, с помощью которых определяется падение давления на фильтрующем элементе.

По направлению движения газа через фильтрующий элемент все фильтры можно подразделить на прямоточные и поворотные; по конструктивному исполнению — на линейные и условные; по материалу корпуса и методу его изготовления — на чугунные (алюминиевые) литые и стальные сварные.

Пропускная способность фильтров указывается в техническом паспорте завода-изготовителя для газа определенного состава и при известных начальном и конечном давлениях. Для определения пропускной способности фильтров при использовании другого газа и работе в другом режиме применяют формулу

$$Q = Q_1 \sqrt{\frac{p_{01} \Delta p p_2}{p_0 \Delta p_1 p_{21}}}$$



где  $Q_T$  — пропускная способность фильтра при табличных условиях, м<sup>3</sup>/ч;  $\rho_{от}$  — плотность газа табличная, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta p$  — перепад давлений на фильтре при работе в режиме, отличном от табличного, МПа;  $p_2$  — давление газа после фильтра при работе в режиме, отличном от табличного, МПа;  $\rho_0$  — плотность газа при использовании другого газа, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta p_m$  — перепад давлений на фильтре при табличных условиях, МПа;  $p_{2T}$  — давление газа после фильтра табличное, МПа.

## 1.10 Лекция №10 (2 часа).

### Тема: «Газопроводы»

#### 1.10.1 Вопросы лекции:

1. Подготовка газа к транспортированию и использованию.
2. Очистка горючих газов.
3. Технологическая схема магистрального газопровода.
4. Классификация газопроводов.
5. Устройство подземных, надземных и наземных газопроводов.
6. Запорные устройства.

#### 1.10.2 Краткое содержание вопросов:

1) *Газогорелочными устройствами* называются устройства, генерирующие тепловую энергию в виде разогретых до высокой температуры продуктов сгорания газа. Генерация тепловой энергии осуществляется газовой горелкой.

*Газовой горелкой* называется устройство, обеспечивающее устойчивое сжигание газообразного топлива и возможность регулирования процесса горения. Газовая горелка осуществляет подачу газа и воздуха в зону горения, обеспечивая смесеобразование, воспламенение и стабилизацию факела. Газовые горелки осуществляют преобразование химической энергии газа в тепловую. Газогорелочные устройства должны быть компактными, удобными и надежными в эксплуатации.

Общие технические требования к газовым горелкам определяются ГОСТ 21204—97.

Работа каждой горелки характеризуется основными параметрами, определяемыми при испытаниях:

- тепловой мощностью;
- коэффициентом рабочего регулирования;
- давлением газа и воздуха и их расходами;
- концентрациями оксида углерода, диоксида серы, оксидов азота в сухих неразбавленных продуктах сгорания;
- массой и т.д.

Рассмотрим некоторые термины и определения основных параметров, которые независимо от конструктивного исполнения горелок являются общими.

*Тепловая мощность горелки  $P_g$*  — это количество теплоты, образующееся в результате сжигания газа  $V_g$ , подводимого к горелке в единицу времени:

$$P_g = V_g Q_n^p$$

где  $Q_n^p$  — низшая теплота сгорания газа.

Различают максимальную, номинальную и минимальную тепловые мощности горелки. На практике пользуются также понятием минимальной *рабочей* тепловой мощности горелки  $P_{гмин\,раб}$  которой показатели ее работы соответствуют установленным нормам.

*Коэффициент рабочего регулирования горелки  $K_{pp}$*  — отношение номинальной тепловой мощности горелки к ее минимальной рабочей тепловой мощности:

$$K_{pp} = \frac{P_{г\text{ ном}}}{P_{г\text{ мин раб}}}$$

Коэффициенты рабочего регулирования горелки должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 1.

### Коэффициенты рабочего регулирования горелки

Класс горелки по способу подачи воздуха и степени подготовки горючей смеси	Коэффициент рабочего регулирования $K_{pp}$ не менее
Горелки с принудительной подачей воздуха с полным предварительным смешением, инжекционные горелки с полным предварительным смешением	3
Горелки с принудительной подачей воздуха с неполным предварительным смешением	4
Горелки с принудительной подачей воздуха без предварительного смешения, горелки с подачей воздуха за счет разрежения без предварительного смешения, инжекционные горелки с частичной подачей первичного воздуха	5
Беспламенные панельные горелки	2

Примечание. Указанные коэффициенты рабочего регулирования не относятся к блочным горелкам со ступенчатым регулированием; запальным горелкам; горелкам, предназначенным для тепловых агрегатов, не требующих указанных значений  $K_{pp}$

*Коэффициент предельного регулирования горелки  $K_{npp}$*  — отношение максимальной тепловой мощности к ее минимальной тепловой мощности:

$$K_{npp} = \frac{P_{г\text{ макс}}}{P_{г\text{ мин}}}$$

*Диапазон регулирования тепловой мощности горелки* — диапазон, в котором изменяется тепловая мощность горелки во время эксплуатации.

*Давление газа перед горелкой* — давление (максимальное, номинальное, минимальное рабочее, минимальное), измеренное после последнего по ходу регулирующего или запорного органа го-

релки и соответствующее максимальной, номинальной, минимальной рабочей или минимальной тепловой мощности горелки.

*Номинальная относительная длина факела* представляет собой расстояние по оси факела от выходного сечения горелки, измеренное (при номинальной тепловой мощности) в калибрах выпускного отверстия до точки, где концентрация  $\text{CO}_2$  (при  $\alpha = 1$ ) составляет 95 % от максимального значения.

*Удельная металлоемкость горелки* — отношение массы горелки к номинальной тепловой мощности.

*Давление (разряжение) в камере сгорания* измеряется в зоне выходного сечения горелки при номинальной тепловой мощности.

*Шумовая характеристика горелки* — уровень звукового давления, создаваемого работающей горелкой в зависимости от спектра частот.

*Автоматика горелки* — комплекс элементов, обеспечивающих пуск, автоматическое регулирование и контроль безопасности горелки.

*Система контроля пламени* включает в себя устройство контроля пламени и управляемый этим устройством запорный клапан.

*Горелка с ручным управлением* — это горелка, в которой розжиг, изменение режима работы горелки и наблюдение за работой горелки выполняет оператор.

*Автоматическая горелка* — горелка, оборудованная автоматическими устройствами: дистанционным запальным, контроля пламени, контроля давления топлива и воздуха, запорными клапанами и средствами управления, регулирования и сигнализации.

*Блочная газовая горелка* — газовая горелка, скомпонованная с вентилятором в единый блок, оборудованная средствами автоматического управления и регулирования.

*Запальное устройство* — устройство для розжига горелки.

*Запальная горелка* — вспомогательная горелка, служащая для розжига основной горелки.

2) Процесс сжигания газа, как отмечалось, условно подразделяется на три основных стадии:

- смешение газа с воздухом для горения (подготовка горючей смеси);
- подогрев горючей смеси до температуры воспламенения;
- собственно процесс сжигания — горение.

В соответствии с этим газогорелочные устройства, обеспечивающие сжигание газа, выполняют следующие функции:

*подготавливают газ и воздух для горения, придавая им требуемое направление и скорость движения; подготавливают горючую смесь; стабилизируют горение; осуществляют подачу горючей смеси или продуктов сгорания в рабочее пространство или из него.*

Независимо от типа все горелки имеют общие конструктивные элементы:

- устройства для подвода газа (сопло) и воздуха (воздуховод);
- смеситель и горелочную насадку со стабилизирующим устройством.

*Сопло* предназначено для подачи определенного количества газа, а иногда и воздуха с определенной скоростью в смесительную часть горелки.

*Воздуховод* — конструктивный элемент для подачи воздуха в необходимом количестве и требуемой скоростью.

*Смеситель* предназначен для подготовки горючей смеси для горения в процессе взаимодействия струй газа с воздушным потоком.

*Горелочная насадка* предназначена для распределения газа или газозвушной смеси по выходному сечению.

*Стабилизаторы* предназначены для обеспечения устойчивости процесса горения, предотвращения отрыва и проскока пламени.

В зависимости от типа горелки или условий эксплуатации ее конструктивные элементы имеют различное оформление. В некоторых конструкциях горелок отдельные элементы могут отсутствовать или компоноваться в одной детали.

## 1.11 Лекция №11 (2 часа).

### Тема: «Защита газопроводов от коррозии»

#### 1.11.1 Вопросы лекции:

1. Виды коррозии.
2. Защита газопроводов от почвенной коррозии и блуждающих токов.
3. Мероприятия по защите подземных газопроводов от коррозии.
4. Коррозионные измерения на подземных стальных трубопроводах.
5. Определение коррозионной активности грунта.

#### 1.11.2 Краткое содержание вопросов:

1) Газовые горелки могут быть классифицированы по различным признакам:

- по длине факела (длиннопламенные, короткопламенные);
- светимости пламени (светящиеся или слабосветящиеся);
- теплоте сгорания газа (высококалорийные, низкокалорийные);
- давлению газа перед горелкой (низко- и высоконапорные);
- числу подводящих трубопроводов (одно- и двухпроводные).

В соответствии с ГОСТ 21204—97 по способу подачи воздуха и коэффициенту избытка первичного воздуха  $\alpha_1$  различают горелки: диффузионные с  $\alpha_1 = 0$ , инжекционные с  $\alpha_1 > 1$  и  $\alpha_1 < 1$  и с принудительной подачей воздуха (дутьевые).

*Диффузионные горелки* (рис. 1, а). Это наиболее простые устройства, представляющие собой трубу с просверленными отверстиями. Газ вытекает из отверстий, а необходимый для горения воздух поступает полностью из окружающей среды. В диффузионных горелках процессы смешивания газа с воздухом и горение совершаются параллельно на выходе газа из горелки.

Достоинствами горелок данного типа являются: малые габаритные размеры и простота конструкции, удобство и безопасность эксплуатации, высокая устойчивость пламени без проскоков и отрыва, высокая степень черноты пламени, широкий диапазон регулирования тепловой мощности. К недостаткам горелок относятся: повышенный коэффициент избытка воздуха, плохие условия догорания газа и выделение при сжигании углеводородных газов продуктов неполного сгорания.

Эти горелки используют при сжигании природных и сжиженных углеводородных газов, когда требуется получение длинного светящегося (коптящего) факела с равномерной температурой по его длине: в печах мартеновских, цементных, стекловарочных, а также в печах для получения газовой сажи. В отдельных случаях такие горелки незаменимы, например в высокотемпературных плавильных печах, где требуется получение растянутого факела с высокой степенью черноты.

*Инжекционные горелки* (рис. 1, б, в). Это горелки, в которые необходимый для горения воздух поступает полностью ( $\alpha_1 > 1$ ) или частично ( $\alpha_1 < 1$ ) в качестве первичного, а подача его осуществляется за счет кинетической энергии струи газа, вытекающего из сопла. Процессы смешивания газа с воздухом и горения разделены, при этом обеспечивается хорошее смешивание газа с воздухом. В инжекционных горелках с  $\alpha_1 > 1$  газ, вытекая из сопла с большой скоростью за счет кинетической энергии струи, засасывает в инжектор из окружающего пространства воздух в количестве, необходимом для его полного сгорания. Процесс сжигания происходит по кинетическому принципу: получение короткого пламени с высокой температурой. В горелке автоматически обеспечивается соотношение газа и воздуха в рабочем диапазоне, т.е. постоянный  $\alpha$ , независимо от изменения давления. Такие горелки имеют низкую устойчивость к образованию проскоков и отрыва пламени, поэтому требуют применения стабилизаторов. Инжекционные горелки с  $\alpha_1 > 1$  работают на газе среднего давления (10... 90 кПа).

В инжекционных горелках с  $\alpha_1 < 1$  выбор значения  $\alpha$ , зависит от диапазона устойчивой работы. Обычно инжекционные горелки с  $\alpha_1 < 1$  работают на газе низкого давления (до 2 кПа). С увеличением значения  $\alpha$ , происходит переход в область кинетического процесса сгорания газозвушной смеси, который характеризуется низкой устойчивостью горения, т.е. возможностью проскока и отрыва пламени. При малых коэффициентах первичного воздуха происходит разложение углеводородов с образованием сажи, что приводит, к свечению пламени и химической неполноте горения. Такая работа горелок с малым коэффициентом первичного воздуха нежелательна (из устья горелки выходит газозвушная смесь с избытком горючего, т.е. газ, смешанный только с 50...60 % воздуха от теоретически необходимого). Поэтому для инжекционных горелок с  $\alpha_1 < 1$  требуется организовать подвод вторичного воздуха (см. рис. 1, в), а в топках, где устанавливаются эти горелки, должно быть разрежение. Пламя горелки состоит из внутреннего и внешнего конусов. Внутренний конус представляет собой поверхность остановленного фронта Пламени, где выгорает часть горючего, обеспеченная первичным воздухом. Горение газозвушной смеси во внутреннем конусе кинетическое. Внутренний конус пламени ярко очерчен и имеет зеленовато-голубой цвет. Внешний конус представляет собой поверхность, где в результате диффузии окружающего воздуха выгорает оставшаяся часть газа. Процесс сгорания газа во внешнем конусе диффузионный.

Такие горелки обладают большой устойчивостью к отрыву и проскоку пламени и не требуют применения стабилизаторов.

Инжекционные горелки с  $\alpha_1 < 1$  применяют в бытовых газовых плитах, проточных и емкостных водонагревателях, ресторанных плитах, секционных отопительных котлах и отопительных печах.

*Горелки с принудительной подачей воздуха* (рис. 1, г). Воздух, необходимый для горения, в такие горелки подается вентилятором. Газ из сопла попадает в закрученный поток воздуха, и происходит их смешивание. Газозвушная смесь через насадок попадает в топочное пространство. Горелки данного типа оснащены стабилизаторами. В схеме обвязки горелок предусматривается установка клапана блокировки, отключающего подачу газа при прекращении подачи воздуха.

Процесс смешивания газа с воздухом зависит от конструкции смесителя. При полном предварительном смешивании процесс горения кинетический, пламя образуется короткое с высокой температурой.

Схемы горелок с принудительной подачей воздуха приведены на рис.2. В горелке на схеме I газ и воздух поступают к месту сгорания раздельно, параллельными потоками.

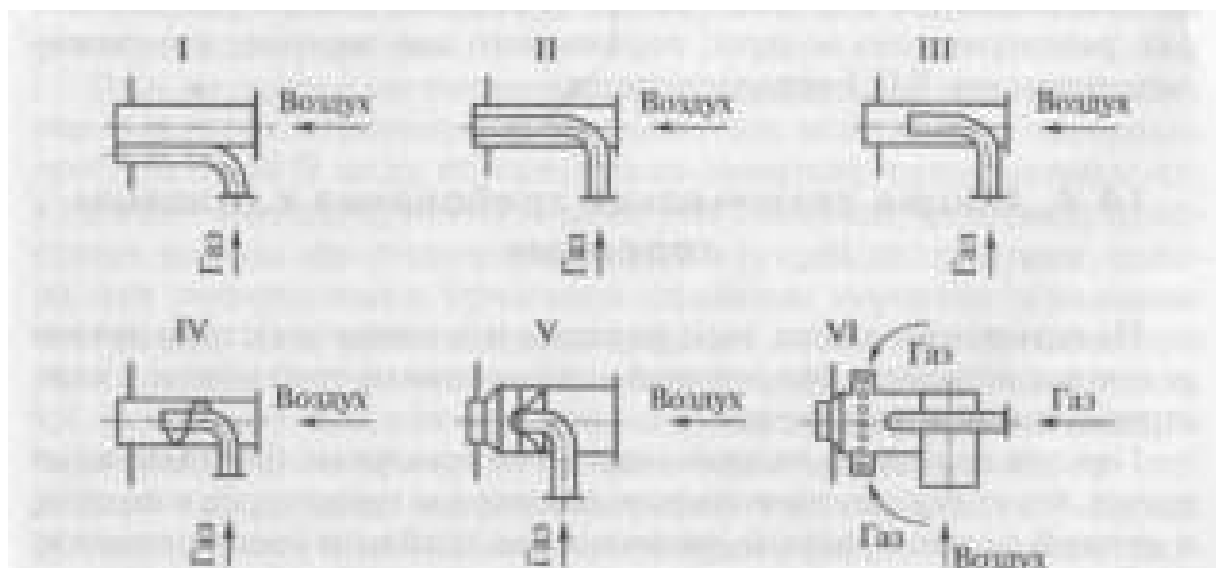


Рис. 2. Схемы горелок с принудительной подачей воздуха:

I — раздельная подача газа и воздуха; II — подача газа и воздуха слоистыми потоками (горелка «труба в трубе»); III — подача газа и воздуха с предварительным смешением; IV — подача газа и воздуха с улучшенным смешением за счет завихрителя; V — улучшенное смешение за счет предварительной закрутки воздуха и подачи газа под углом к оси горелки; VI — улучшенное предварительное смешение газа и воздуха за счет подачи части газа по периферии обтруса горелки.

Происходит медленно, горение диффузионное. Пламя образуется длинное светящееся с невысокой температурой. В горелке на схеме II поверхность соприкосновения потоков газа и воздуха увеличивается за счет подачи газа внутрь воздушного потока. Длина пламени при этом уменьшается.

Еще большее уменьшение длины пламени достигается путем предварительного смешивания газа с воздухом (схема III). Улучшение предварительного смешивания газа с воздухом достигается установкой в горелки завихрителя, закручивающего поток воздуха (схема IV).

Для увеличения площади соприкосновения газа с воздухом используются горелки с множеством мелких отверстий в корпусе, направленных под углом к предварительно закрученному потоку воздуха (схема V). При этом образуется равномерная газозвушная смесь. Процесс горения кинетический, пламя образуется короткое с высокой температурой.

Если подавать газ в закрученный воздушный поток не только из центра горелки, но и с периферии (схема VI), то обеспечивается равномерное распределение газовых струй в воздушном потоке.

Закручивание воздушного потока может осуществляться лопаточным направляющим аппаратом (улиткой) тангенциальным подводом к горелке.

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

2) На основании опыта эксплуатации и анализа конструкций горелочных устройств сформулированы основные требования к конструкциям газовых горелок.

Горелки должны быть возможно более простыми: без подвижных частей, без устройств, изменяющих сечение для прохода газа и воздуха, и деталей сложной формы, расположенных вблизи носика-горелки.

Сечения для выхода газа, воздуха и газовой смеси в процессе эксплуатации должны быть неизменными. Количество подаваемых через горелку газа и воздуха следует изменять только дроссельными устройствами, установленными на подводящих трубопроводах.

Сечения для прохода газа и воздуха в горелке и конфигурация внутренних полостей должны обеспечивать минимальное сопротивление на пути движения газа и воздуха внутри горелки. Давление газа и воздуха должно быть использовано для создания требуемых скоростей в выходных сечениях горелки. Подача воздуха в горелку должна быть регулируемой.

При осуществлении частичного предварительного смешения газа и воздуха следует использовать какой-либо один способ, а не усложнять горелку большим числом элементов одного и того же назначения, например для улучшения смешения.

Для стабилизации горения предпочтительнее аэродинамические методы, т.е. создание зон циркуляции продуктов сгорания, которые поджигают газовоздушную смесь.

Назначение. Номинальная тепловая мощность каждой горелки должна соответствовать номинальной тепловой мощности, установленной для горелок данного типоразмера (предельные отклонения  $\pm 10\ldots -5\%$ ).

**Требования к автоматике.** Автоматические горелки должны работать при поддержании давления газа перед основным запорным органом с точностью  $\pm 15\%$  от номинального значения; для газа низкого давления до 5 кПа; для газа среднего давления до 100 кПа. В автоматических горелках должны выполняться следующие операции:

- пуск горелки по программе, зависящей от ее мощности (включая продувку камеры горения и дымоходов);
- перевод ее в рабочее состояние;
- регулирование тепловой мощности;
- контроль параметров безопасности горелки и тепловой установки;
- выключение горелки при недопустимых отклонениях контролируемых параметров.

Пуск не должен осуществляться в следующих случаях: прекращение подачи электроэнергии; давление газа за основным запорным органом на 30% ниже номинального значения; недопустимые отклонения контролируемых параметров тепловой установки; недостаток воздуха для горения; неполадки устройств продувки, отвода или рециркуляции продуктов сгорания; короткое замыкание или разрыв в датчике контроля пламени либо связи датчика; при пуске не обеспечены условия для безопасной эксплуатации горелки (требуемая температура топлива, давление распыляющего вещества, частота вращения механического распыляющего устройства и др.); сигнал о нарушении герметичности запорного органа (у горелок, оснащенных автоматическим контролем герметичности). В автоматических горелках не допускается подача топлива в основную горелку, пока не включено запальное устройство или не появилось пламя запальной горелки. Автоматика должна обеспечивать защитное выключение газовой горелки, если при ее розжиге не произойдет воспламенение топлива в течение не более:

5 с — для горелок тепловой мощностью до 50 кВт;

3 с — для горелок тепловой мощностью свыше 50 кВт.

При работе автоматических горелок защитное выключение должно осуществляться:

- при погасании контролируемого пламени;
- прекращении подачи электроэнергии;

- снижении давления газа за основным запорным органом более чем на 30% относительно номинального значения;
- недопустимых отклонениях контролируемых параметров тепловой установки;
- недостатке воздуха для горения;
- неполадках устройств продувки, отвода или рециркуляции продуктов сгорания.

Защитное выключение должно сопровождаться сигналом. При защитном выключении автоматической горелки из-за прекращения подачи электроэнергии возобновление подачи энергии не должно вызывать самопроизвольного пуска горелки (за исключением блочных горелок с регулированием мощности от 0 до 100% от номинальной, находящихся в рабочем состоянии, с выполнением полной программы пуска).

Если горелки устанавливаются на воздухонагревателях, применяемых для воздушного отопления и вентиляции помещений, выработки теплоносителя для сушильных процессов или тепловых завес, то защитное выключение горелок в рабочем состоянии, должно предусматриваться также:

- при повышении температуры нагреваемого воздуха выше заданного значения;
- превышении давления продуктов сгорания над давлением нагреваемого воздуха в рекуперативных воздухонагревателях.

Система контроля пламени должна обеспечивать защитное выключение горелки, если произойдет погасание контролируемого пламени, за время не более 2 с.

Для горелок номинальной тепловой мощностью до 0,1 МВт, установленных в камерах горения, работающих под разрежением, время защитного отключения подачи газа в горелку при погасании пламени не должно превышать 30 с. При прекращении подачи электроэнергии от внешнего источника газовый автоматический запорный орган должен закрыться. Запорный орган должен закрываться без дополнительного подвода энергии от внешнего источника. Время от момента прекращения подачи энергии от внешнего источника до прекращения поступления газа через запорный орган не должно превышать 1 с.

Устройство контроля пламени должно реагировать только на пламя контролируемой горелки и не должно реагировать на посторонние источники теплоты и света (раскаленная футеровка, освещение и т.д.).

При неисправности устройства контроля пламени или нарушении в линиях связи между чувствительным элементом и вторичным прибором устройства контроля пламени при розжиге или работе горелки должно произойти защитное выключение горелки.

Группу горелок допускается оснащать одним устройством контроля пламени в случае, если наличие пламени горелки, оснащенной устройством контроля пламени, обеспечивает розжиг и в других горелках группы.

Газовые горелки номинальной тепловой мощностью до 0,35 МВт должны быть оснащены одним газовым автоматическим запорным органом; мощностью свыше 0,35 до 2 МВт — двумя газовыми автоматическими запорными органами; свыше 2 МВт — двумя газовыми автоматическими запорными органами и автоматическим органом контроля утечки газа, установленным между ними и связанным с атмосферой.

При работе на тепловом агрегате группы горелок с общим подводом газа, суммарная тепловая мощность которых находится в пределах 0,35... 2,0 МВт, допускается один из двух автоматических запорных органов устанавливать общим для всех горелок.

Работоспособность автоматики горелок должна быть обеспечена при отклонениях питающего напряжения электрического тока от +10 до -15 % от номинального.



**Конструктивные требования.** Присоединение горелки к трубопроводам для подвода топлива и распыливающей среды (при необходимости) должно быть разъемным, исключать утечку.

Конструкция горелки должна обеспечивать возможность очистки или замены сопла, завихрителя, форсунки без разборки подвода газообразного топлива и демонтажа горелки.

Ремонтные и смотровые лючки горелки должны надежно закрываться.

Горелки должны быть оснащены блокировкой, не допускающей возможности их включения в открытом положении и осуществляющей их отключение при выдвижении или извлечении в процессе работы.

Система топливораспределения горелки не должна допускать утечки газа. Горелка, розжиг которой осуществляется при помощи переносного запального устройства, должна иметь отверстие, позволяющее безопасное введение запального устройства. Допускается розжиг горелки проводить через отверстие камеры горения теплового агрегата. Конструкция горелки должна обеспечивать возможность визуального наблюдения за пламенем.

Конструкции горелок с принудительной подачей воздуха, предназначенных для работы на печных агрегатах, должны быть выполнены из материалов, допускающих работу на подогретом воздухе температурой не менее 300 °С.

**Требования безопасности.** Горелки в части общих требований безопасности должны соответствовать ГОСТ 12.2—2003.

Предельно допустимые шумовые характеристики горелок должны соответствовать значениям:									
Уровни звукового давления, дБ .....	107	95	87	82	78	75	73	71	69
Октавные полосы со среднегеометрическими частотами, Гц .....	31,5	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000

При этом уровень звука и эквивалентный уровень звука составляет 80дБ.

Температура поверхностей элементов горелок, предназначенных для ручного управления, не должна превышать 45 °С при изготовлении из неметаллических материалов и 40 °С — при изготовлении из металлов.

Рекомендуемые значения скоростей для горелок типа «труба в трубе» представлены в табл. 2.

Электрическое оборудование горелки должно питаться от одного источника электроэнергии и выключаться при помощи одного выключателя.

Горелки номинальной мощностью более 0,12 МВт должны разжигаться при пусковой мощности, не превышающей 50 % номинальной.

Горелки номинальной мощностью более 0,1 МВт должны разжигаться запальным устройством или запальной горелкой (переносной или стационарной). Мощность запальной горелки должна быть не более 5 % номинальной мощности основной горелки, 10 % ее пусковой мощности и не превышать 0,12 МВт.

Автоматические и полуавтоматические горелки, пусковая мощность которых превышает 0,4 МВт, должны быть оснащены стационарной запальной горелкой. Группа горелок с ручным управлением может быть оснащена общим переносным запальным устройством или запальной горелкой.

Таблица 2.

**Рекомендуемые значения скоростей газа, воздуха и смеси  
для горелки типа «труба в трубе»**

Характерное место	Рекомендуемая скорость, м/с		
	воздуха	газа	смеси
Трубопровод перед горелкой	8...10	10...15	—
Входные сечения горелки:			
при избытке давления	18...20	18...20	—
при недостатке давления	5...7	5...7	—
Газовое сопло до выходного сечения	—	20...25	—
То же в выходном сечении	—	18...100	—
После горелки:			
максимальная	—	—	25...30
минимальная	—	—	4...5

Подвод топлива к переносной запальной горелке должен быть независим от подвода топлива к основной горелке и оснащен самостоятельным запорным органом, управляемым вручную.

Тепловая мощность стационарной запальной горелки непрерывного действия не должна превышать 5 % номинальной тепловой мощности основной горелки. Тепловая мощность переносной запальной горелки не должна превышать 30 кВт. Для розжига основной горелки применение электрического запального устройства запальной горелки не допускается.

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.

Конструкция горелок с принудительной подачей воздуха должна предусматривать возможность продувки камеры горения перед розжигом.

Горелки, в которые трубопроводом подается предварительно подготовленная горючая смесь, должны быть оснащены преградителями огня.

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. Штуцеры могут быть установлены на трубопроводах, принадлежащих непосредственно горелке, и на подводящих трубопроводах. Во всех случаях штуцеры располагают после последнего по ходу газа (воздуха) запорного или регулирующего органа.

Группу горелок допускается оснащать одним штуцером для измерения давления газа и одним штуцером для измерения давления воздуха.

Конструкция автоматических газовых 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.

Измерение давления газа допускается заменять измерением расхода газа.

Конструкция горелки должна предусматривать продувку камеры горения до открытия крана на трубопроводе подвода газа.

**Требования по рациональному использованию газа.** Газовые горелки при номинальной тепловой мощности должны обеспечивать коэффициент избытка воздуха, не превышающий значений 1,05... 1,15. При работе горелок в системах отопления тепловых агрегатов, предусматривающих многостадийное (ступенчатое) сжигание топлива, значения коэффициентов избытка воздуха следует относить к выходному сечению камеры горения теплового агрегата (за вычетом присосов).

Допустимое увеличение коэффициента избытка воздуха в диапазоне рабочего регулирования мощности (за исключением пусковых режимов) не должно превышать 0,2.

Потери теплоты от химической неполноты сгорания на выходе из камеры горения теплового агрегата или установки в диапазоне рабочего регулирования горелки не должны быть более 0,4%.

**Требования по охране окружающей среды.** Содержание оксида углерода в продуктах сгорания в пересчете на сухие неразбавленные продукты сгорания (при  $\alpha = 1,0$ ) не должно превышать на выходе из камеры горения 0,05 об. % и в контролируемом сечении за видимой длиной факела при температуре продуктов сгорания не более 1 400 °С.

Содержание оксида углерода в продуктах сгорания для горелок, предназначенных для соответствующих котлов, предельные нормы концентраций оксида азота (NO) в продуктах сгорания для газогорелочных устройств различных по назначению и конструктивному оформлению теплотехнологических агрегатов, соотношение между единицами измерения концентрации NO регламентируются стандартами.

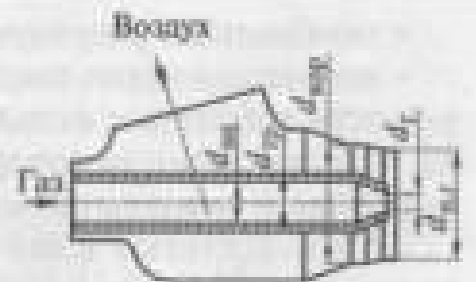
**Требования надежности.** Средний ресурс горелок до капитального ремонта (для ремонтнопригодных горелок) и до списания (для неремонтнопригодных горелок) должен быть по жаростойкости не менее 18 000 ч. Электрические элементы автоматики должны в условиях, близких к эксплуатационным, при напряжении, равном 110% номинального значения, выдерживать не менее 100 000 циклов включения и выключения.

Вероятность безотказной работы устройства контроля пламени — не менее 0,92 за 2000 ч.

3) Особенностью диффузионных горелок является наличие в их конструкции элементов только для подвода газа и его истечения из выходных отверстий. Для горения газа используется воздух, который либо подсасывается в агрегат через неплотности конструкций, либо нагнетается в печной объем с технологической целью.

Рис. 3. Расчетная схема горелки без предварительного смешения:

$d_{\text{газ}}$  — внутренний диаметр газовой трубы;  $d_{\text{газ}}$  — наружный диаметр газовой трубы;  $d_{\text{корпуса}}$  — внутренний диаметр корпуса горелки;  $d_{\text{сопла}}$  — внутренний диаметр газового сопла на выходе;  $d_{\text{носика}}$  — диаметр носика горелки



Диффузионные горелки (рис.3) наиболее простые. Газ вытекает из отверстия, процессы смешения его с воздухом и горение протекают одновременно по диффузионному принципу. Недостатки — длинное низкотемпературное пламя, коптящее при использовании углеводородных газов, химическая неполнота горения, особенно при

сжигании высококалорийных газов. Преимущества — простота конструкции и небольшая себестоимость

### **1. 12 Лекция №12-13 (4 часа).**

#### **Тема: «Гидравлический расчет газовых сетей»**

##### **1.12.1 Вопросы лекции:**

1. Общие сведения. Силы, действующие в газе. (Уравнение равновесия газов)
2. Основы теории движения газа. (Основные положения.).
3. Потери давления при движении газа. (Характер движения газа).
4. Сопротивление трению. Местные сопротивления. Внезапное расширение. Поворот потока)
5. Гидравлический расчет наклонных распределительных газопроводов.

##### **1.12.2 Краткое содержание вопросов:**

Газопроводы, прокладываемые внутри зданий и сооружений, изготавливают из стальных труб, соединение которых производят, как правило, сваркой. Разъемные (резьбовые и фланцевые) соединения допускается выполнять только в местах установки запорной арматуры, газовых и контрольно-измерительных приборов, регуляторов давления, счетчиков и другого оборудования, причем эти соединения должны быть доступными для осмотра и ремонта.

Прокладку газопроводов внутри зданий и сооружений обычно ведут открытым способом. Допускается выполнять скрытую прокладку газопроводов (кроме газопроводов для сжиженных углеводородных газов и газопроводов внутри жилых домов и общественных зданий непроизводственного характера) в бороздах стен, закрывающихся легкоъемными щитами с отверстиями для вентиляции.

Для внутренних газопроводов, испытывающих температурные воздействия, следует предусматривать возможность компенсации температурных деформаций.

В производственных помещениях промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также предприятий бытового обслуживания производственного характера следует предусматривать установку отключающих устройств: на вводе газопровода внутрь помещения; ответвлениях трубопровода к каждому агрегату; перед горелками и запальниками; продувочных трубопроводах, в местах присоединения их к газопроводам. Прокладку газопроводов в жилых домах осуществляют по нежилым помещениям.

Крепление открыто прокладываемых газопроводов к стенам, колоннам и перекрытиям внутри зданий осуществляют при помощи кронштейнов, хомутов, крючьев или подвесок на расстоянии, обеспечивающем возможность осмотра и ремонта самих газопроводов и установленной на них арматуры.

Вертикальные газопроводы в местах пересечения строительных конструкций прокладывают в футлярах. Пространство между газопроводом и футляром заделывают просмоленной паклей, резиновыми втулками или другими эластичными материалами. Конец футляра должен выступать над полом не менее чем на 3 см. Внутренние газопроводы, в том числе прокладываемые в каналах, окрашивают. Для окраски используют водостойкие лакокрасочные материалы. Для строительства наружных и внутренних газопроводов используют трубы, изготовленные из спокойной малоуглеродистой стали группы В (ГОСТ 380—88) не ниже категории II марок Ст2, Ст3 и марки Ст4 при содержании углерода не более 0,25 %; стали марок 0,8, 10, 15, 20 (ГОСТ 1050—88); низколегированной стали марок 09Г2С, 17ГС, 171С (ГОСТ 19281-89) не ниже категории VI; стали 10Г2 (ГОСТ 4543—71). Сварные соединения труб должны быть равнопрочны с основным металлом труб.

В жилые, общественные и коммунальные здания газ поступает по газопроводам от городской распределительной сети. Эти газопроводы состоят из абонентских ответвлений, подающих газ к зданию, и внутридомовых газопроводов, которые транспортируют газ внутри здания и распределяют его между отдельными газовыми приборами. Во внутренних газовых сетях жилых, общественных и коммунальных зданий можно транспортировать только газ низкого давления. Рассмотрим для примера схему внутреннего газопровода типового жилого дома. Расположение газопровода на фасаде здания показано на рис. 1, а планы расположения газового оборудования на первом и типовом (втором) этажах показаны на рис. 2.

В доме имеется 27 однокомнатных, 27 двухкомнатных и 54 трехкомнатных квартиры. Все квартиры оборудованы отдельными санитарными узлами. Площадь кухонь в однокомнатных квартирах  $9,20 \text{ м}^2$ , в двухкомнатных —  $7,25 \text{ м}^2$ , в трехкомнатных —  $8,69 \text{ м}^2$ . Будем считать, что в кухнях однокомнатных квартир установлены одноконфорочные плиты с духовыми шкафами, в кухнях двухкомнатных и трехкомнатных квартир — четырехконфорочные плиты с духовыми шкафами.

Газопровод жилого дома присоединяется к внутриквартальному газопроводу на расстоянии 6 м от здания. Цокольный ввод прокладывается на углу здания, снаружи здания устанавливают пробочный кран. Газопровод прокладывается по фасаду здания на уровне второго этажа, и ввод его в здание непосредственно производится во все кухни на втором этаже. Газовые стояки проходят в кухнях. Запрещается прокладывать стояки в жилых помещениях, ванных комнатах и санитарных узлах. Отключающие краны ставят перед каждым газовым прибором. Газопровод внутри здания выполняют из стальных труб. Трубы соединяют сваркой. Резьбовые и фланцевые соединения допустимы только в местах установки отключающих устройств, арматуры и приборов. Газопровод прокладывают без уклона. Аксонометрическая схема внутридомового газопровода показана на рис. 3.

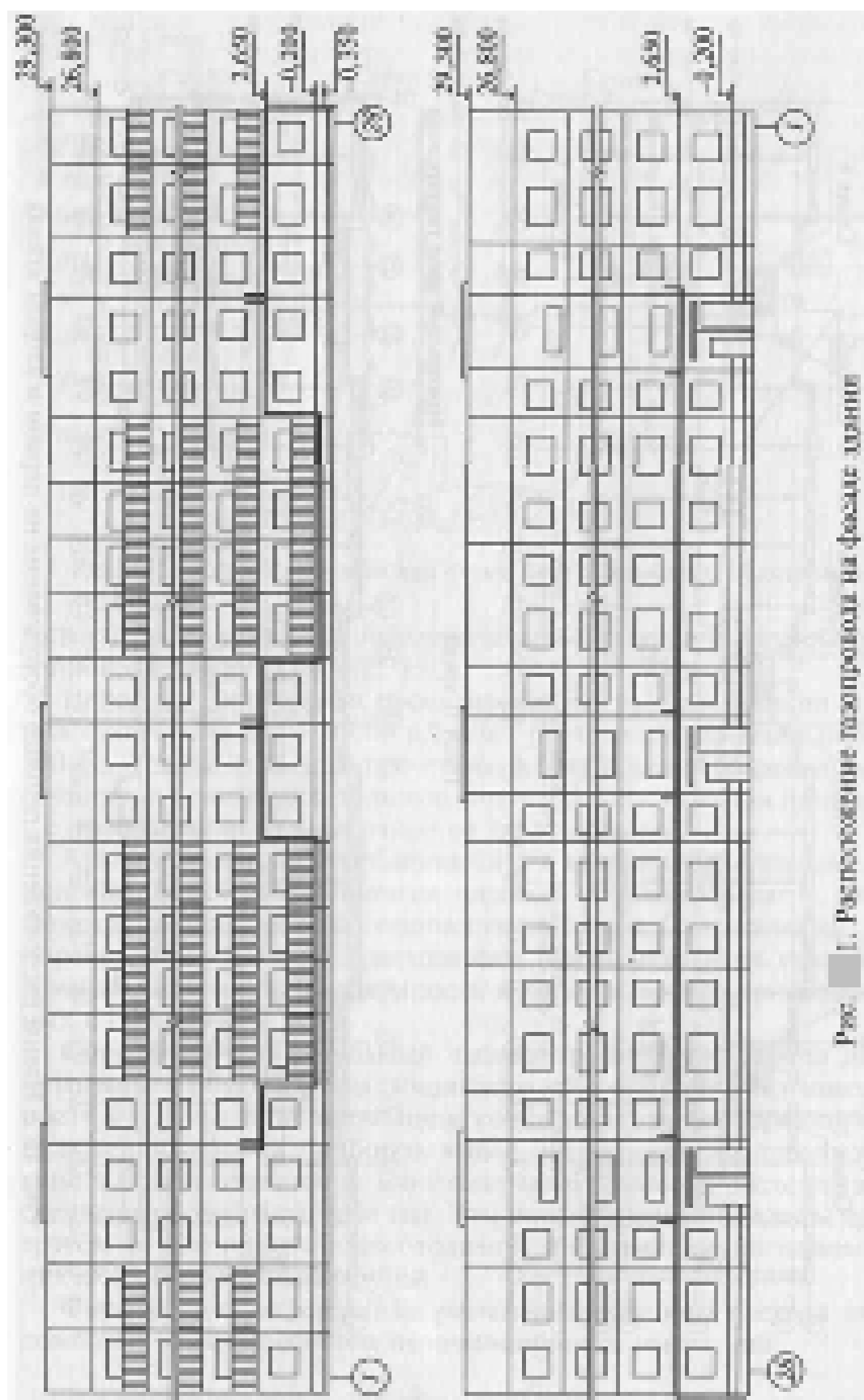


Рис. 1. Расположение газопроводов на фасаде здания

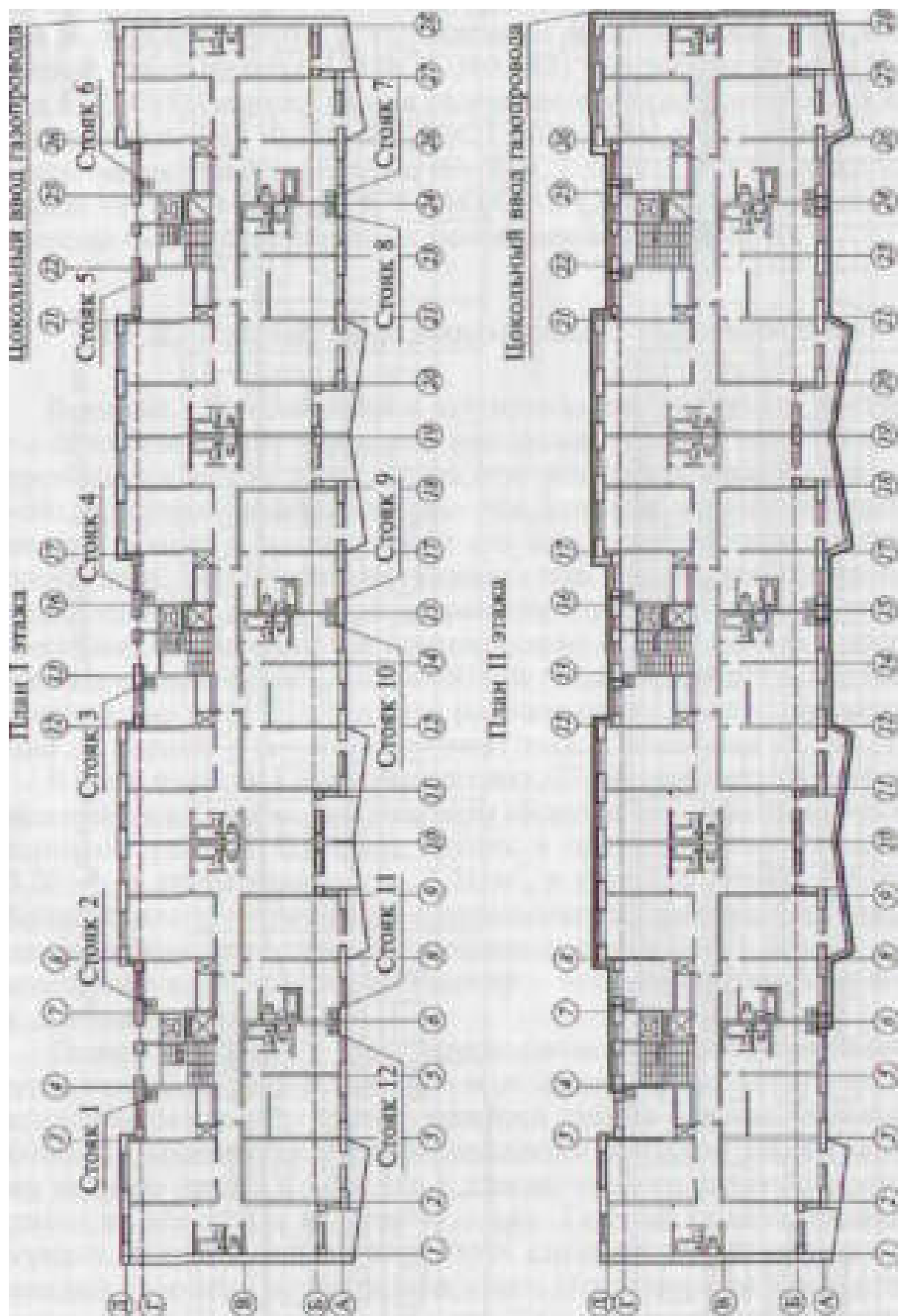


Рис 2

Исходные данные для проектирования: низшая теплота сгорания сухого газа  $Q_H^P = 36\,000 \text{ кДж/м}^3$ ; расчетный перепад давлений 500 Па. Гидравлический расчет выполняют

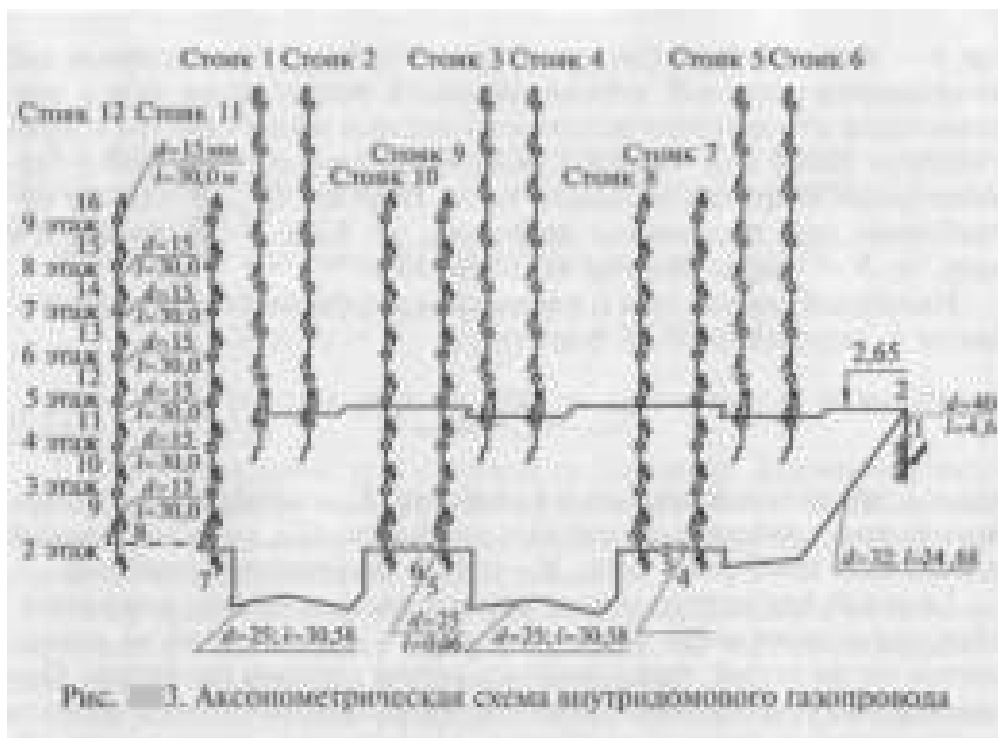
для газопроводов, соединяющих распределительную сеть с дальним газовым прибором, т.е. газовой плитой в квартире на девятом этаже.

Анализ режимов потребления газа в квартирах показывает, что максимальные коэффициенты часовой неравномерности уменьшаются с увеличением населенности квартиры. Следовательно, при определении расчетного расхода газа нужно учитывать газооборудование квартир, их населенность и число квартир, присоединенных к газопроводу.

Определить максимальный часовой расход газа можно двумя методами: с помощью максимального коэффициента неравномерности  $k_{ч.г.и.н.}$  с использованием коэффициента одновременности включения газовых приборов в пик потребления  $k_0$ , представляющего собой отношение максимального часового расхода газа к среднечасовому расходу за год. Эти коэффициенты связаны друг с другом и при наличии необходимой информации по одному из них можно определить другой.

Формула для определения расчетного годового расхода газа с помощью коэффициентов неравномерности имеет вид

$$Q_{г.р.} = \sum_1^n k_{ч.г.и.н.} \frac{Q_{г.кв.}}{8760} N_i$$



где  $n$  — тип квартиры (по числу комнат);  $k_{ч.г.и.н.}$  — максимальный коэффициент часовой неравномерности потребления газа в год, зависящий от характера использования газа в квартире (на приготовление пищи или на приготовление пищи и горячей воды), населенности квартиры и общего числа квартир;  $Q_{г.кв.}$  — годовое потребление газа населением квартиры,  $м^3$ ; 8 760 — число часов в году, ч;  $N$  — число квартир каждого типа.

Расчетный расход газа с помощью коэффициента одновременности  $k_0$  определяется по формуле

$$Q_{г.р.} = \sum_1^n k_0 Q_{и.н.} N_i$$



где  $n$  — число типов приборов в квартире;  $\kappa_o$  — коэффициент одновременности работы однотипных приборов;  $Q_{ном}$  — номинальный расход газа прибором,  $м^3/ч$ ;  $N$  — число однотипных приборов.

Главный недостаток метода расчета расхода газа по коэффициенту одновременности состоит в том, что в этом случае не учитывается число людей, пользующихся одним газовым прибором. При современных условиях бытового обслуживания населения мощность установленных газовых приборов, как правило, превосходит необходимую мощность, вытекающую из потребности людей, проживающих в квартире. В перспективе, в связи с дальнейшим развитием службы быта, избыточность мощности установленных в квартире газовых приборов будет расти. Несоответствие мощности газовых приборов в квартирах потребностям населения приводит к существенным ошибкам при определении расчетного расхода газа по коэффициенту одновременности, а следовательно, к перерасходу металла.

### **1. 13 Лекция №14-15 (4 часа).**

**Тема: «Регулирование давление газа в сетях»**

#### **1.13.1 Вопросы лекции:**

1. Газорегуляторные пункты и установки, технологические схемы.
2. Регуляторы давления газа.
3. Определение пропускной способности регулятора.
4. Вспомогательное оборудование ГРП и ГРУ. (Предохранительные запорные клапаны. Предохранительные сбросные клапаны. Определение пропускной способности. Газовые фильтры.)

#### **1.13.2 Краткое содержание вопросов:**

Работа газовых аппаратов характеризуется тепловой мощностью и эффективностью, которая оценивается коэффициентом полезного действия и теплопроизводительностью. Различают номинальные и предельные значения этих показателей. Номинальной тепловой мощностью называют мощность, при которой аппарат имеет наилучшие рабочие показатели: наибольшую полноту сгорания газа при наиболее высоком КПД. При этом в конструктивных элементах газовых аппаратов не должны возникать опасные тепловые напряжения, которые смогут сократить срок их службы. Номинальная тепловая мощность, которая указывается в паспорте аппарата, определяется при номинальной тепловой нагрузке. Предельной тепловой мощностью является максимальная тепловая нагрузка, превышающая номинальную на 20%.

Безопасность работы газовых аппаратов характеризуется полнотой сгорания газа и устойчивой работой газо горел очных устройств.

Для нормальной работы газогорелочного устройства необходимо обеспечить: *подачу топлива с определенными параметрами; подачу воздуха в количестве, достаточном для полного сжигания газа; перемешивание газа с воздухом; зажигание газозоудушной смеси и поддержание в зоне горения температуры, обеспечивающей полноту сгорания горючих компонентов этой смеси; своевременный отвод продуктов сгорания из зоны горения без нарушения процессов сжигания газа.*

Бытовую газовую аппаратуру можно сгруппировать следующим образом:

- приборы для приготовления пищи (газовые плиты);
- приборы для горячего водоснабжения (проточные водонагреватели);
- приборы для индивидуального отопления (емкостные водонагреватели, газовые камины).

**Газовые плиты.** Газовые плиты выпускают двух типов:

• стационарные напольные 2, 3 и 4-горелочные с духовым шкафом;

• настольные переносные, преимущественно 2-горелочные.

Основные параметры и размеры серийно выпускаемых унифицированных газовых бытовых плит должны отвечать требованиям ГОСТ 10798-85\*.

Детали бытовых газовых плит изготавливают из материалов, обеспечивающих коррозионную устойчивость, термическую стойкость, долговечность и надежность в эксплуатации.

Для ручек и кранов используют пластмассы и другие материалы, термически стойкие при температуре до 150 °С. Горелки и их детали должны быть взаимозаменяемы, легко сниматься и устанавливаться вновь без применения инструментов.

Газопроводы и арматура бытовых газовых плит должны быть герметичными. Потери давления в приборах автоматического контроля не должны превышать 100 Па.

Плиты изготавливают для работы на природном и сжиженных газах с номинальным давлением 2... 3 кПа. Включение плит осуществляется либо вручную от внешнего источника теплоты, либо автоматически от пьезоэлектрического запальника.

Выход оксидов азота в бытовых газовых плитах должен быть не более 200 мг на 1 м<sup>3</sup> продуктов сжигания газа.

**Газовые водонагреватели.** Эти водонагреватели предназначены для отопления и горячего водоснабжения индивидуальных квартир в городе и отдельных жилых домов как в городе, так и в сельской местности.

Применяются водонагреватели трех типов: проточные, емкостные и с водяным контуром.

Основными их узлами являются: газогорелочное устройство, теплообменник, система контрольно-измерительных приборов (КИП) и автоматики и газоотвод с тягопрерывателем, предназначенным для предотвращения погасания пламени горелки в случае кратковременного нарушения тяги.

На российском рынке предлагаются в широком ассортименте газовые водонагреватели как отечественных, так и зарубежных производителей.

Основные характеристики отечественных водонагревателей (в соответствии с требованиями ГОСТ 11032—90\*: мощность тепловая номинальная от 6,98 до 23,26 кВт в зависимости от вида водонагревателя и величины отапливаемой площади (50... 150 м<sup>2</sup>); минимальное необходимое разрежение 2,0 Па; коэффициент избытка воздуха 2,5... 3,0; температура отходящих дымовых газов не выше 110 °С для емкостных и с водяным контуром водонагревателей и 170 °С для проточных водонагревателей; коэффициент полезного действия не менее 90%.

Водонагреватели зарубежных производителей имеют более широкий ассортимент как по видам продукции, так и по тепловой мощности.

К другим видам газовых отопительных приборов относятся: газовые калориферы, камины и обогреватели с горелками инфракрасного излучения в основном зарубежного производства.

2) Характерной особенностью коммунально-бытового сектора является исключительное разнообразие потребителей газа: жилье (индивидуальное и коммунальное), гостиницы, прачечные, химчистки, бани, кафе, рестораны, столовые, спортивные комплексы и др. Основной задачей этого сектора является непосредственное удовлетворение потребностей человека в услугах во всем их многообразии. Необходимо отметить, что достаточно сложно классифицировать возможности использования природного и сжиженного нефтяных газов, которые предоставляет коммунально-бытовой сектор, что связано с его высокой приспособляемостью и способностью изменять виды услуг в соответствии со спросом на рынке.

*Отопление и горячее водоснабжение* определяют основные потребности современного человека, которые зависят от климата (среднегодовой и среднесезонной температуры наружного воздуха, солнечной ориентации и др.), а также от индивидуальных факторов (тип здания, размер жилой площади, длительность пребывания в помещении). Эти факторы являются единовременными (мгновенными) и зависят от времени, поэтому их необходимо учитывать при разработке новых и выборе типовых систем отопления и нагрева воды.

Цель отопления — обеспечить комфортность в жилище при неблагоприятных наружных условиях. Стандартами многих стран комфортная температура помещения регламентируется 18°C. Температура воздуха не является единственным критерием комфортности, на него оказывают влияние также вид отопления (горячая вода или горячий воздух) и тип нагревательных приборов (радиатор, конвектор, воздушный калорифер и др.).

Годовые потребности в теплоте определяются по выражению:

$$Q_{г} = BVN_{гр-ч} - Q_{гр.в.}$$

где  $B$  — удельная тепловая характеристика здания;  $V$  — внутренний объем здания;  $N_{гр-ч}$  — число градус-часов;  $Q_{гр.в.}$  — количество теплоты, израсходованной на производство горячей воды. Число градус-часов определяется по выражению

$$N_{гр-ч} = \sum (\theta_{вн.ср} + \theta_{нв.ср}),$$

где  $\theta_{вн.ср}$  и  $\theta_{нв.ср}$  — соответственно среднечасовые температуры внутри помещения и наружного воздуха.

В зависимости от региона число градус-часов колеблется от 37 000 до 63 000.

Горячая вода в быту используется для мытья посуды, стирки белья и гигиенических целей. Потребности в ней резко изменяются в течение суток. Пики потребления приходятся на 7...9 ч, 12... 15 ч и 18...22 ч. Дневной объем потребляемой горячей воды составляет 150...200 л.

Производительность установки для получения горячей воды должна обеспечивать, как минимум, наиболее крупного целевого потребителя, но при этом тепловая мощность установки не должна быть настолько завышенной, чтобы не выходить из режима оптимальной мощности, так как может резко понизиться ее коэффициент полезного действия.

Газоиспользующее оборудование, применяемое в коммунальном секторе, самое разнообразное: кухонные плиты, пищеvaro-чные котлы, мармиты, печи-шкафы, печи для выпечки хлебобулочных и кондитерских изделий, калориферы, теплогенераторы (смесительные и рекуперативные), конвекторы, излучатели («темные» и «светлые») и др.

Их конструктивное устройство, принципы действия, правила безопасной эксплуатации приводятся в технических паспортах и каталогах фирм-производителей. Все виды газового оборудования должны поставляться потребителям с приложением сертификатов соответствия и разрешений Ростехнадзора на их применение.

## 1. 15 Лекция №16-17 (4 часа).

### Тема: «Газоснабжение зданий»

#### 1.15.1 Вопросы лекции:

1. Требования, предъявляемые к внутренним газопроводам.
2. Расчет внутридомового газопровода.
3. Газовые приборы и аппаратура.
4. Газовое оборудование коммунально-бытового сектора

#### 1.15.2 Краткое содержание вопросов:

Отопительные котельные обеспечивают нагрев воды для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения жилых и общественных зданий. Температура нагрева воды в отопительных котельных малой мощности составляет 95... 70 °С, а в котельных большой мощности — 150...70°С.

В отопительных котельных малой мощности одна группа водогрейных котлов работает на отопление по отопительному графику, а другая группа обеспечивает горячее водоснабжение: горячая вода от группы котлов поступает в водяные подогреватели. Циркуляцию воды в обоих контурах осуществляют сетевые насосы.

Схема отопительной котельной приведена на рис. 1. В котле / с помощью газовой горелки 2 сжигают газообразное топливо. Образовавшиеся продукты сгорания по дымоходу 6 через дымовую трубу 7 выбрасываются в атмосферу. При этом вода из системы отопления направляется в нижний коллектор 5 котла, проходит параллельными потоками по секциям котла, нагревается до 95 °С, выходит в верхний коллектор 4 и направляется в систему отопления.

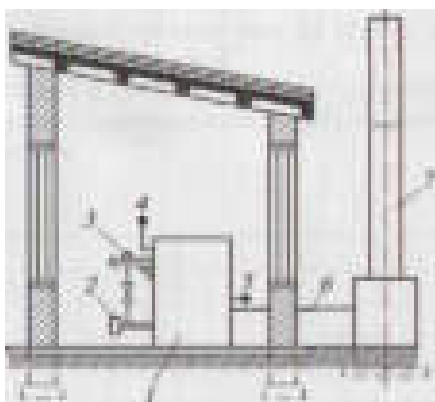


Рис. 1. Упрощенная схема отопительной котельной малой мощности:

/ — котел; 2 — горелка; 3 — газопровод; 4 — верхний коллектор; 5 — нижний коллектор; 6 — дымоход; 7 — дымовая труба

Воздух, необходимый для горения газа, поступает в топку либо за счет разрежения, создаваемого дымовой трубой, либо подсасывается за счет энергии струи газа. В крупных котельных на смесительные горелки воздух подается дутьевым вентилятором.

При использовании газообразного топлива котельные оснащаются устройствами автоматического регулирования и безопасности.

При сжигании газообразного топлива в топку котла поступают газ и воздух. Слишком большое или слишком малое количество воздуха может привести к нарушению нормального процесса горения газа, вплоть до полного его прекращения. Нарушение необходимого соотношения количества газа и воздуха может привести к срыву пламени, его погасанию и накоплению в топке и газоходах горючего газа или взрывоопасной

газовоздушной смеси. При поджигании такой смеси происходит ее мгновенное сгорание. В топке и газоходах в течение 1/2 000... 1/3 000 с за счет резкого увеличения объема продуктов сгорания абсолютное давление повышается до 0,7...0,8 МПа, что приводит к разрушению кирпичной кладки котлов. Поэтому в каждой котельной должна быть ясно и подробно составленная инструкция по эксплуатации газопроводов и газового оборудования.

Эффективность работы котла определяется его коэффициентом полезного действия, который показывает, какая часть теплоты, внесенной в топку, полезно использована и передана нагреваемой в котле воде. Коэффициент полезного действия котла, работающего на газовом топливе (без учета расхода теплоты на собственные нужды), можно определить следующим образом:

$$\eta = \frac{D(t' - t)}{BQ_H},$$

где  $D$  — количество горячей воды или пара, вырабатываемое в 1 ч, кг;  $t'$  — теплосодержание горячей воды или пара, кДж/кг;  $t$  — теплосодержание питательной воды, кДж/кг;  $B$  — расход газа, м<sup>3</sup>/ч;  $Q_H$  — низшая теплота сгорания сжигаемого газа, кДж/м<sup>3</sup>.

Коэффициент полезного действия котла можно определить и по обратному балансу:

$$\eta = 100 - \sum q_i$$

где  $\sum q_i$  — сумма относительных потерь теплоты при работе котельного агрегата, %.

При работе котла на газовом топливе суммарные потери складываются из потерь теплоты с уходящими газами  $q_2'$ , потерь от химической неполноты сгорания газа  $q_3$ ; потерь в окружающую среду от нагретых стенок обмуровки котла  $q_5$ .

Основную долю потерь теплоты составляют потери с уходящими газами и потери в окружающую среду. При правильном выборе газогорелочных устройств, хорошей организации смешивания газа и воздуха потери теплоты от химической неполноты сгорания газа могут быть сведены к нулю. Потери теплоты с уходящими газами при одинаковых коэффициентах избытка воздуха тем меньше, чем ниже их температура. Полнота сгорания газа определяется по составу продуктов сгорания, в которых должны полностью отсутствовать горючие составляющие: оксид углерода, водород и метан. Важным показателем эффективности работы котла является коэффициент избытка воздуха в топке и за котлом. При отсутствии химического недожога коэффициент избытка воздуха может быть определен по содержанию в продуктах сгорания кислорода и углекислого газа. Зная коэффициент избытка воздуха и температуру продуктов сгорания за котлом, можно подсчитать относительные потери теплоты с уходящими газами  $q_2$ .

Снижения потерь с уходящими газами можно добиться уменьшением коэффициента избытка воздуха или температуры уходящих газов, или обеих этих величин. Нижним пределом возможного снижения коэффициента избытка воздуха следует считать значение, дальнейшее уменьшение которого еще не приводит к появлению потерь от химической неполноты сгорания газа &.

Практически оптимальным коэффициентом избытка воздуха в топке является  $\alpha_T = 1,05... 1,11$ , за котлом  $\alpha_K = 1,1... 1,15$ .

Потери теплоты из-за химической неполноты сгорания газа подсчитываются по данным анализа состава продуктов сгорания, если в них имеются горючие составляющие:

$$Q_3 = V_{\text{CH}_4} 35\,840 + V_{\text{H}_2} 10\,800 + V_{\text{CO}} 12\,640,$$

где  $Q_3$  - потери теплоты из-за химической неполноты сгорания, кДж/м<sup>3</sup>;  $V_{\text{CH}_4}$ ,  $V_{\text{H}_2}$ ,  $V_{\text{CO}}$  — объемы горючих компонентов в продуктах сгорания, м<sup>3</sup>. Тогда

$$q_3 = \frac{Q_3}{Q_n} 100.$$

Потери теплоты в окружающую среду  $q_5$  зависят от производительности и конструктивного устройства котла. Вся теплота, воспринимаемая водой в котле, передается через поверхности нагрева, которые подразделяются на радиационные и конвективные. К радиационным поверхностям нагрева относятся экранные поверхности, обращенные в топку котла. Поверхности нагрева, расположенные в остальных газоходах, относятся к конвективным. Наиболее эффективным способом передачи теплоты является радиационное излучение факела и различного рода раскаленных керамических излучателей в топке.

Газовое топливо позволяет осуществлять автоматизацию процесса регулирования расхода топлива в зависимости от нагрузки котла, что обеспечивает повышение экономичности работы котельной и безопасности ее эксплуатации.

Для того чтобы отопительный котел работал с максимальным коэффициентом полезного действия и отсутствием химического недожога при различных тепловых нагрузках, перед вводом его в эксплуатацию проводятся наладочные работы. Во время наладки отрабатываются оптимальные режимы работы котла во всем эксплуатационном диапазоне регулирования теплопроизводительности и составляются режимные карты.

**1) Отопительные котельные присоединяют к газовым сетям среднего и низкого давлений. Небольшие котельные с расходом газа не более 250 м<sup>3</sup>/ч получают газ из газопроводов низкого давления.**

**Схемы газоснабжения.** В помещениях отопительных котельных разрешается прокладывать газопроводы низкого и среднего давлений. В котельных, расположенных в отдельно стоящих зданиях, разрешается прокладывать газопроводы высокого давления, но не более 0,6 МПа. Газопровод вводится непосредственно в помещение, где располагаются котлы, либо в смежное помещение при условии соединения их открытым проемом.

На вводе газопровода внутри котельной, в доступном для обслуживания месте, устанавливают устройство для отключения всей котельной в случае ремонта или аварии, а также при остановке ее на длительное время. При проведении ремонтных работ в котельной, а также в периоды между отопительными сезонами на вводе в котельную за отключающим устройством ставят заглушку. Если в котельной размещено большое число котлов, отключающие устройства устанавливают на ответвлениях газового коллектора к группам котлов, что позволяет проводить ремонтные работы без остановки всей котельной.

В качестве запорного устройства на вводе используют задвижку или кран перед регулятором или счетчиком. Кран перед манометром, который предусматривается на вводе газопровода, в работающей котельной должен быть открыт постоянно.

Трассировку и диаметры газопроводов выбирают таким образом, чтобы потери давления в них на всем протяжении от газорегуляторных установок (ГРУ) до наиболее удаленных горелок не превышали 40...50% номинального давления газа перед горелками при выходном низком давлении и 20...25% — при среднем давлении.

На ответвлении от газового коллектора котельной к каждому котлу устанавливают главное отключающее устройство, а перед каждой горелкой рабочее отключающее устройство. За отключающим устройством котла располагают

исполнительный механизм автоматического устройства (отсечный клапан), который обеспечивает прекращение подачи газа ко всем горелкам котла при недопустимом отклонении его давления от заданного, угасании пламени каждой из основных горелок, нарушении тяги и прекращении поступления воздуха.

К наиболее удаленному от ввода участку газового коллектора присоединяют продувочный трубопровод диаметром не менее 19 мм, который используется для освобождения газопровода от воздуха перед пуском котельной и для вытеснения газа воздухом при ее консервации и длительной остановке. Этот трубопровод устанавливают на газопроводах каждого котла перед последним по ходу газа отключающим устройством с минимальным числом поворотов. Прокладывают его вне здания котельной не менее чем на 1 м выше карниза крыши в месте, где существуют безопасные условия для рассеяния газа. Концы продувочных трубопроводов загибают либо устраивают над ними защитные зонты во избежание попадания атмосферных осадков. Продувочные газопроводы котлов и газового коллектора котельной могут быть объединены.

2) В котельной предусматривается установка КИП для измерения давления газа и воздуха перед горелками и разрежения в топке. Приборы располагают в удобных для наблюдения местах. На отводах к ним устанавливают отключающие устройства. В котельной газопроводы, как правило, прокладывают открыто и крепят к ее стенам, колоннам и перекрытиям, а также к каркасам котлов с помощью кронштейнов, подвесок и хомутов. На опорах газопроводы должны лежать плотно, без зазоров.

В проходах для людей газопроводы прокладывают на высоте не менее 2,2 м. При расположении арматуры на высоте более 2 м предусматривается дистанционный привод или площадка обслуживания из негорючих материалов с лестницами. Трубы соединяют, как правило, сваркой. Резьбовые и фланцевые соединения допускаются только в местах установки отключающих устройств, коллекторов, регуляторов давления, КИП, газовых горелок. После окончания монтажа и испытаний газопроводы окрашивают масляной краской светло-коричневого или желтого цвета. Сортамент труб, а также материалы для фасонных частей и конструкций газопроводов выбирают в соответствии с действующими стандартами.

**Проект газоснабжения котельной.** Основой проекта газоснабжения котельной являются план и разрезы по фронту котлов и поперек котельной в масштабе 1 : 100 или 1 : 50. На чертежах показывают: расположение котлов, боровов, дутьевую установку, газопроводы, газооборудование, предохранительные устройства, автоматические и контрольно-измерительные приборы со всеми необходимыми монтажными размерами и принципиальными решениями по устройству вентиляции в котельной. Разрабатывают также аксонометрическую схему основных и вспомогательных газопроводов, план и разрез котла и топки с подробным изображением всего топочного устройства, обмуровки, расположения горелок и взрывных клапанов со всеми необходимыми размерами.

Проектируют узел редуцирования давления, установку и обвязку счетчика, выполняют необходимые конструктивные и детализировочные чертежи предохранительных устройств, боровов, шиберов, дымовой трубы, горелки.

В расчетно-пояснительной записке дают обоснование всех принципиальных решений, приводят все необходимые расчеты (нагрузок, числа котлов, индивидуальных и типовых горелок, газопроводов, тяги и дутья). 1.

### **1.15 Лекция №18-19 (4 часа).**

**Тема: «Газовое оборудование промышленных, коммунальных и коммунально-бытовых предприятий»**

#### **1.15.1 Вопросы лекции:**

1. Особенности использования газового топлива в котельных.
2. Газовое оборудование котельных с паровыми и водогрейными котлами.
3. Определение расхода газа котельной на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение жилых и общественных зданий.
4. Схемы обвязочных газопроводов

#### **1.15.2 Краткое содержание вопросов:**

Объем потребления природного газа областями республики составляет более 15,2 млрд. куб. м. Транзит газа через территорию Республики Казахстан в объеме более 109 262 млн. кубометров. Природный газ транспортируется в Казахстане через магистральную систему трубопровода, которая проходит через восемь регионов и простирается на 10 000 км, включая ответвления и подводные трубы. Система трубопровода была построена как часть советской газовой транспортной системы и была разработана для поставки природного газа в северные регионы России, на Украину и Кавказ. Только восемь из 14 регионов Казахстана получают природный газ в требуемых количествах. Это связано, прежде всего, с природой самой трубопроводной системы, которая предназначена в основном для оснащения севера и с нечетким распределением трубопровода по всей стране. Развитие газовой промышленности поможет стране удовлетворить спрос на газ местных жителей, коммунальных служб и других секторов, использующих бытовой природный газ, а также сжиженный газ. Рост числа потребителей природного газа увеличится за счет развития программы газификации. За счет роста потребителей газа необходимо обеспечить эффективную, бесперебойную, надежную работу газового оборудования. Эффективная работа газового оборудования, определяемая производительностью, бесперебойностью подачи газа потребителям себестоимостью работы, во многом зависит от технического состояния оборудования систем газоснабжения.

Совершенствование конструкции и правильная техническая эксплуатация оборудования, заключающаяся в поддержании его надежности, т. е. способности выполнять заданные функции, сохраняя эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки, становится важнейшей отраслевой проблемой.

Снижение затрат труда и средств на техническое обслуживание и ремонт основного и вспомогательного оборудования может быть осуществлено путем усовершенствования конструкции деталей, частей и агрегатов в целом, а также повышением производительности и улучшения качества работ по обслуживанию и ремонту.

Для надежной работы имеет большое значение своевременное выявление дефектов деталей, правильное определение причин их возникновения и разработка эффективных профилактических мер для их предупреждения.

Причинами дефектов могут быть недостатки технологии изготовления, обслуживания и ремонта, а также нарушения режима эксплуатации.

Установление истинных причин отказа газового оборудования – ускоренного изнашивания, повреждений или разрушений деталей - в некоторых случаях является



достаточно сложной задачей, так как их возникновение может вызвано комплексом факторов, и поэтому должно проводиться по определенной методике. Выход оборудования из строя во многих случаях объясняется совокупностью одновременно действующих факторов, зависящих как от конструкции деталей, условий эксплуатации и работы, а также от проведенного ремонта.

Возникновение неисправностей носит случайный характер, поэтому для выявления неисправности в начале ее развития и предупреждения дальнейших повреждений, приводящих к отказам и авариям, необходим систематический контроль оборудования и систем, обеспечивающих работу газового оборудования. Необходимость такого контроля обусловлена еще и тем, что при эксплуатации газового оборудования неисправности обнаруживаются лишь тогда, когда действие их проявилось уже весьма значительно. Качественное обслуживание газового оборудования может быть достигнуто при использовании эффективных методов диагностики, т.е. методов и принципов, при помощи которых дается заключение о техническом состоянии оборудования и систем, в целом без разборки и его прогноз об остаточном ресурсе оборудования. Это дает возможность назначать то обслуживание или ремонт, в котором нуждается оборудование на данном этапе эксплуатации.

Повышение эксплуатационных качеств работающего газового оборудования - повышение эффекта надежности, снижение эксплуатационных расходов, сокращение простоев и многое другое - является важной задачей газовой промышленности.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

### 2.1 Лабораторная работа №1 (2 часа).

**Тема:** Расчет тепловой мощности системы отопления

#### 2.1.1 Цель работы :

1. Подготовка стационарного котла к работе
2. Организация эксплуатации теплоэнергетических установок и систем.
3. Организационная структура теплоэнергетического хозяйства предприятий.
4. Организация топливного хозяйства котельных.
5. Эксплуатация топочных устройств.
6. Контроль над процессом горения.
7. Методика теплового расчета топочных устройств на различных видах топлива.

#### 2.1.2 Задачи работы:

В данной работе используется регулятор давления газа прямого действия РДГ.

Автоматический регулятор давления состоит из исполнительного механизма и регулирующего устройства. Основной частью исполнительного механизма является чувствительный элемент (часто мембрана), а основной частью регулирующего устройства - регулирующий орган. Основными элементами регулирующего (дрессельного) органа являются неподвижный элемент - седло и подвижный – затвор (рисунок 1).

Регулятор давления прямого действия - это устройство, управляемое непосредственно энергией рабочей среды, без использования энергии от постороннего источника.

Для регулятора давления прямого действия колебание регулируемого давления от заданного допускается в пределах  $\pm 10\%$  независимо от влияния изменения расхода газа в пределах паспортной характеристики регулятора и колебания начального (входного) давления до  $\pm 0,3$  МПа.

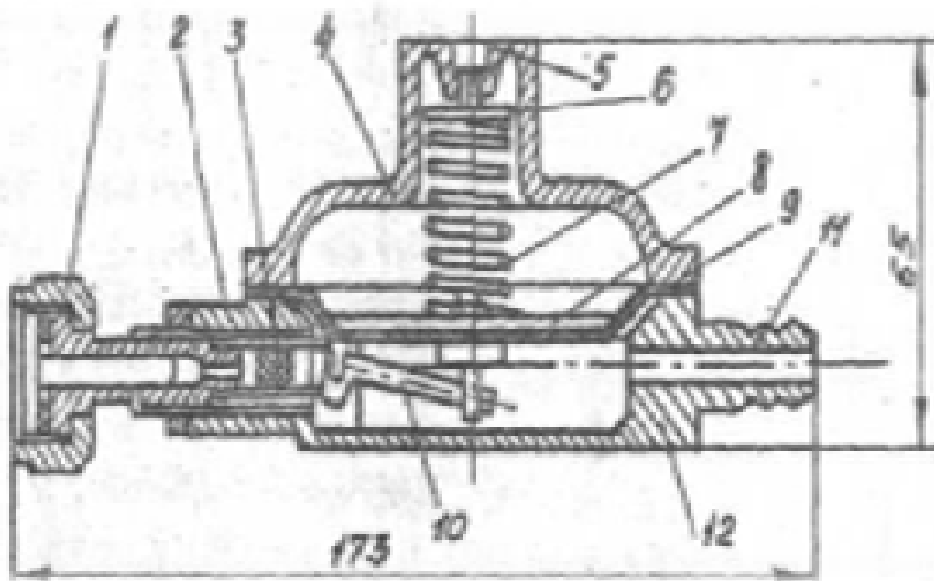


Рисунок 1 Регулятор давления газа прямого действия РДГ:

1 - входной штуцер; 2 - седло; 3 - шток с уплотнителем; 4 - крышка; 5 - предохранительный колпачок; 6 – регулировочная гайка; 7 - пружина; 8 - тарелка мембраны; 9 - мембрана;

10 – рычаг; 11 -выходной штуцер; 12- корпус

Регулятор давления газа РДГ предназначен, в основном, для редуцирования паров сжиженных углеводородных газов (СУГ) при баллонном газоснабжении и для снижения давления газа, подаваемого потребителям от сети среднего или высокого давления. Конечное давление газа низкое. Регулятор может работать и на природном газе. Входное давление газа может изменяться от 0,05 до 1,6 МПа. Максимальная пропускная способность для паров СУГ -1,8 м<sup>3</sup>/ч.

Между торцами корпуса и крышки 4 помещен узел мембраны 9. На тарелку 8 мембраны опирается пружина 7. В верхней части крышки, изготовленной из алюминиевого сплава, имеется резьба, по которой перемещается регулировочная гайка 6. Нижним торцом гайка опирается на пружину. При вращении гайки изменяется усилие пружины, с помощью которой настраивают выходное давление регулятора. Пружина давит на мембрану, которая, деформируясь, действует на рычаг 10, последний перемещает шток с уплотнителем 3, который является затвором. Уплотнитель изготовлен из маслобензостойкой резины и вставлен в специальную выточку на торце штока.

Шток с уплотнителем перемещается во внутренней полости входного штуцера I, на торце которого образовано седло 2 диаметром 2 мм. В резьбовые отверстия корпуса вмонтированы с одной стороны входной штуцер I с накидной гайкой, с другой – выходной штуцер 11. После окончательной сборки и настройки регулятора на верхней части крышки ставится предохранительный колпачок 5.

Регулятор работает следующим образом. При уменьшении отбора газа в газоиспользующей сети увеличивается давление в подмембранном пространстве регулятора. Мембрана поднимается, действует на рычаг 10, который перемещает шток 3 на закрытие седла.

2. Природный газ в данной работе имитируется воздухом. Сжатый воздух после компрессора 1 поступает в ресивер 2, который предназначен для выравнивания давления. Далее воздух проходит через регулятор давления прямого действия 3, с помощью которого устанавливают различные начальные давления перед испытуемым регулятором 5 (РДГ). Давление после регулятора 3 замеряется манометром 4. После регулятора давления 5 газ низкого давления, значение которого контролируют по манометру 6, проходит либо на замер в газовый счетчик 7 (при расходе газа до 0,6 м<sup>3</sup> /ч), либо в ротаметр 8 (при расходе газа более 0,6 м<sup>3</sup> /ч) и далее к регулирующему крану 14, изменяя сопротивление которого, можно имитировать изменение нагрузки газоиспользующей сети.

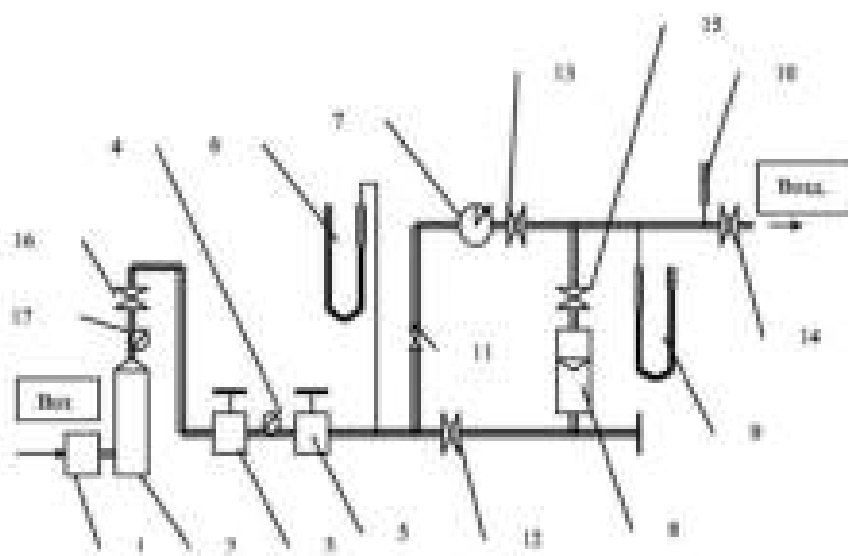


Рисунок 2 - Схема стенда для испытания регулятора давления газа: 1 - компрессор; 2 - ресивер; 3 - регулятор давления; 4 - манометр для замера давления после регулятора 3; 5 - испытуемый регулятор давления РДГ; 6 - манометр для замера давления после регулятора 5; 7 - газовый счетчик; 8 - ротаметр; 9 - манометр на выходе; 10 - термометр; 11 - 15 - краны; 16 - вентиль ресивера; 17 - манометр ресивера.

3 Определение пропускной способности регулятора при изменении перепада давления на нем (т.е. при изменении давления газа до и после регулятора).

Включить компрессор, открыть вентиль 16 (см. рисунок 2) на ресивере. Величина давления воздуха в ресивере контролируется манометром и не должна превышать 0,6 МПа (6 атм.) Краны 12,14,15 открыты, 11 и 13 закрыты. Регулятором давления 3 установить давление  $P_1 = 0,6$  МПа. Регулировочной гайкой регулятора 5 установить давление после регулятора  $P_2 = 4000$  Па. Давление  $P_2$  контролировать по манометру 6,  $P_1$  - по манометру 4. Если расход газа меньше  $0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ , краны 12,15 закрыть, а краны 11,13 открыть (газ пойдет через счетчик). Замерить расход газа, прошедшего через регулятор. Давление и температуру газа после счетчика (ротаметра) замерять по манометру 9 и термометру 10.

Затем отрегулировать давление газа после регулятора 5 таким образом, чтобы  $P_2 = 3000, 2500, 2000, 1500$  Па. При этих давлениях и постоянном давлении  $P_1 = 0,6$  МПа определить расход газа. После серии испытаний при  $P_1 = 0,6$  МПа установить  $P_1 = 0,3; 0,1; 0,05$  МПа. Для каждого из этих начальных давлений произвести аналогичные испытания. Измерение расходов необходимо производить при установившемся режиме, т.е. когда давление  $P_2$  остается неизменным в течение 2 мин.

При повышенных расходах воздуха замеры расходов производятся ротаметром 8, представляющим слегка расширяющийся кверху стеклянный цилиндр с нанесенными на стенки делениями. Внутри цилиндра помещается поплавков. При пропуске воздуха через ротаметр (обязательно снизу - вверх) поплавок под действием восходящей газовой струи начинает подниматься. При этом проходной зазор между миделем (наибольшим диаметром поплавка) и внутренним диаметром цилиндра постепенно увеличивается. Когда наступает равновесие сил, поплавок останавливается в определенном положении, причем каждому положению поплавка соответствует определенное значение расхода воздуха. По градуировочной кривой данного ротаметра по зафиксированной отметке положения поплавка находится расход воздуха при условиях тарировки (условия

приводятся на градуировочной кривой). Расход воздуха при условиях тарировки ротаметра сначала приводится к рабочим условиям (условиям опыта):

$$V_{a,r} = V_{a,m} \cdot f_1 ;$$

$$f_1 = \frac{P_{a(m)}^* \cdot T_{a,r}}{P_{a(r)}^* \cdot T_{a,m}} ,$$

где  $V_{a,r}$  - расход воздуха при рабочих условиях, м<sup>3</sup>/ч;

$V_{a,m}$  - расход воздуха при условиях тарировки ротаметра, м<sup>3</sup>/ч;

$f_1$  - коэффициент приведения от условий тарировки к рабочим условиям;

$P_{a(m)}^*$  - абсолютное давление воздуха при тарировке, Па;

$T_{a,m}$  - температура воздуха при тарировке, К;

$P_{a(r)}^*$  - абсолютное давление воздуха во время опыта, Па;

$T_{a,r}$  - температура воздуха во время опыта, К.

Полученный расход воздуха  $V_{a,r}$  приводится к нормальным физическим условиям (НФУ):

$$V_{a,n} = V_{a,r} \cdot f_2 ;$$

$$f_2 = \frac{P_a^* \cdot T_{a,r}}{P_a \cdot T_{a,n}} ,$$

где  $V_{a,n}$  - расход воздуха при НФУ, м<sup>3</sup>/ч;

$f_2$  - коэффициент приведения от рабочих условий к НФУ;

$P_a = 101325$  Па;  $T_a = 273,15$  К.

Расход природного газа, который может быть получен при проведении опытов с природным газом, определяется по формуле

$$V_{g,n} = V_{a,n} \sqrt{\rho_{a,n} / \rho_{g,n}} , \quad (1)$$

где  $V_{g,n}$  - расход природного газа при НФУ, м<sup>3</sup>/ч.

Плотность воздуха и газа при НФУ принять равной:

$$\rho_{a,n} = 1,29 \text{ кг/м}^3; \quad \rho_{g,n} = 0,73 \text{ кг/м}^3.$$

Замеренные и вычисленные величины внести в таблицу 1.  
При работе с газовым счетчиком

$$V_{г,р} = V_{г,в} \cdot f_2,$$

Коэффициент приведения к ПФУ:

$$f_2 = \frac{P_{абс} \cdot T_{г}}{P_{г} \cdot T_{г}}$$

где  $P_{абс}$  - абсолютное давление воздуха в условиях опыта, Па;

$T_{г}$  - температура воздуха в условиях опыта, К.

Величина  $V_{г,р}$  находится по формуле (1).

Замеренные и вычисленные величины внести в таблицу 1.

Замеренные по газовому счетчику и вычисленные величины  
внести в таблицу 2.

Таблица 1

№ опыта	Отметка ротаметра $n_p$	Рас- ход воз- духа при тари- ровке $V_{г,в}$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	Козф- фи- циент при- ведения $f_1$	Расход воздуха в раб. ус. $V_{г,в}$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	Козф- фи- циент при- веде- ния $f_2$	Рас- ход воз- духа при НФУ $V_{г,в}$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	Рас- ход газа при НФУ $V_{г,р}$ , $\text{м}^3/\text{ч}$
1	2	3	4	5	6	7	8

Примечание: всего производится 20 опытов (4 серии по 5 опытов).

Таблица 2

№ опыта	Показания газового счетчика, дм <sup>3</sup>			Г, час.	Расход воздуха в раб. условиях $V_a$ , м <sup>3</sup> /ч	Коэффициент приращения $f_1$	Расход воздуха при НФУ $V_{a,0}$ , м <sup>3</sup> /ч	Расход газа при НФУ $V_{г,0}$ , м <sup>3</sup> /ч
	Начало $n1$	Конец $n2$	Разность $\delta V_a$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Величины для построения графических зависимостей заносятся в таблицу 3 и аналогичные таблицы, которые составляются для  $P_1 = 0,3; 0,1$  и  $0,05$  МПа.

Таблица 3

Измеряемая величина	Значение величин				
Начальное давление газа $P_1$ , МПа	0,6				
Давление после регулятора $P_2$ , Па	4000	3000	2500	2000	1500
Продолжительность опыта, сек.					
Абс. давление газа после счетчика, Па					
Температура газа после счетчика (ротаметра), оС					
Расход газа при нормальных условиях, м <sup>3</sup> /ч					

Построить графики зависимости расхода газа, проходящего через регулятор, от выходного давления  $P_2$  при  $P_1 = \text{const}$  для каждого  $P_2$ . Кривую на графике проводить не путем соединения экспериментальных точек друг с другом. Среди точек нужно выбрать так называемое преимущественное направление. Оно заключается в том, что кривые должны быть плавными и проходить возможно ближе ко всем нанесенным точкам таким образом, чтобы примерно одинаковое количество точек находилось над кривой и под нею. При проведении кривой более четко выявляется некоторый разброс экспериментальных точек, обусловленный наличием ошибок измерений. График строить в логарифмических координатах.

3.2 *Определение колебаний давления газа при изменении входных и выходных параметров.*

Подготовка установки к испытаниям такая же, как при определении пропускной способности, но краны 12 и 15 закрыты. Изменение нагрузки сети. Регулятором 3 установить по манометру 4 давление перед РДГ  $P_1 = 0,3$  МПа. Установить давление газа после регулятора 5  $P_2 = 2000$  Па. После наступления установившегося режима прикрыть регулирующий кран 14. Регулятор давления должен автоматически скорректировать  $P_2 \approx 2000$  Па. Засечь промежуток времени, за который установится стабильный режим давления, и установившееся давление  $P_2$ . В течение опыта контролировать давление  $P_1$ . Провести аналогичные опыты еще четыре раза. Результаты свести в таблицу 4

**Таблица 4**

Измеряемые величины	Начальные параметры	Номер опыта				
		1	2	3	4	5
Давление газа перед регулятором $P_1$ , МПа						
Установившееся давление газа после регулятора $P_2$ , Па						
Время, за которое устанавливается давление $P_2$ , сек.						

Вычислить среднее отклонение регулируемого давления. Изменение давления газа перед регулятором  $P_1$  Регулятором 3 установить  $P_1 = 0,3$  МПа. Установить давление газа после регулятора 5  $P_2 = 2000$  Па.

Затем последовательно установить давление  $P_1 = 0,6; 0,1; 0,05$  МПа; при этом зафиксировать установившееся давление  $P_2$  и промежуток времени, за который установилось давление  $P_2$ . Результаты измерений занести в таблицу 5.

**Таблица 5**

Измеряемые величины	Начальные параметры	Номер опыта			
		1	2	3	4
Давление газа перед регулятором $P_1$ , МПа		0,3	0,6	0,1	0,05
Установившееся давление газа после регулятора $P_2$ , Па					
Время, за которое устанавливается давление $P_2$ , сек.					

Вычислить среднее отклонение регулируемого давления.

**4. Контрольные вопросы.**

1. Что называется регулятором давления прямого действия?
2. Назовите основные элементы регуляторов давления прямого действия.
3. Расскажите об устройстве и принципе действия РДГ.
4. Под действием каких сил находится чувствительный элемент регулятора РДГ?
5. Расскажите об устройстве и принципе действия ротаметра.
6. Как определяется расход воздуха с помощью ротаметра?
7. Техника безопасности при испытании регулятора РДГ.



## 2.2 Лабораторная работа №2 (2 часа).

**Тема:** Расчет тепловой мощности системы отопления

### 2.2.1 Цель работы :

1. Подготовка стационарного котла к работе
2. Организация эксплуатации теплоэнергетических установок и систем.
3. Организационная структура теплоэнергетического хозяйства предприятий.
4. Организация топливного хозяйства котельных.
5. Эксплуатация топочных устройств.
6. Контроль над процессом горения.
7. Методика теплового расчета топочных устройств на различных видах топлива.

### 2.2.2 Задачи работы:

Газовые горелки инфракрасного излучения применяются для сушки, нагрева материалов и изделий, а также отопления некоторых зданий и сооружений.

Особенности ГИИ:

- 1) газ сгорает без видимого факела на излучающем насадке;
- 2) первичный воздух должен подаваться в количестве, необходимом для полного сгорания газа;
- 3) большая полнота сгорания по сравнению с факельными горелками;
- 4) передача теплоты происходит в основном (до 60 %) за счет излучения.

Принципиальное устройство горелки показано на рисунке 3.

Горелка состоит из следующих основных элементов: 1 - газовое сопло; 2 - инжекционный смеситель; 3 - распределительная камера (коллектор); 4 - излучающий насадок.

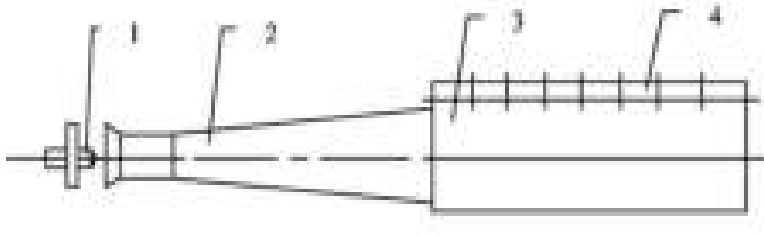


Рисунок 3 - Принципиальное устройство горелки инфракрасного излучения

Горелка работает следующим образом. Газ, вытекающий из сопла 1, инжектирует воздух в количестве, достаточном для полного его сгорания. Затем газозвушная смесь (ГВС) поступает в смеситель 2, где происходит перемешивание газа с воздухом. Подготовленная ГВС попадает в распределительную камеру 3, из которой проходит в насадок 4 и сгорает на его поверхности. Температура насадка достигает 800-900 оС.

Одной из важнейших характеристик горелочных устройств является коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ . Коэффициента избытка воздуха - это отношение действительного количества воздуха, участвующего в горении, к теоретически необходимому.

ГИИ работает удовлетворительно только при  $\alpha = 1,05 - 1,10$ . Незначительное отклонение его от указанных значений резко ухудшает работу горелок. Так при увеличении  $\alpha$  до 1,25 -1,40 падает температура насадка и снижается количество теплоты, передаваемое излучением. При уменьшении  $\alpha$  фронт пламени становится сплошным, появляются желтые языки, насадок темнеет, и количество теплоты, передаваемое излучением, резко уменьшается.

На работу горелки большое влияние оказывает качество смешения газа с воздухом. Инжекционный смеситель, как правило, обеспечивает хорошее смешение. Конструкция инжекционного смесителя, применяемого в ГИИ, представлена на рисунке 4.

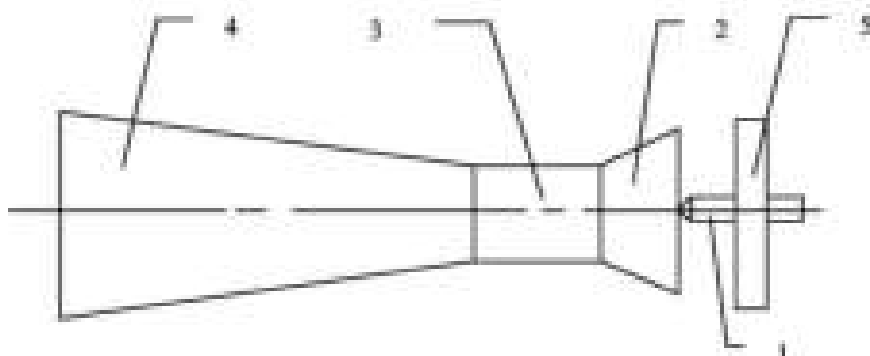


Рисунок 4 - Конструкция инжекционного смесителя

Инжекционный смеситель состоит из газового сопла 1, входного патрубка 2, горловины 3, диффузора 4 и воздушной заслонки 5.

Смеситель работает следующим образом. Газ, вытекая с большой скоростью из сопла 1, засасывает в инжектор воздух из окружающей среды. Количество воздуха регулируется воздушной заслонкой 5. Интенсивное смешение газа с воздухом происходит в горловине 3 и завершается в диффузоре 4. В диффузоре также происходит повышение статического давления за счет плавного снижения скорости ГВС и выравнивание концентрации по сечению потока.

Важным показателем работы смесителя является коэффициент инжекции. Коэффициентом или кратностью инжекции называется отношение объемного количества подсасываемого воздуха к объемному расходу газа

$$A = V_a / V_g,$$

где  $A$  - коэффициент инжекции;

$V_a$  - количество инжектируемого воздуха, м<sup>3</sup>/с;

$V_g$  - расход газа, м<sup>3</sup>/с;

Инжекционный смеситель обладает важной особенностью: в определенных пределах расхода он сохраняет постоянным значение коэффициента инжекции. Такое свойство инжекционного смесителя называется авто модельностью.

#### **Описание экспериментальной установки**

Схема лабораторной установки представлена на рисунке 5.

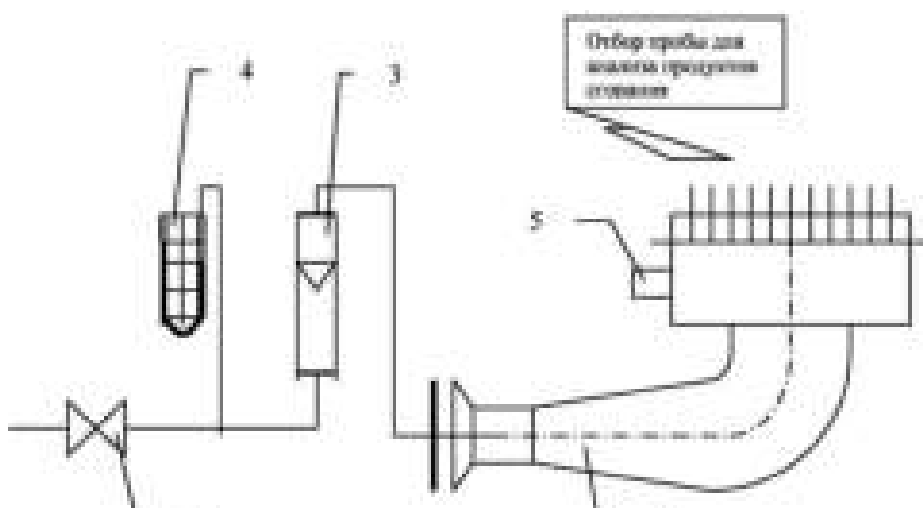


Рисунок 5 - Схема лабораторной установки

Расход газа на горелку 1 регулируется вентилем 2. Для измерения давления газа перед горелкой установлен U - образный манометр 4. Расход газа определяется при помощи ротаметра (счетчика) 3. С целью определения содержания в продуктах сгорания  $\text{CO}_2$  производится отбор пробы с помощью газозаборной трубки. Анализ проводится на лабораторном газоанализаторе КГ А2-1.

Для определения содержания в ГВС углеводородов (СН) используется газовый хроматограф «Газохром». При этом отбор пробы ГВС производится с помощью шприца из специального патрубка 5, вмонтированного в корпус горелки.

### ***3 Порядок выполнения работы***

Произвести розжиг горелки. Установить давление газа перед горелкой, равное 800 Па. Через 5-7 минут после прогрева по ротаметру (счетчику) производится замер расхода газа, газозаборными трубками отбираются пробы продуктов сгорания и ГВС. Анализ продуктов сгорания производится на газоанализаторе КГА2-1, а ГВС - на газовом хроматографе. Результаты замеров занести в таблицу. Затем увеличить давление газа до 1200 Па и после 5 - 7 минут прогрева снова произвести замеры. Опыты провести трижды при  $P = 800; 1200; 1500$  Па. Коэффициент инжекции рассчитывают по формуле

$$A = (C_p - C_{см}) / C_{см}$$

где  $C_p$  - содержание СН в природном газе, об.%;

$C_{см}$  - содержание СН в ГВС, об.%;

Коэффициент избытка воздуха определяется по формуле

$$\alpha = C_{CO_2}^{max} / C_{CO_2}$$

где  $C_{CO_2}^{max}$  - максимально возможное содержание диоксида углерода в неразбавленных продуктах сгорания при полном сгорании газа, об.%.  $C_{CO_2}^{max} = 11,75$ ;

$C_{CO_2}$  - концентрация диоксида углерода в продуктах сгорания, об.%;

После обработки результаты расчетов внести в таблицу 6.

Таблица 6

№ оп ы та	Дав- ление газа, Па	Расход газа м³/ч	Содержание СН <sub>4</sub> об.%		Концеп- трация СО <sub>2</sub> , %	Коэф- фициент инжек- ции А	Коэффи- циент избытка воз- духа α
			в газе	в сме- си			
1	2	3	4	5	6	7	8

#### 4 Контрольные вопросы

Что называется коэффициентом инжекции?

Что такое коэффициент избытка воздуха?

Назовите основные элементы ГИИ и их назначение.

Назовите преимущества ГИИ по сравнению с другими горелками.

### 2.3 Лабораторная работа №3 (2 часа).

**Тема:** Определение коэффициента теплопередачи нагревательного прибора

#### 2.3.1 Цель работы :

1. Подготовка стационарного котла к работе
2. Организация эксплуатации теплоэнергетических установок и систем.
3. Организационная структура теплоэнергетического хозяйства предприятий.
4. Организация топливного хозяйства котельных.
5. Эксплуатация топочных устройств.
6. Контроль над процессом горения.
7. Методика теплового расчета топочных устройств на различных видах топлива.

### 2.3.2 Задачи работы:

Газовые плиты классифицируются по качественным показателям -высший класс «а» и «б», первый класс «а» и «б». Плиты высшего класса оснащают автоматическими устройствами для зажигания и отключения горелок и для регулирования температуры духового шкафа. Рассмотрим устройство основных узлов и частей унифицированных газовых плит. Отечественные бытовые газовые плиты изготавливают двух-, трех- и четырехконфорочными с духовыми шкафами и без них.

Унифицированная газовая плита (рис. 1.1) состоит из следующих основных частей: корпуса, рабочего стола с конфорочными вкладышами, духового шкафа, газовых горелок (конфорочных и для духового шкафа), газораспределительного устройства с кранами.

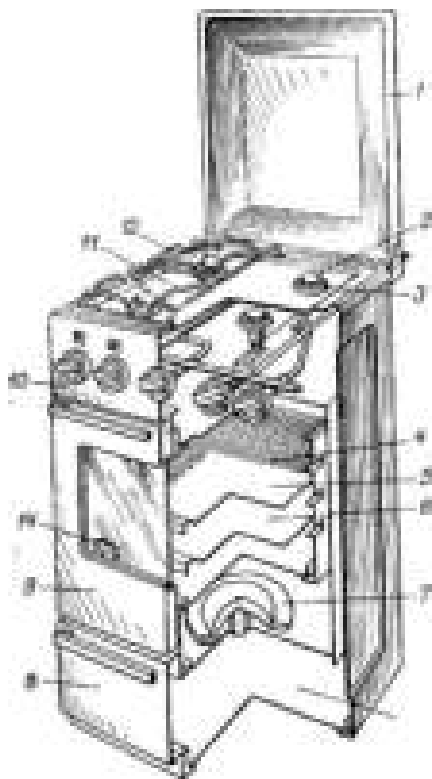
Высота рабочего стола 850 мм, ширина не менее 500 мм, глубина не менее 450 мм, расстояние между центрами соседних конфорок 230 мм. Детали газовых плит изготавливают из термически и коррозионно стойких и долговечных материалов.

Корпус плиты является несущей конструкцией и одновременно выполняет функции внешнего оформления. Снаружи корпус покрывают защитно-декоративным слоем керамической эмали, способной противостоять значительным температурным перепадам. На лицевой стороне плиты размещен распределительный щиток с пятью ручками и их указателями.

На задней кромке стола плиты установлен щиток-экран (в некоторых модификациях заменен откидной крышкой). Конфорочные решетки - прутковые,

эмалированные или оксидированные. Духовой шкаф - цельносварной, снабжен съемным дном и подвесками для трех полок; объем духового шкафа 52 дм<sup>3</sup>. Дверца духового шкафа имеет смотровое стекло, за которым размещен биметаллический термоуказатель.

**Рис. 1.1. Общий вид унифицированной газовой плиты ПГ-4: 1 - крышка плиты**



или щиток; 2 - крышка горелки; 3 - насадка горелки стола; 4 - решетка духового шкафа; 5 - противень для выпечки; 6 - жаровня; 7 - горелка духового шкафа; 8 - дверка

сушильного шкафа; 9 - дверка духового шкафа; 10 - распределительный щиток; 11 - стол плиты; 12 - решетка стола; 13 - сушильный шкаф; 14 -термоуказатель

Открытие (закрытие) прохода газа к горелке и регулирование высоты пламени осуществляется с помощью пробковых газовых кранов (рис. 1.2). Корпус 2 крана имеет наружную или внутреннюю резьбу для присоединения к горелкам и боковой штуцер 3 с резьбой для присоединения к коллекторной трубке. Хвостовик или отверстие в верхней части пробки 4 служит для посадки втулки или стержня 7. На втулку насаживается пластмассовая рукоятка для поворота крана. Между стержнем и пробкой крана находится пружина 6, обеспечивающая поступательное движение втулки перед поворотом крана на открытие. Это исключает случайное открытие крана.

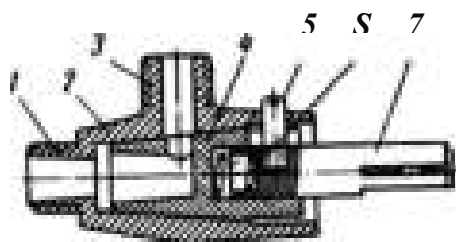


Рис. 1.2. Унифицированный пробковый кран газовой плиты: 1 - штуцер для присоединения к газопроводу; 2 - корпус; 3 - штуцер для присоединения к коллектору; 4 - пробка; 5 - стопорный винт; 6 - пружина; 7 – стержень

В последние годы производятся 4-конфорочные газовые плиты повышенной комфортности, оснащенные термoeлектрическим клапаном, терморегулятором и устройством пьезозажигания. По габаритным размерам они отличаются от унифицированных, например, объем духового шкафа для плиты ПГ4-ВК увеличен до 70 дм<sup>3</sup>.

## 2. Типы, устройство и принцип действия горелок бытовых плит

Газовой горелкой называется устройство, обеспечивающее устойчивое сжигание газообразного топлива и регулирование процесса горения. На отечественных бытовых газовых плитах используются многофакельные инжекционные горелки низкого давления (рис. 1.3).

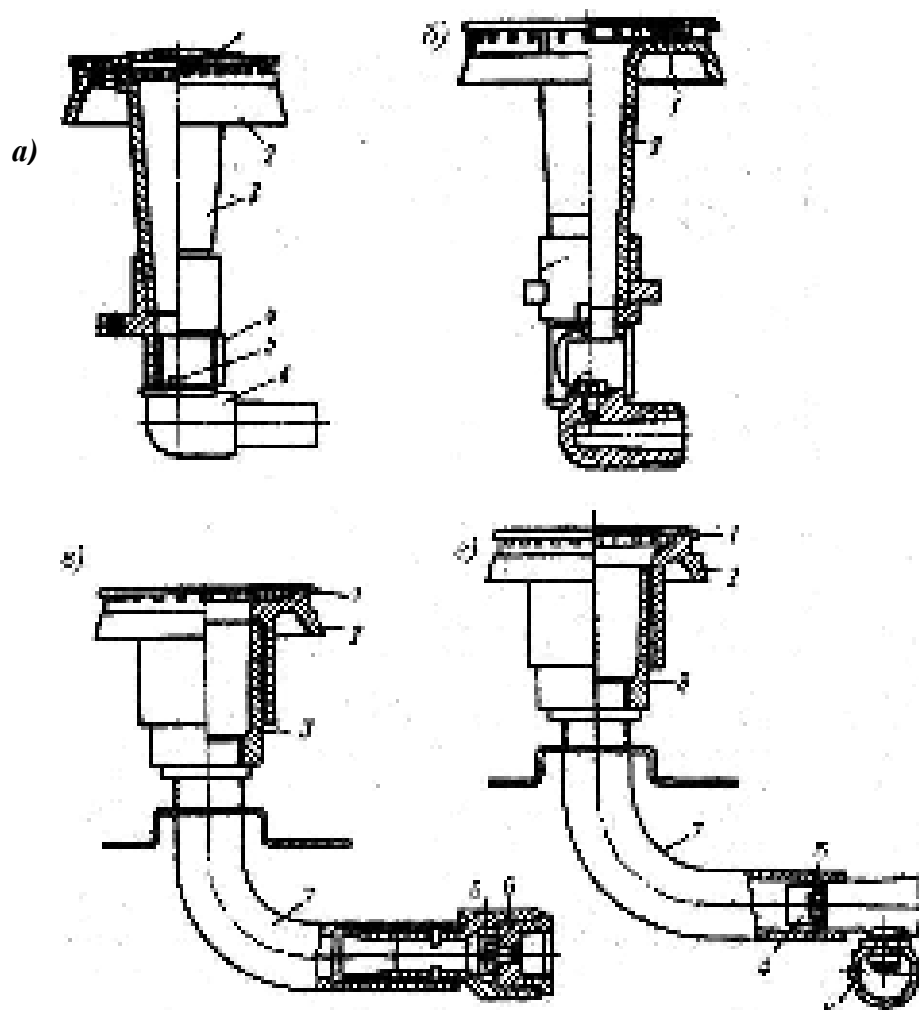


Рис. 1.3. Конфорочные горелки: *а* — вертикальная; *б* — вертикальная с пилотным пламенем; *в* — с горизонтальным смесителем; *г* — без регулятора первичного воздуха; 1 - колпачок; 2 - огневой насадок; 3 - диффузор; 4 - окно для подсоса воздуха; 5 - ниппель сопла; 6 - корпус сопла; 7 - трубка смеситель; 8 - коллектор

Номинальная мощность конфорочных горелок 1,75-2 кВт, повышенная 2,7 - 2,9 кВт, КПД не менее 55%. В этих горелках содержание первичного воздуха в смеси с природным газом составляет примерно 55% от теоретически необходимого. Часть воздуха, необходимого, для горения (первичный воздух), эжектируется газом; вытекающим из сопел горелок; остальная часть (вторичный воздух) поступает к пламени непосредственно из окружающей среды. Продукты сгорания конфорочных горелок проходят через щель между, дном посуды и рабочим столом плиты, поднимаются вдоль стенок посуды, обогревая их, и поступают в окружающую атмосферу.

В горелках (рис. 1.3 а) колпачок 1, диффузор 3 и сопло 5 размещены на одной вертикальной оси. Для обеспечения полноты сжигания в горелках (рис. 1.3 б) была изменена конструкция огневого насадка-распределителя горелки. Особенности горелок (рис. 1.3 в,г) являются наличие развитого по длине трубчатого смесителя и новый способ регулирования подсоса первичного воздуха с помощью мундштука диффузора.

В духовых шкафах на всех отечественных плитах устанавливают дисковые штампованные горелки с пилотным пламенем. Продукты сгорания обогревают духовой шкаф и поступают в кухню через отверстия в боковых стенках, или задней стенке плиты. Схема движения тепловых потоков в духовых шкафах показана на рис. 1.4.

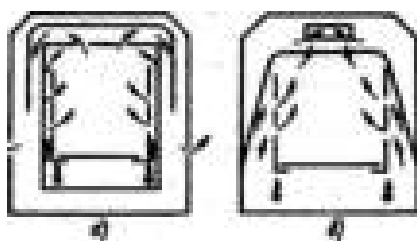


Рис. 1.4. Схема движения тепловых потоков в духовых шкафах:  
а - московская плита; б - ленинградская плита



Отвод продуктов сгорания непосредственно в помещение предъявляет высокие требования к конструктивным качествам горелок, которые должны обеспечивать полное сгорание газа.

### ***3. Характерные неисправности газовых плит***

Наиболее распространенными неисправностями бытовых газовых плит являются: утечка газа; плохое поступление газа на горелку; пробка крана поворачивается туго или не поворачивается совсем; пламя по окружности горелки имеет разную высоту; неполное сгорание газа в горелках плиты; отпадает или слишком плотно прилегает дверка духового шкафа.

Утечки газа могут произойти из резьбовых соединений, кранов плиты, оставленных случайно открытыми, при отрыве пламени от горелок плиты. Обнаруженная утечка устраняется заменой пеньковой набивки в резьбовых соединениях, сменой прокладок во фланцевых соединениях, перекрытием кранов плиты и другими способами в зависимости от характера и причин утечки газа.

Наиболее часто наблюдается неполное сгорание газа в горелках плиты. Причина этого - недостаток или отсутствие первичного воздуха. Неполное сгорание газа характеризуется высоким факелом яркого соломенного цвета с выделением копоти, оседающей на нагреваемом предмете. Эту неисправность легко устранить добавочной подачей первичного воздуха через регулятор. Если оказывается, что при полном открывании регулятора первичного воздуха не хватает, то это означает, что количество газа в горелку поступает больше положенного, т. е. форсунка имеет большое отверстие и ее необходимо заменить.

Отрыв пламени от горелки возможен ввиду повышенного давления газа перед плитой или избытка первичного воздуха. Для выяснения первой причины достаточно посмотреть, как работают другие приборы, присоединенные к этому газопроводу. Если неисправность наблюдается у всех горелок, то необходимо проверить давление газа в газопроводе по жидкостному манометру, подсоединив его резиновым шлангом к форсунке верхней горелки плиты.

### ***4. Установка газовых плит в помещении***

Газовые плиты устанавливают в кухнях высотой не менее 2,2 м, имеющих окно с форточкой или фрамугой, вентиляционный канал и естественное освещение. Установка газовых плит разрешена в кухнях, имеющих объем не менее 15 м<sup>3</sup> для 4-хконфорочной плиты, 12 м<sup>3</sup> для 3-хконфорочной и 8 м<sup>3</sup> для 2-хконфорочной.

Газовые плиты рекомендуется размещать таким образом, чтобы обеспечить удобное пользование ими и свободный доступ не менее чем с двух сторон. Плиты не следует ставить вблизи или против окон, т.к. при открытом окне пламя горелки, работающей с низкой тепловой нагрузкой или в режиме, близком к пределу отрыва пламени, может быть сдуто. Расстояние между верхним краем плиты и стеной следует принимать не менее 50 мм. Проход между плитой и противоположной стеной должен быть не менее 1 м. Деревянные стены при установке плит покрывают мокрой штукатуркой или изолируют асбестовой фанерой, кровельной сталью по листу асбеста толщиной 3 мм или войлоку, пропитанному глиняным раствором, или другими негорючими материалами.

В кухнях квартир, расположенных под жилыми комнатами разрешается установка только одной газовой плиты, установка других газовых приборов запрещается.

Установка газовых плит не допускается:

- в кухнях или других помещениях без естественного освещения, расположенных в подвальных помещениях;

- в кухнях или других помещениях, расположенных в цокольных этажах или подвалах, при газоснабжении сжиженными газами;
- в коридорах общего пользования;
- в кухнях жилых домов высотой 10 этажей и более и в общежитиях (независимо от этажности)

Нельзя устанавливать газовое оборудование в кухнях, расположенных непосредственно под помещениями с большим скоплением людей.

## **5. Изучение работы газовой плиты**

Изучение работы бытовой газовой плиты производится студентами самостоятельно.

Контрольные вопросы

1. По каким показателям классифицируются газовые плиты?
2. Перечислите основные части газовой плиты.
3. Назовите основные габаритные размеры унифицированной 4-х конфорочной газовой плиты.
4. Назовите тип конфорочных горелок, их тепловую мощность и КПД.
5. Объясните принцип действия конфорочной горелки.
6. Какие типы конструкций конфорочных горелок используются в отечественных плитах?
7. Какие неисправности могут возникать в газовых плитах?
8. Перечислите основные требования, предъявляемые к помещениям при установке в них газовых плит.
9. Как следует размещать газовые плиты в помещении?
10. В каких помещениях установка газовых плит не допускается?

## **2.4 Лабораторная работа №4 (2 часа).**

**Тема:** Определение теплоотдачи нагревательного прибора

### **2.4.1 Цель работы :**

1. Подготовка стационарного котла к работе
2. Организация эксплуатации теплоэнергетических установок и систем.
3. Организационная структура теплоэнергетического хозяйства предприятий.
4. Организация топливного хозяйства котельных.
5. Эксплуатация топочных устройств.
6. Контроль над процессом горения.
7. Методика теплового расчета топочных устройств на различных видах топлива.

### **2.4.2 Задачи работы:**

#### **1. Устройство и особенности конструкции газовых проточных водонагревателей**

Нагревание проточной воды для целей горячего водоснабжения в быту, происходит в водонагревателях проточных газовых (ВПГ). Существуют также емкостные газовые водонагреватели, которые применяются главным образом для отопления.

Все проточные водонагреватели по тепловой нагрузке делятся на три группы: 33 600, 75 600 и 105 000 кДж/ч; по степени автоматизации — на высший и первый классы. КПД водонагревателей при номинальной нагрузке должен быть не ниже 80%, содержание оксида углерода в продуктах сгорания водонагревателя не должно превышать 0,05 %; водонагреватели должны обеспечивать паспортную производительность в пределах

расчетных давлений газа при наименьшем значении его низшей теплоты сгорания; температура продуктов сгорания за тягопрерывателем должна быть не менее 180°C.

Основные технические характеристики наиболее распространенных проточных газовых бытовых аппаратов приведены в прил. 2.

Все основные элементы аппарата типа ВПГ (рис. 1) смонтированы в эмалированном кожухе прямоугольной формы. Передняя и боковые стенки кожуха - съемные, что делает удобным и легким доступ к внутренним узлам аппарата для профилактических осмотров и ремонтов без снятия аппарата со стены. На передней стенке кожуха аппарата расположены ручка управления газовым краном, кнопка включения электромагнитного клапана и смотровое окно для наблюдения за пламенем запальной и основной горелок. Вверху размещено газоотводящее устройство, через которые продукты сгорания направляются в дымоход, внизу находится патрубок для подсоединения аппарата к газовой и водяной сетям.

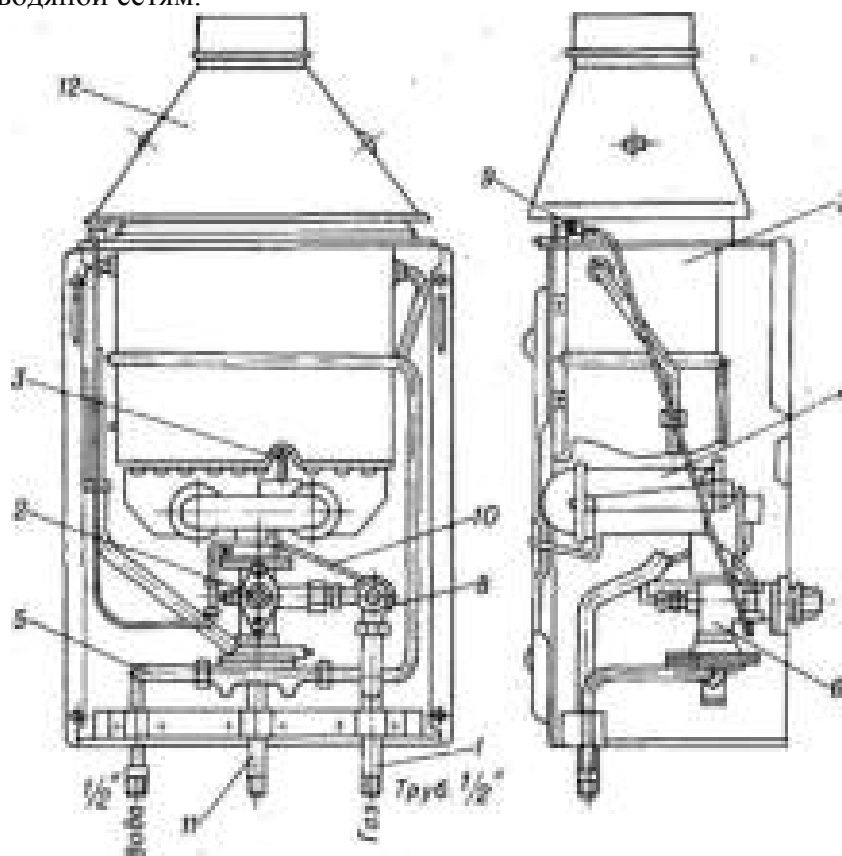
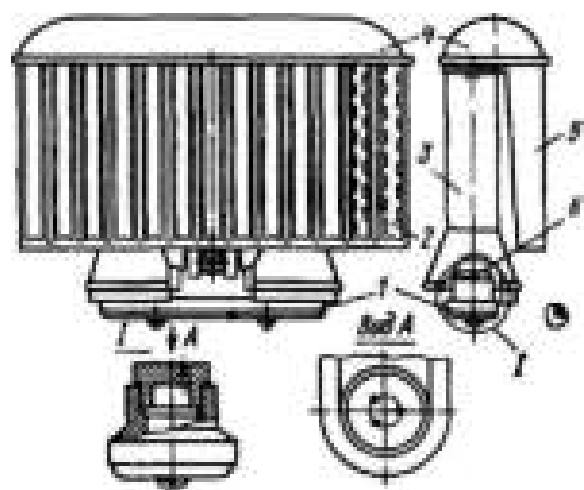


Рис. 1. Аппарат водонагревательный проточный бытовой типа ВПГ

Аппарат имеет следующие узлы: газопровод 1, кран блокировочный газовый 2, горелку запальную 3, горелку основную 4, патрубок холодной воды 5, блок водогазогорелочный с тройником горелки 6, теплообменник 7, автоматическое устройство безопасности по тяге с электромагнитным клапаном 8, датчиком тяги 9 и термопарой 10, патрубок горячей воды 11 и газоотводящее устройство 12.

Водонагреватель оборудован инжекционной горелкой с двумя инжекторами (рис. 2), обеспечивающими поступление первичного воздуха до 60% необходимого для сгорания. Это обеспечивает полное сгорание газа в коротких факелах.

Теплообменник состоит из огневой камеры и калорифера. Размещенные на наружной стороне огневой камеры змеевики предохраняют стенки камер от перегрева. В первых моделях водонагревателей применялись два змеевика, один для подачи холодной воды к калориферу, другой — горячей воды к разборному крану. В современных конструкциях ВПГ змеевик делает лишь один оборот вокруг огневой камеры



## **Рис. 2. Инжекционная горелка ВПГ:**

1 -тройник с соплами; 2 - пластина; 3 - смеситель; 4 - крышка смесителей;  
5 - распределительная трубка; 6 -сопло

### **2. Принцип работы аппарата**

Принцип работы аппарата следующий. Газ поступает в электромагнитный клапан, кнопка включения которого находится справа от ручки включения газового крана. Газовый блокировочный кран водогазогорелочно-го блока осуществляет принудительное последовательное включение запальной горелки и подачу газа к основной горелке. Газовый кран снабжен одной ручкой, поворачивая которую слева направо, можно фиксировать три положения. Крайнее левое положение обеспечивает закрытие подачи газа на запальную и основную горелки. Среднее фиксированное положение поворотом ручки вправо до упора позволяет полностью открыть кран для поступления газа на запальную горелку и закрыть кран для подачи газа на основную горелку. Третье фиксированное положение, достигаемое нажимом на ручку крана в осевом направлении до упора с последующим поворотом до конца вправо, обеспечивает полное открытие крана для поступления газа на основную и запальную горелки.

Кроме ручной блокировки крана на пути газа к основной горелке имеются два автоматических, блокировочных устройства. Блокировку поступления газа в основную горелку при обязательной работе запальной горелки обеспечивает электромагнитный клапан, работающий от термопары. Блокировка подачи газа в горелку в зависимости от наличия протока воды через аппарат осуществляется с помощью клапана, имеющего привод через шток

от мембраны, расположенной в водогазогорелочном блоке. При нажатой кнопке электромагнитного клапана и открытом положении блокировочного газового крана на запальную горелку через электромагнитный клапан газ поступает в блокировочный кран, а далее через тройник — по газопроводу к запальной горелке.

При нормальной тяге в дымоходе (разрежение не менее 2,0 Па) термопара, нагреваемая пламенем запальной горелки, передает импульс электромагнитному клапану, который автоматически открывает доступ газа к блокировочному крану. Если тяга нарушена или отсутствует, биметаллическая пластина датчика тяги нагревается уходящими продуктами сгорания газа, открывает сопло датчика тяги и газ, поступающий во время нормальной работы аппарата на запальную горелку, уходит через сопло датчика тяги. Пламя запальной горелки гаснет, термопара охлаждается, и электромагнитный клапан отключается в течение 60 с, т. е. прекращает подачу газа.

Для плавного зажигания основной горелки предусмотрен замедлитель зажигания, работающий при вытекании воды из надмембранной полости как обратный клапан, частично перекрывающий сечение клапана и тем самым замедляющий движение мембраны вверх, а следовательно, и зажигание основной горелки.

Основное количество теплоты передается воде через калорифер (см. рис. 3). Охлаждение огневой камеры обеспечивается одним витком змеевика. Калорифер 3 собран из одного ряда медных пластин и пересекается тремя горизонтальными участками змеевика 4. Теплота передается радиацией, конвекцией и теплопроводностью через металлические стенки, которые находятся в контакте с одной стороны с водой, с другой - потоком отходящих газов.

Водяная часть блок-крана имеет верхнюю и нижнюю водяные камеры, разделенные мембраной из прочной резины. Если открыть водяной вентиль перед колонкой, то верхнюю и нижнюю камеры заполнит вода. По принципу сообщающихся сосудов давление на мембрану сверху и снизу станет одинаковым, т.е. мембрана будет находиться в равновесии. Если открыть водоразборный вентиль, то вода потечет через водонагреватель. Минувя подмембранное пространство, вода, прежде чем попасть по соединительной трубе в змеевик, проходит через сопло Вентури ( $d_B=3,4$  мм). При

прохождении воды через узкую часть сечения скорость ее значительно возрастает, за счет чего создается разность давлений над и под мембраной. Давление воды в верхней водяной камере блок-крана понизится, а в нижней водяной камере увеличится настолько, что мембрана передвинется в верхнее положение. Шток тарелочки при движении вверх упрется в толкатель газового клапана, пересилит давление действующей на него пружины и медленно откроет газовый клапан. Если будет открыт газовый кран основной горелки, то газ начнет поступать в горелку и загорится от запальника.

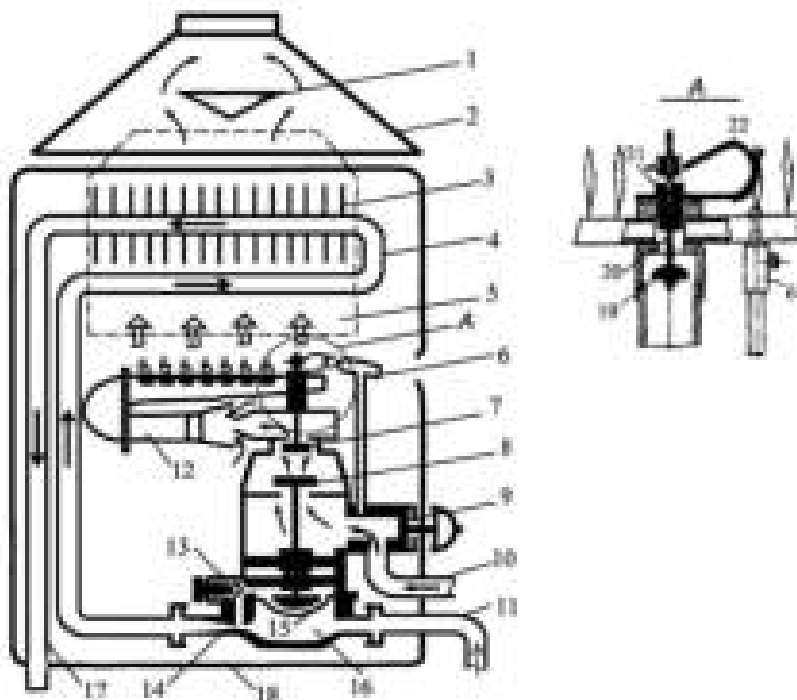


Рис. 3. Принципиальная схема водонагревателя ВПГ: 1- предохранитель от обратной тяги; 2- газоотводящее устройство; 3- калорифер; 4- змеевик; 5- огневая камера; 6- запальник; 7- клапан безопасности; 8- клапан блокировки газа; 9 - блок-кран; 10 - вход газа, 11 - вход воды; 12 - горелка; 13 - шариковый замедлитель зажигания; 14 - трубка Вентури; 15 - мембрана; 16 - мембранная камера; 17 - выход воды; 18 - кожух; 19 - клапан; 20 - шток; 21 - уплотнение; 22 - биметаллическая пластина

Если прекратится подача воды, то давление на мембрану сверху и снизу уменьшится, а газовый клапан под действием пружины перекроет газ на горелку. Это предохранит радиатор от распаивания. То же произойдет, если перекрыть водоразборный вентиль.

Для автоматизации подачи газа на основную горелку в проточном водонагревателе предусмотрен биметаллический термоклапан. В зону действия термоклапана вводится согнутая биметаллическая пластина 22. В холодном состоянии верхняя полоса пластинки находится в горизонтальном положении, вследствие чего клапан 19 через шток 20 удерживается в закрытом положении, перекрывая проход газа на основную горелку. При нагревании биметаллической пластины 22 верхняя полоса ее опускается, что приводит к перемещению клапана и открытию прохода на горелку.



**Рис. 4. Электромагнитный датчик пламени:** 1 - запальная горелка; 2 - термопара; 3 - основная горелка

В новых конструкциях водонагревателей предусмотрены дополнительные функции автоматики по блокировке работы основной горелки, например, вместо биметаллического термклапана установлен электромагнитный датчик пламени (рис. 4). В зону пламени запальной горелки введена термопара 2, которая является датчиком электродвижущей силы для электромагнитного клапана, управляющего доступом газа к горелке водонагревателя.

### 3. Характерные неисправности ВПГ

Основные причины плохого нагрева воды в проточном водонагревателе следующие:

1. Высота пламени нормальная, но продолжает поступать холодная вода. Рекомендуется слегка постучать по радиатору. Если при этом из радиатора сыпется сажа, то это

означает, что пластины калорифера забиты сажой. Сажа - плохой проводник теплоты, она препятствует теплообмену, и вода, проходя по змеевику, не успевает нагреться. Для устранения неисправности следует снять радиатор и промыть калорифер струей воды. Категорически запрещается соскабливать сажу, так как можно согнуть медные пластины калорифера, и он окажется непригодным для использования.

2. Выход радиатора из строя. У радиатора часто сгорают пластины калорифера или прогорают стенки огневой камеры, вследствие чего снижается его теплообменная способность. В этом случае радиатор следует заменить.

3. Отложение в трубках змеевика при жесткой воде накипи препятствующей нагреву воды. Необходимо снять радиатор и удалить накипь слабым раствором соляной кислоты.

4. Шток газового клапана оказался коротким, отчего клапан открывается не полностью, и к горелке поступает недостаточное количество газа.

Если запальник горит, а горелки при водоразборе не загораются, то это свидетельствует о неисправности термклапана, т. е. о том, что произошло заклинивание штока или клапана. Для устранения неисправности нужно нажать на биметаллическую пластину. Если клапан не откроется, горелку необходимо снять.

Иногда термклапан не открывается потому, что недостаточно прогревается биметаллическая пластина. Неисправность может возникнуть вследствие понижения давления перед водонагревателем. Это легко устранить, открыв водяной кран в раковине. Основная горелка может не включаться также вследствие неисправности мембраны. При разрыве мембраны ее нужно заменить.

При включении водонагревателя может не загореться запальник. Причина - засорение отверстия запальника. Для устранения неисправности достаточно снять смеситель запальника и прочистить отверстие. Если это не поможет, разобрать кран запальника и удалить смазку из отверстия крана.

При прекращении разбора горячей воды горелка не гаснет. Эта неисправность сразу влечет за собой другую — распаивание радиатора. Прежде чем поставить новый радиатор, надо выяснить причину распайки: под газовый клапан попал посторонний предмет, вследствие чего клапан не может войти в седло; неисправны пружины или произошло заедание штока клапана.

Если обнаружено неполное сгорание газа в горелке водонагревателя, следует установить наличие тяги под колпаком тягопрерывателя.

При неисправном калорифере (забит сажей, сгорели или погнуты пластины) также нарушается горение газа. В этом случае необходимо прежде устранить неисправность калорифера, а потом регулировать горение газа в основной горелке водонагревателя.

Если горелка водонагревателя при включении загорается с хлопком, то пламя запальника или мало, или направлено в сторону от основной горелки. При включении горелки газ загорается не сразу, вследствие чего в огневой камере успевает образоваться взрывоопасная смесь. Чтобы избежать образования взрывоопасной смеси, следует либо увеличить пламя запальника, либо направить его так, чтобы оно было над основной горелкой.

#### **4. Установка проточных водонагревателей в помещениях**

Газовые водонагреватели с отводом продуктов сгорания в дымоходы могут устанавливаться в кухнях квартир, имеющих вентиляционный канал. Двери должны открываться наружу. Объем помещения должен быть не менее  $7,5 \text{ м}^3$ . Помещения, в которых устанавливаются водонагреватели, должны иметь для притока воздуха решетки сечением не менее  $0,02 \text{ м}^2$  в нижней части двери (стены) или зазоры такой же площади, которые располагаются между дверью и полом.

Установка проточных водонагревателей не допускается: в ванных комнатах и летних кухнях; при номерах гостиниц; в общежитиях; санаториях.

Проточные водонагреватели крепят к несгораемым стенам. Трудносгораемые стены обивают кровельной сталью по листу асбеста толщиной 3 мм. Расстояние между водонагревателем и стеной должно быть не менее 3 см.

#### **5. Порядок работы аппарата**

##### **Включение**

- 1) проверить наличие тяги в дымоходе, поднеся зажженную спичку под верхний колпак газоотводящего устройства;
- 2) если тяга есть, то открыть общий кран на газопроводе перед аппаратом;
- 3) открыть вентиль на водопроводной трубе перед аппаратом;
- 4) повернуть по часовой стрелке ручку блок-крана до упора;
- 5) нажать на кнопку электромагнитного клапана и, удерживая ее в течение нескольких секунд, поднести зажженную спичку через окошко в кожухе аппарата к запальной горелке;
- 6) отпустить кнопку электромагнитного клапана после включения, при этом пламя не должно погаснуть;
- 7) открыть блок-кран на основную горелку, для чего нажать в осевом направлении на ручку газового крана и повернуть ее вправо до упора;
- 8) открыть требуемый кран для отбора горячей воды, после чего должна включаться основная горелка.

##### **Отключение**

- 1) повернуть ручку блок-крана против часовой стрелки до упора, при этом будут выключены запальная горелка и электромагнитный клапан;
- 2) закрыть общий кран на газопроводе;
- 3) закрыть вентиль на водопроводной трубе;
- 4) закрыть краны всех водоразборных точек.

#### **6. Контрольные вопросы**

1. Назовите основные технические характеристики ВПГ.
2. Объясните устройство и принцип действия ВПГ.



3. Объясните назначение мембранной камеры, мембраны, сопла Вентури.
4. Что такое замедлитель зажигания и как он действует?
5. Для чего служит блок-кран?
6. Для чего предназначен калорифер проточного аппарата?
7. Почему трубки калорифера имеют ребрение?
9. Объясните устройство и принцип действия электромагнитного клапана.
10. Для чего предназначен датчик тяги?
11. Что произойдет, если при работающем аппарате неожиданно прекратится подача воды?
12. Перечислите характерные неисправности ВПГ и методы их устранения.
13. Расскажите порядок включения и выключения проточного водонагревателя.
14. Перечислите требования, предъявляемые к помещениям и местам установки проточных газовых водонагревателей.

## **2.5 Лабораторная работа №5 (2 часа).**

**Тема:** Расчет воздухообмена и воздухораспределения в помещениях

### **2.5.1 Цель работы :**

1. Подготовка стационарного котла к работе
2. Организация эксплуатации теплоэнергетических установок и систем.
3. Организационная структура теплоэнергетического хозяйства предприятий.
4. Организация топливного хозяйства котельных.
5. Эксплуатация топочных устройств.
6. Контроль над процессом горения.
7. Методика теплового расчета топочных устройств на различных видах топлива.

### **2.5.2 Задачи работы:**

#### ***1. Устройство и принцип работы емкостных газовых водонагревателей***

Емкостными газовыми водонагревателями называются аппараты, в которых вода нагревается продуктами сгорания в емкости без применения принудительной циркуляции и предназначенные для отопления и горячего водоснабжения потребителей. В последние десятилетия использовались и продолжают активно эксплуатироваться аппараты отечественного производства следующих типов: АГВ (автоматический газовый водонагреватель), АОГВ (аппарат отопительный газовый бытовой с водяным контуром), АКГВ (аппарат комбинированный газовый бытовой с водяным контуром). На сегодняшний день в эксплуатации находятся различные типы аппаратов, внешне не похожие друг на друга.

В настоящее время наблюдается значительный рост индивидуального строительства, в связи с этим потребителям предлагаются различные модели газовых отопительных агрегатов отечественного и зарубежного производства.

Рассмотрим подробнее наиболее распространенные емкостные газовые водонагреватели серии АОГВ. Эти аппараты в отличие от части аппаратов типа АГВ и АКГВ применяются только для отопления и не могут использоваться для горячего водоснабжения. В целях унификации емкостные водонагреватели АОГВ изготавливаются следующих видов: 1 - работающие на природном газе; 2 - работающие на пропане, бутане и их смесях; 3 - работающие на природном газе и пропан-бутановых смесях. Аппараты должны изготавливаться в следующих климатических исполнениях: У - для эксплуатации в районах с умеренным климатом; ХЛ - для эксплуатации в районах с холодным климатом.

Номинальная тепловая мощность аппаратов АОГВ от 7 до 29 кВт. КПД емкостных водонагревателей при номинальной нагрузке должен быть не ниже 80 %, содержание оксида углерода в продуктах сгорания водонагревателя не должно превышать 0,05 %; температура воды на выходе из аппарата 50 -90 °С.

Основные технические характеристики емкостных газовых водонагревателей с водяным контуром типа АОГВ приведены в прил. 3.

Рассмотрим устройство и принцип работы емкостных водонагревателей на примере аппарата АОГВ-11,6-3-У с тепловой мощностью 11,6 кВт.

Аппарат (рис. 1) выполнен в виде напольного шкафа цилиндрической формы и состоит из следующих основных частей: вертикально-цилиндрического резервуара с теплообменником внутри, блока автоматики, го-релочного устройства, узла «сильфон-термобаллон», датчика тяги с проводом, прерывателя тяги, термпары, запальника, основания.

Резервуар аппарата стальной, штампованный, сварной, с трубами подвода и отвода воды, патрубком для установки термометра и фланцами для установки блока автоматики.

В нижней части резервуара находится топка, имеется окно для розжига и наблюдения за процессом горения. В резервуар вварены три секции стального штампованного теплообменника. Наружная поверхность резервуара покрыта светлой эмалью. Для удержания дверки в закрытом положении установлен пружинный запор.

Горелочное устройство состоит из радиальной инжекционной литой чугунной горелки 18, смесителя, регулятора воздуха 15 и поддона, предохраняющего пол под аппаратом от перегрева. Горелочное устройство закреплено на основании.

Тягопрерыватель стальной штампованный состоит из корпуса и дверки, предназначен для автоматической стабилизации величины разряжения в топке аппарата, то есть уменьшения влияния колебания величины разрежения в дымоходе на тягу в топке аппарата. При нормальной тяге через имеющиеся зазоры между дверкой и корпусом тягопрерывателя происходит незначительный подсос внешнего воздуха из помещения в дымоход. В случае появления чрезмерно высокого разрежения в дымоходе дверка отклоняется внутрь тягопрерывателя, увеличивая тем самым подсос внешнего воздуха, непроходящего через топку в дымоход.

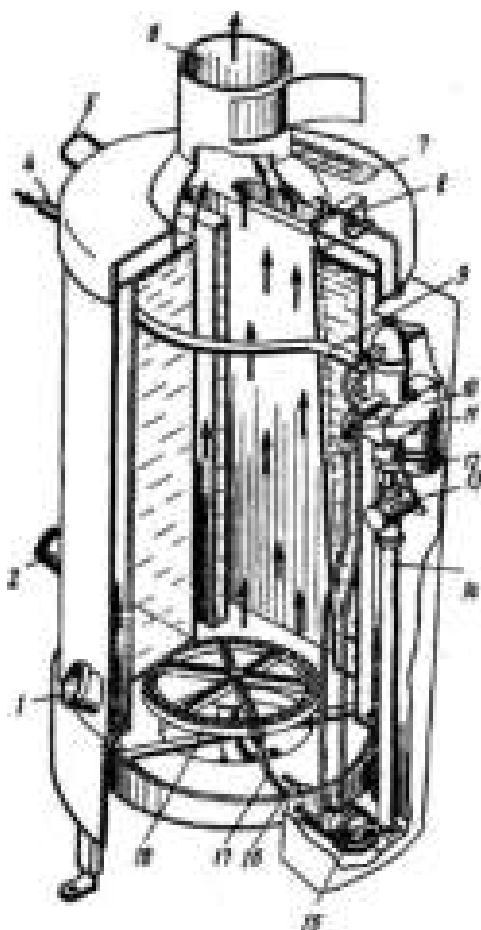


Рис. 1. Принципиальная схема аппарата АОГВ-11,6-3-У: 1 - глазок; 2 - вход воды; 3 - кожух водонагревателя; 4 - вход газа; 5 - выход горячей воды; 6 - тягопрерыватель; 7 - термометр; 8 - датчик тяги; 9 - трубопровод для входа газа; 10 - блок автоматики; 11 - выход газа на запальник; 12 - гайка регулировочная; 13 - кран; 14 - выход газа на основную горелку; 15 - регулятор воздуха; 16 - термопара; 17 - запальник; 18 - основная горелка

Блок автоматики 10 представляет собой электромеханическое устройство и состоит из корпуса блока, внутри которого находятся клапаны и система рычагов, электромагнита, и служит для подачи газа к запальнику и горелке, регулирования температуры воды и автоматического отключения

подачи газа при: погасании запальника; падении давления газа в сети ниже допустимого или прекращении подачи газа; отсутствии тяги в дымоходе.

Автоматика по тяге состоит из датчика тяги 6 (см. рис. 2), укрепленного на крышке бака, и привода, соединяющего датчик тяги с электромагнитом. При нормальном разрежении в дымоходе продукты сгорания проходят в дымоход, минуя датчик тяги, контакты датчика тяги замкнуты.

При отсутствии тяги в дымоходе продукты сгорания частично попадают на биметаллическую пластину датчика тяги и нагревают ее. Нагреваясь, пластина изгибается и контакты размыкаются, разрывая тем самым электрическую цепь «термопара - обмотка электромагнита - датчика тяги». Доступ газа к запальнику и основной горелке прекращается.

При обратной тяге поступающий сверху воздух отклоняет дверку наружу и воздух из дымохода выходит через зазор между дверкой и корпусом тяго-прерывателя в помещение, не попадая в топку. Для успешной работы дверка должна легко (от слабого дуновения на нее) вращаться на оси.

Электромагнит совместно с системой клапанов, находящихся внутри корпуса блока автоматики, предназначен для обеспечения подачи газа к запальнику, горелке и автоматического прекращения подачи газа к запальнику и горелке при погасании пламени запальника или срабатывании датчика тяги.

Газ по газопроводу поступает в полость корпуса блока автоматики, расположенную над седлом 8 (рис. 2). При нажатии до отказа пусковой кнопки 9 клапан 10 прижимается к седлу 11, перекрывая доступ газа на горелку, и газ поступает только к запальнику. При зажженном запальнике пламя его нагревает конец термопары 4 и ток (термоЭДС термопары, спай которой помещен в пламени запальника) по проводам подается на обмотку сердечника и намагничивает его. При отпускании пусковой кнопки 9 сердечник удерживает якорь, который через шток удерживает клапан 10 в промежуточном положении, открывая доступ газа к запальнику и горелке.

При погасании запальника (в случае прекращения подачи газа, падения давления газа ниже допустимого или задувания пламени) спай термопары остывает, термоЭДС исчезает, и клапан 10 прижимается к седлу 8, закрывая доступ газа к запальнику и горелке.

Автоматика регулирования температуры воды (см. рис. 2) состоит из узла «сильфон — термобаллон» 5, установленного внутри бака аппарата, и системы рычагов, расположенных в блоке автоматики, и клапана 12.

При нагреве воды в баке выше заданной температуры керосин, заключенный внутри системы «сильфон - капиллярная трубка - термобаллон»,

начинает расширяться, ни термобаллон, ни капиллярная трубка расширению не поддаются. Увеличить объем системы может только сильфон за счет растягивания «гармошки». Вместе с ней поднимается вверх и шток 13, который своим верхним концом нажимает на рычаг 14 до положения «Малый огонь».

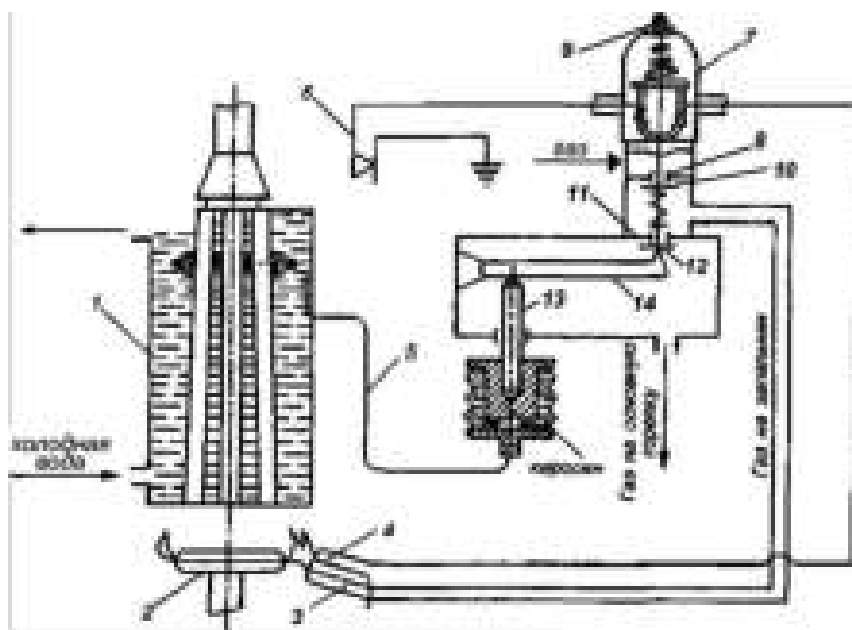


Рис. 2. Схема подключения блока автоматики водонагревателя АОГВ:

1 - резервуар, 2 - основная горелка, 3 - запальник, 4 - термopapa, 5 - узел «сильфон-термобаллон», 6 - датчик тяги, 7 - электромагнит, 8 - седло верхнее, 9 - пусковая кнопка; 10 - клапан, 11 - седло нижнее, 12 - клапан нижний, 13 - шток, 14 - рычаг

При остывании воды в баке керосин уменьшается в объеме, «гармошка» сильфона сжимается, шток 13 опускается, рычаг 14 возвращается на свое место, клапан 12 опускается вниз и увеличивает подачу газа к горелке.

На корпусе блока закреплена шкала настройки и гайка регулировочная, вращая которую можно настраивать автоматику на температуру от 50 до 90°C. Эта перемена температуры вызывается перемещением сильфона вместе со штоком 13 вверх (вниз) при вращении гайки регулировочной. После нагрева воды до температуры, соответствующей настройке, подача газа к горелке автоматически уменьшается, и она переходит на режим «Малый огонь».

## ***2. Характерные неисправности емкостных водонагревателей***

При неисправности запальника газ не поступает в горелку запальника. Это значит, что засорились форсунка запальника или отверстие, ведущее в корпус электромагнитного клапана. Если запальник горит при нажатой кнопке, а при отпускании ее гаснет, то плохо нагревается термopapa, потому что пламя запальника до нее не достает, или термopapa покрыта слоем копоти. Для устранения первой причины надо либо увеличить пламя запальника, либо подогнуть конец термopapы так, чтобы он попал в пламя запальника. Для устранения второй причины с термopapы нужно убрать слой копоти.

Причину нарушения работы электрической цепи следует искать в контактах термopapы и электромагнита. Их необходимо разъединить, а свинцовые контакты зачистить. Если разрыв цепи произошел внутри термopapы, то ее необходимо заменить. Если нет соприкосновения между якорем и электромагнитом, следует снять крышку с электромагнитной части клапана и осмотреть поверхность якоря. Она может быть покрыта коррозией и пылью.

Если электромагнитный клапан сработал, а газ продолжает поступать на горелку, то нужно проверить, закрыт ли нижний клапан. Для этого необходимо отвернуть нижнюю пробку, вынуть пружину и извлечь клапан. Может оказаться, что тарелка клапана загрязнена или пришел в негодность мягкий уплотнитель. Причиной последней неисправности является ослабление пружины клапана, ее следует заменить.

Если при опускании кнопки электромагнита запальник продолжает гореть, а горелка не включается, то в этом случае причина неисправности в терморегуляторе. В первую очередь следует обратить внимание на температуру воды в баке. Если вода нагрета до температуры, близкой к заданной, то следует перевести рычаг настройки температуры на большую величину. Горелка при этом должна загореться. Если горелка не загорается, то, значит, вышла из строя система рычагов терморегулятора.

Если терморегулятор не поддерживает заданную температуру воды, нужно попытаться настроить терморегулятор. При срабатывании терморегулятора горелка не гаснет или отключается не полностью - неисправен газовый клапан терморегулятора. При этом возможны засорение клапана, слабая притирка клапана к седлу или ослабление пружины газового клапана.

### **3. Установка емкостного водонагревателя**

Аппарат устанавливается на кухне или в другом помещении, удовлетворяющем требованиям действующих «Правил безопасности в газовом хозяйстве», объемом не менее 6 м<sup>3</sup>. Помещения, в которых устанавливаются водонагреватели, должны иметь для притока воздуха решетки сечением не менее 0,02 м<sup>2</sup> в нижней части двери (стены) или зазоры такой же площади, которые располагаются между дверью и полом, а также вентиляционную вытяжку и дымоход. Температура в помещении должна быть не ниже + 5° С.

Аппарат присоединяется к системе водяного отопления и к внутреннему газопроводу. На газоподводящей трубе перед аппаратом должен быть установлен газовый кран, перекрывающий доступ газа к аппарату. Схема подключения аппарата к дымоходу и газопроводу показана на рис. 3.

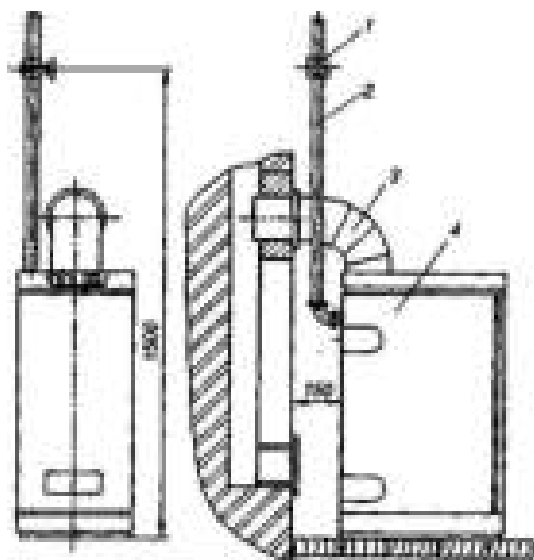


Рис. 3. Схема подключения емкостного водонагревателя к дымоходу и газопроводу: 1 - газовый кран, 2 - газо-подводящая труба, 3 - дымоотводящая труба, 4 – аппарат

Соединительные муфты трубопроводов должны быть точно подогнаны к месту расположения входных штуцеров аппарата. Присоединение не должно сопровождаться взаимным натягом, перекосом труб и узлов аппарата, что может вызвать потерю герметичности теплообменника, подводящих трубопроводов или поломку узлов аппарата. Неиспользуемые штуцеры глушатся заглушками.

Дымоход, к которому подключается аппарат, должен быть чистым, свободно пропускать продукты сгорания и быть длиной не менее 3,5 м. Диаметр дымоотводящей трубы должен соответствовать диаметру газоотводящего устройства аппарата. Не следует делать на дымоотводящей трубе большой

длины горизонтальные участки, малый радиус изгиба или под прямым углом. При подсоединении аппарата к дымоходу должны выполняться требования пожарной безопасности.

### **4. Порядок работы аппарата**

Для включения аппарата необходимо: проверить заполнение системы отопления и аппарата водой; при появлении воды из сигнальной трубы закрыть вентиль на водопроводе; проверить наличие тяги в дымоходе, поднеся зажженную спичку к отверстию щитка горелки запальной, — при наличии тяги пламя спички втягивается в это отверстие; открыть кран газовый на газопроводе перед аппаратом; повернуть ручку

терморегулятора до упора в положение «Выкл.», нажать на кнопку «Пуск» и зажечь спичкой через смотровое окно запальную горелку. Кнопку удерживать в нажатом состоянии 10-60 с, пока не прогреется термopаpa и клапан будет удерживаться в открытом положении магнитной пробкой. Отпустить кнопку «Пуск» - запальная горелка должна гореть.

При первом включении и длительных перерывах в работе запальная горелка может не гореть из-за наличия воздуха в трубках - необходимо удерживать кнопку нажатой 2-3 мин и повторить зажигание.

После зажигания запальной горелки необходимо полностью повернуть ручку терморегулятора, чтобы основная горелка включилась на полную мощность. Затем ручка терморегулятора устанавливается на необходимую цифру, определяющую нагрев воды до соответствующей температуры.

Для выключения аппарата необходимо: повернуть ручку терморегулятора до отказа в положение «Выкл.»; нажать на кнопку «Стоп»; закрыть газовый кран на газопроводе перед аппаратом; слить воду из аппарата и системы отопления (при опасности ее замерзания).

### **5. Контрольные вопросы**

1. Для чего предназначены емкостные водонагреватели?
2. Расшифруйте обозначение водонагревателя *АОГВ-11,6-3-У*.
3. Перечислите основные конструктивные узлы АОГВ.
4. Что такое тягопрерыватель?
5. Объясните устройство и назначение блока автоматики?
6. Как работает датчик тяги?
7. Объясните назначение и принцип действия узла «сильфон - термобаллон».
8. Перечислите характерные неисправности емкостных водонагревателей и методы их устранения.
9. Какие требования предъявляются к помещениям и местам установки емкостных водонагревателей?
10. Расскажите порядок «включения - выключения» АОГВ.

## **2.6 Лабораторная работа №6 (2 часа).**

**Тема:** Аэродинамический расчет воздухопроводов

### **2.6.1 Цель работы :**

1. Подготовка стационарного котла к работе
2. Организация эксплуатации теплоэнергетических установок и систем.
3. Организационная структура теплоэнергетического хозяйства предприятий.
4. Организация топливного хозяйства котельных.
5. Эксплуатация топочных устройств.
6. Контроль над процессом горения.
7. Методика теплового расчета топочных устройств на различных видах топлива.

## 2.6.2 Задачи работы:

Тема: Основные свойства и состав газообразного топлива.

Газообразное топливо представляет собой смесь горючих и негорючих газов, а также примесей. К горючим компонентам относятся все углеводороды: ( $C_nH_m$ ), водород ( $H_2$ ) и оксид углерода ( $CO$ ). Негорючие составляющие или балласт топлива это: азот ( $N_2$ ), углекислый газ ( $CO_2$ ) и кислород ( $O_2$ ). Примеси: водяные пары ( $H_2O$ ), сероводород ( $H_2S$ ), аммиак ( $NH_3$ ), цианистые соединения, смола, пыль и прочие. От вредных примесей газообразное топливо очищают, содержание их нормируется по ГОСТу.

Для газоснабжения населенных пунктов и промышленных объектов применяют сухие и влажные газы. Если газ транспортируется на большие расстояния, его осушают. Искусственные газы в большинстве случаев имеют резкий запах, что облегчает обнаружение утечки газа из труб и арматуры. Природные газы не имеют запаха, поэтому до подачи в систему газоснабжения они одорируются, т.е. им придается резкий и неприятный запах. Самый распространенный одорант - этил меркаптан ( $C_2H_5SH$ ). К основным характеристикам горючих газов относится теплотворная способность ( $Q_p^H$ , кДж/м<sup>3</sup>) и плотность ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>).

## Основные законы газового состояния

### 1.2.1 Закон Бойля - Мариотта

При постоянной температуре объем идеального газа изменяется обратно пропорционально давлению, т.е.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1} \quad (1.1)$$

отсюда

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{const} \quad (1.2)$$

Здесь  $V_1$  - объем газа при давлении  $P_1$ ;  $V_2$  - объем того же количества газа при давлении  $P_2$ .

Учитывая, что удельные объемы газа обратно пропорциональны плотности, можно написать

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{T_2}{T_1} \quad (1.3)$$

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  - плотности газа соответственно при давлениях  $P_1$  и  $P_2$ .



### 1.2.2 Закон Гей-Люссака

Объем определенного количества идеального газа при постоянном давлении увеличивается с повышением температуры. Так, если при температуре  $0^{\circ}\text{C}$  газ занимает объем  $V_0$ ,  $\text{м}^3$ , то при температуре  $t$  объем газа составляет

$$V_t = V_0(1 + a_t) \quad (1.4)$$

где  $a_t$  - коэффициент расширения газа при повышении температуры на  $1^{\circ}\text{C}$ , приблизительно равно  $1/273$ .

Для одного и того же газа при постоянном давлении, но различных температурах справедливо соотношение

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (1.5)$$

где  $T$  - абсолютная температура, равная  $273 + t$

Если газ находится в закрытой емкости постоянного объема, то при повышении температуры газа в ней будет возрастать давление, причем

$$P_t = P_0(1 + a_p t) \quad (1.6)$$

где  $a_p$  - коэффициент объемного расширения.

Соотношение между абсолютной температурой и давлением для одного и того же количества газа при постоянном объеме будет

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (1.7)$$

Для идеальных газов коэффициент  $a_p$  и  $a_t$  одинаковы.

### 1.2.3 Закон Авогадро

Равные объемы различных газов при одинаковых температуре, и давлении прямо пропорциональны их молекулярным весам, т.е.

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{M_1}{M_2} \quad (1.8)$$

поскольку

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad \text{и} \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{M_1}{M_2} \quad (1.9)$$

то

$$M_1 V_1 = M_2 V_2 = \text{const} \quad (1.10)$$

Равные объемы разных газов при одинаковой температуре и давлении содержат равное число молекул. Это число для одной моль любого газа составляет  $N = 6.025 \cdot 10^{23}$  и называется числом Авогадро. Из этого следует, что при определенной температуре и давлении г/моль любого газа будет занимать почти один и тот же объем, равный частному от деления веса одной г/моль на вес 1 м<sup>3</sup> газа. При 0°С и  $P = 1.01 \cdot 10^5$  Па,  $MV = 22.4 \text{ м}^3$ .

Закон Авогадро позволяет определить плотность любого газа при нормальных условиях по молекулярному весу, кг/м<sup>3</sup>

$$\rho = \frac{M}{V\mu} \quad (1.11)$$

и относительный удельный вес по воздуху

$$S = \frac{M}{1,293} \quad (1.12)$$

где  $M$  - молекулярный вес газа, кг

$V\mu$  - молекулярный объем газа, м<sup>3</sup>/моль

1,293 - удельный вес воздуха, кг/м<sup>3</sup>

#### 1.2.4. Уравнение Клапейрона

$$\frac{PV}{T} = \text{const} \quad (1.13)$$

Обозначая постоянную величину через  $R$ , получим для 1 кг газа

$$PV = RT \quad (1.14)$$

Для  $m$  кг газа уравнение будет

$$PV = mRT \quad (1.15)$$

где  $P$  - давление в Па;

$V$  - объем газа в м<sup>3</sup>;

$m$  - масса газа в кг;

$R$  - газовая постоянная в Дж/(кг·К);

$T$  - абсолютная температура в К.

В газовом хозяйстве рабочим телом является не отдельный однородный газ, а смесь, состоящая из разных газов. Смесь газов, не вступающих между собой в химические соединения, ведет себя, как идеальный газ и подчиняется уравнению состояния (1.15)

Для реальных газов уравнение состояния имеет вид:

$$PV=zmRT \quad (1.16)$$

где  $z$  - коэффициент сжимаемости газа.

Каждый близкий по своим свойствам к идеальному газ, входящий в смесь ведет себя так, как если бы в смеси не было других газов: распространяется по всему объему смеси и следует своему уравнению состояния.

### Закон Дальтона

Смесь газов подчиняется закону Дальтона, согласно которому общее давление смеси равняется сумме давлений отдельных компонентов, образующих смесь, т.е. сумме парциальных давлений.

$$P=P_1+P_2+...+P_n \quad (1.17)$$

(Парциальным давлением называется давление, которое имеет каждый газ в объеме смеси при температуре смеси). При этом парциальное давление каждого компонента равняется общему давлению, умноженного на величину объемного (молярного) содержания данного компонента в смеси.

$$P_i=\tau_i P \quad (1.18)$$

Аналогично закону Дальтона, Амага предложил закон аддитивности парциальных объемов, согласно которому общий объем газовой смеси равняется сумме парциальных объемов компонентов смеси:

$$V=V_1+V_2+...+V_n \quad (1.19)$$

(Под парциальным объемом компонента идеальной газовой смеси понимается объем, который занимал бы данный компонент при отсутствии остальных, находясь в таком же количестве, под тем же давлением и при той же температуре, что и в смеси).

Парциальный объем каждого компонента газовой смеси равно общему объему, умноженного на объемную (молярную) концентрацию его в смеси

$$V_i=\tau_i V \quad (1.20)$$

Соотношения между количеством отдельных газов, входящих в смесь, могут задаваться объемным или весовым составом. Объемный состав газовых смесей является одновременно и молярным составом, т.к. объем 1 кмоль углеродородного газа есть величина постоянная, равная  $\approx 22,4 \text{ м}^3$ .

### Закон Гейма (Гремма)

Скорость диффузии газа обратно пропорциональна корню квадратному из его плотности:

Распространяя этот закон на истечение газа из малых отверстий, закон Гейма гласит, что при одинаковых давлениях и температурах скорости

истечения разных газов из малых отверстий обратно пропорционально корням квадратным из их плотностей  $\rho$ , т.е.

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{\sqrt{\rho_2}}{\sqrt{\rho_1}} \quad (1.21)$$

Время истечения газов  $\tau$  через отверстия обратно пропорционально скоростям истечения этих газов  $w$

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{W_2}{W_1} = \frac{\sqrt{\rho_1}}{\sqrt{\rho_2}} \quad (1.22)$$

Скорость истечения определяется по формуле

$$W = \frac{\sqrt{2(P_1 - P_2)}}{\rho} \quad (1.23)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  - начальное и конечное давление  
 $\rho$  - плотность газа.

### 1.2.7.Закон Рауля

Все сжиженные углеводородные газы взаимно растворимы друг в друге, поэтому к ним при невысоких давлениях с достаточной для практики точностью применим закон Рауля.

Парциальное давление  $P_i$  любого компонента в жидкой смеси равно молекулярной концентрации его в жидкой фазе  $X_i$ , умноженной на упругость его паров  $P_i'$  в чистом виде при данной температуре, т.е.

$$P_i = X_i \cdot P_i' \quad (1.24)$$

Общее давление или упругость паров жидкости  $P$ , состоящей из нескольких компонентов, равна сумме парциальных давлений этих компонентов:

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n = \sum X_i P_i' \quad (1.25)$$

### 1.2.8. Средний моль вес смеси

$$M_{см} = \frac{100}{\frac{q_1}{M_1} + \frac{q_2}{M_2} + \dots + \frac{q_n}{M_n}} \quad (1.26)$$

где  $q_1, q_2$  -содержание компонентов в смеси.

### 1.2.9.Объем паров при испарении жидкости

$$V = \frac{G}{M} \cdot 22.4 \quad (1.27)$$

где  $G$  - вес смеси (равно число моль),кг

$M$  - моль, вес, кг/моль

$22.4 \text{ м}^3$  - объем 1г-моль

$$V_{\text{см}} = \left( \frac{G_1}{M_1} + \frac{G_2}{M_2} + \dots + \frac{G_n}{M_n} \right) * 22.4 \quad (1.28)$$

### 1.3 Проектирование установок сжиженного газа

При проектировании установок сжиженного газа возможность применения того или иного газа определяется давлением газа в емкостях, рабочей температурой наружного воздуха и составом газа.

Давление газа в емкости со сжиженным газом должно быть таким, чтобы не происходило вскипания жидкости. От величины давления зависит вес емкостей, а, следовательно, и экономичность использования газа. В соответствии с этим упругость насыщенных газов в емкости должна быть не выше 1.6 МПа.

Для осуществления регазификации (испарения) сжиженного газа в емкостях, чтобы получить давление, необходимое для работы установки, желательно использовать тепло окружающего воздуха, т.к. иначе возникает необходимость искусственного подогрева жидкости для его испарения. Температуру в емкости можно принимать на 5-6<sup>0</sup>С ниже температуры внешней среды. Минимально необходимое давление в емкости для работы установки с учетом потерь давления в горелке и регуляторе давления можно принимать 0.1 МПа.

Для получения необходимого давления газа определяют также состав сжиженного газа при данной температуре наружного воздуха. Для смеси пропана с бутаном пользуются графиком, для смеси других газов и для смеси 3-х и более газов - законом Дальтона.

### 1.4 Задачи и примеры

#### 1.4.1

Определить парциальные давления компонентов, входящих в состав воздуха, находящегося при нормальном давлении.

Решение:

Объемный состав воздуха: O<sub>2</sub> - 21%, N<sub>2</sub> - 79%

т.к. парциальные давления компонентов пропорциональны их объемным (молярным) концентрациям по закону Дальтона:

$$P_i = \tau_i P, \quad \text{то } P_{O_2} = 760 * 0.21 = 160 \text{ мм.рт.ст.}$$

$$P_{N_2} = 760 * 0.79 = 600 \text{ мм.рт.ст.}$$

#### 1.4.2.

Определить парциальные давления компонентов, входящих в газовую смесь следующего объемного состава:

CH<sub>4</sub> - 90%, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> - 5%, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> - 5%

Смесь находится под давлением 10 атм.=1 МПа

Решение:

$$P_{CH_4} = 0.9 * 10 = 0.9 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{свн}}=0.05 \cdot 10=0.05 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{свн}}=0.05 \cdot 10=0.05 \text{ МПа}$$

1.4.3.

Определить теплоту сгорания газообразного топлива, имеющего следующий состав (в % по объему):

$\text{CH}_4$  - 96%,  $\text{C}_2\text{H}_6$  - 0.8%,  $\text{C}_3\text{H}_8$  - 0.3%,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  - 0.8%,  $\text{CO}_2$  - 0.5%,  $\text{N}_2$  - 1%

Решение:

$$Q_v^0 = 0.01 \cdot (96.6 \cdot 35840 + 0.8 \cdot 63730 + 0.3 \cdot 93370 + 0.8 \cdot 123770) = 363990 \text{ (КДж/м}^3\text{)}.$$

1.4.4.

Баллон со сжиженным газом, имеющим  $P=0.1 \text{ МПа}$  и  $t=20^\circ\text{C}$ , нагрели до  $t=50^\circ\text{C}$ . Определить давление в баллоне после нагревания.

Решение:

Применим закон Шарля:

$$P_2 = P_1 \cdot \frac{T_2}{T_1} \quad P_2 = 0.1 \cdot \frac{50 + 273}{20 + 273} = 0.11 \text{ МПа}$$

1.4.5.

Продукты сгорания газа охлаждаются от  $926^\circ\text{C}$  до  $327^\circ\text{C}$ . Определить во сколько раз уменьшится их объем.

Решение:

Согласно закону Гей-Люссака:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{926 + 273}{327 + 273} = 2$$

1.4.6.

По газопроводу в течение часа подается  $1000 \text{ м}^3$  природного газа при абсолютном давлении  $0.2 \text{ МПа}$  и  $t=20^\circ\text{C}$ . Выразить этот объем газа при н.у..

Решение:

Используем объединенный закон Бойля - Мариотта.

$$V_2 = 1000 \cdot \frac{0.2}{0.103} \cdot \frac{273}{293} = 1920 \text{ м}^3$$

1.4.7.

Определить плотность газа рабочего состава примера 1.4.3. Плотность газа определяется, как сумма произведений значений плотности компонентов на их объемные доли

$$\rho^0 = 0.01 \cdot (96.6 \cdot 0.717 + 0.8 \cdot 1.357 + 0.3 \cdot 2.019 + 0.8 \cdot 2.703 + 0.5 \cdot 1.977 + 1 \cdot 1.251) = 0.156 \text{ кг/м}^3$$

Относительная плотность газа (по воздуху)

$$S^c = \frac{0.756}{1.293} = 0.585$$

Основной характеристикой газа является сухой состав, но т.к. используемый газ бывает влажным, может возникнуть необходимость пересчета  $Q_p^H$ ,  $\rho^c$ ,  $S^c$  на рабочий состав (с учетом влажности газа).

$$\rho^P = (\rho^c + d)K \text{ кг/м}^3$$

$$Q_p^c = Q_{H_i}^c K$$

где  $K = \frac{0.804}{0.804 + d}$ ,  $d$  - влагосодержание газа (кг/м сухого газа при н.у.)

1.4.8.

Определить рабочий состав газа  $Q_p^H$  и  $\rho^P$  считая, что  $d = 0.005 \text{ кг/м}^3$

$$K = \frac{0.804}{0.804 + 0.005} = 0.994$$

Рабочий состав газа будет:

$\text{CH}_4 = 95.993$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6 = 0.795$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8 = 0.298$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0.795$ ,  $\text{CO}_2 = 0.497$ ,  $\text{N}_2 = 0.994$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 0.628$

Плотность влажного газа  $\rho = (0.756 + 0.005) \cdot 0.994 = 0.757 \text{ кг/м}^3$

Теплота сгорания рабочего состава  $Q_p^H = 36390 \cdot 0.994 = 36170 \text{ кг/м}^3$

1.4.9.

Определить плотность  $\text{CH}_4$  при  $t = 20^\circ\text{C}$  и  $P = 760 \text{ мм.рт.ст.}$  (при  $t = 20^\circ$  и  $P = 1 \text{ МПа}$ ), если  $\rho \text{ н.у.} = 0.7168 \text{ кг/м}^3$

Решение:

$$\rho_{20,760} = 0.7168 \cdot \frac{760}{760} \cdot \frac{273}{293} = 0.67 \text{ кг/м}^3 \text{ (стандартные условия)}$$

$$\rho_{20,1} = 0.7168 \cdot \frac{1}{0.1} \cdot \frac{273}{293} = 6.67 \text{ кг/м}^3$$

1.4.10.

Определить общее давление смеси сжиженных газов при  $t = +20^\circ\text{C}$  если моль состав жидкости следующий:  $\text{C}_3\text{H}_8$  - 80%,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  - 20%

Решение:

$$P = 0.8 \cdot 0.85 + 0.2 \cdot 0.205 = 0.72 \text{ МПа}$$

1.4.11.

Определить объем паров при н.у., получающихся при испарении 1000 кг смеси следующего весового состава:

$\text{C}_4\text{H}_{10}$  - 50%,  $M = 58.12$ ;  $\text{C}_3\text{H}_8$  - 50%,  $M = 44.09$

Решение:

Средний молекулярный вес смеси для состава газа, выраженного в весовых процентах:

$$M_{см} = \frac{100}{\frac{r_1}{M_1} + \frac{r_2}{M_2} + \dots}$$

$q_1, q_2, q_n$  - весовое, процентное или долевое содержание компонентов

$$M_{см} = \frac{100}{\frac{50}{44.09} + \frac{50}{58.12}} = 50.03$$

$$V = \frac{1000}{50.03} * 22.4 = 447 \text{ нм}^3$$

1.4.12.

$100 \text{ м}^3$  -  $\text{CH}_4$ , находящегося при давлении 10 атм, смешаны с  $40 \text{ м}^3$  -  $\text{C}_3\text{H}_8$ , находящегося при давлении 5 атм, и помещены в газгольдер емкостью  $200 \text{ м}^3$ . Определить парциальные давления компонентов в газгольдере, общее давление газа в газгольдере и объемный состав смеси.

Решение:

Определение парциальных давлений компонентов сводится к приведению каждого газа к новому общему объему смеси после помещения ее в газгольдер.

$$P_{\text{см}} = \frac{100 * 10}{200} = 5 \text{ атм}$$

$$P_{\text{сн}} = \frac{40 * 5}{200} = 1 \text{ атм.}$$

Общее давление смеси в газгольдере:

$$P = 1 + 5 = 6 \text{ атм.}$$

Объемный состав смеси:

$$\text{CH}_4 - 5:6 = 0.835 = 83.5\%$$

$$\text{C}_3\text{H}_8 - 1:6 = 0.165 = 16.5\%$$

1.4.13.

Вычислить удельный вес смешанного газа, состоящего из 50%- $\text{C}_3\text{H}_8$  и 50%-  $\text{H}$ -бутана по объему при  $P=760 \text{ мм.рт.ст.}$  и  $t=0^\circ\text{C}$  (при задании объемного состава в долях единицы табл.46)

$$\rho = 0.5 * \text{C}_3\text{H}_8 + 0.5 * \text{C}_4\text{H}_{10} = 2.35 \text{ кг/нм}^3$$

## 2.7 Лабораторная работа № ЛР-7 (2 часа).

Тема: Определение расчетных расходов горячей воды и теплоты

### 2.7.1 Цель работы :

- 1.Подготовка стационарного котла к работе
- 2.Организация эксплуатации теплоэнергетических установок и систем.
- 3.Организационная структура теплоэнергетического хозяйства предприятий.
- 4.Организация топливного хозяйства котельных.
- 5.Эксплуатация топочных устройств.
- 6.Контроль над процессом горения.



### 2.7.2 Задачи работы:

В курсовой работе «Горячее водоснабжение жилого здания» разрабатывается проект централизованной системы горячего водоснабжения.

Основные вопросы, решаемые в процессе выполнения работы:

- трассировка системы горячего водоснабжения на плане подвала и этажа, построение аксонометрической схемы системы горячего водоснабжения, расстановка санитарных приборов и запорной арматуры;
- определение расчетных расходов воды и теплоты на нужды горячего водоснабжения;
- построение часового и интегрального графиков потребления теплоты;
- расчет объема и подбор бака-аккумулятора горячей воды;
- гидравлический расчет подающих и циркуляционных трубопроводов системы горячего водоснабжения;
- подбор оборудования абонентского ввода (теплового пункта).

Исходные данные на проектирование: тип системы горячего водоснабжения (открытая или закрытая); план этажа и количество секций жилого здания, число этажей; температура воды на выходе из водоподогревателя; температура воды в наиболее удаленной водоразборной точке; температура холодной воды; давление на вводе водопровода.

Состав курсовой работы: пояснительная записка (15–20 листов); графическая часть (1 лист формата А1).

Примерное содержание пояснительной записки: задание на курсовую работу; обоснование и описание конструкции системы горячего водоснабжения; определение расчетных расходов воды и тепла, расчет и построение часового и интегрального графиков расхода теплоты; гидравлический расчет подающих трубопроводов системы горячего водоснабжения; определение потерь тепла трубопроводами; гидравлический расчет циркуляционных трубопроводов; подбор оборудования системы горячего водоснабжения.

Графическая часть курсовой работы должна содержать: планы подвала, типового этажа и чердака (при его наличии) в масштабе 1:100 или 1:200 с нанесением магистральных, разводящих и циркуляционных трубопроводов системы горячего водоснабжения, санитарно-технических приборов; аксонометрическую схему системы горячего водоснабжения в масштабе 1:100 или 1:200 с указанием номеров расчетных участков, их диаметров, длины, расчетных расходов, уклонов на магистральных участках, санитарно-технических приборов, запорной арматуры; схему теплового пункта открытой (закрытой) системы горячего водоснабжения.

## 2. Внутренние системы горячего водоснабжения

Системы горячего водоснабжения следует проектировать тупиковыми, если допускается перерыв в подаче воды, кольцевыми или с тупикованными вводами при двух тупиковых трубопроводах с ответвлениями к потребителям от каждого из них для обеспечения непрерывной подачи воды.

В жилых и общественных зданиях прокладку разводящих трубопроводов горячего водоснабжения следует предусматривать в подпольях, подвалах, технических этажах, чердаках, на первом этаже в подпольных каналах (в случае отсутствия чердаков), по конструкциям здания, по которым допускается открытая прокладка трубопроводов или под потолком верхнего этажа. Прокладка стояков и разводки внутреннего водопровода следует предусматривать в шахтах, открыто – по стенам душевых, кухонь и других помещений [1].

Пластмассовые трубопроводы (кроме располагаемых в санитарных узлах) следует прокладывать только скрыто. В помещениях, к отделке которых предъявляются повышенные требования, трубопроводы также следует прокладывать скрыто [1].

Прокладку трубопроводов следует предусматривать с уклоном не менее 0,002.

При проектировании трубопроводов следует предусматривать компенсацию температурных удлинений труб.

Расстояние от поверхности штукатурки или облицовки до оси неизолированных трубопроводов при диаметре условного прохода до 32 мм включительно при открытой прокладке должно составлять от 35 до 55 мм, при диаметрах 40–50 мм – от 50 до 60 мм, а при диаметрах более 50 мм – принимается по рабочей документации.

Вертикальные трубопроводы не должны отклоняться от вертикали более чем на 2 мм на 1 м длины.

Средства крепления стояков из стальных труб в жилых и общественных зданиях при высоте этажа до 3 м не устанавливаются, а при высоте этажа более 3 м средства крепления устанавливаются на половине этажа.

Высоту установки водоразборной арматуры (расстояние от горизонтальной оси арматуры до санитарных приборов, мм) следует принимать согласно [2].

В верхних точках системы горячего водоснабжения следует предусматривать устройства для выпуска воздуха, а в нижних – спускные устройства. Согласно [2] выпуск воздуха из системы горячего водоснабжения допускается предусматривать через водоразборную арматуру, расположенную в верхних точках системы, а опорожнение системы – через водоразборные приборы нижних этажей.

Тепловую изоляцию необходимо предусматривать для подающих и циркуляционных трубопроводов систем горячего водоснабжения, включая стояки, кроме подводов к водоразборным приборам. Толщина теплоизоляционного

слоя должна составлять не менее 10 мм, а теплопроводность изоляционного материала не менее  $0,05 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$  [2].

Установку запорной арматуры в системах горячего водоснабжения следует предусматривать: на каждом вводе; на ответвлениях, питающих 5 водоразборных точек и более; у основания подающих и циркуляционных трубопроводов; на ответвлениях к секционным узлам; на ответвлениях от магистральных линий; на ответвлениях в каждую квартиру.

Обратные клапаны в системе горячего водоснабжения устанавливаются: на участках трубопроводов, подающих воду групповым смесителям, на циркуляционном трубопроводе перед присоединением его к водоподогревателю или перед присоединением к обратному трубопроводу тепловой сети (в открытой системе); на ответвлениях от обратного трубопровода тепловой сети к регулятору температуры.

Для внутренних систем горячего водоснабжения следует принимать пластмассовые, медные, бронзовые, латунные, стальные трубы с внутренним и наружным защитным покрытием от коррозии и фасонные изделия.

Для учета расхода воды в каждом здании (квартире) на вводах трубопроводов горячего водоснабжения следует предусматривать счетчики воды. При двухтрубной системе счетчик воды следует устанавливать на подающем и циркуляционном трубопроводах с установкой обратного клапана на циркуляционном трубопроводе. В закрытой системе счетчик воды следует устанавливать на трубопроводе холодной воды.

Для контроля температурного и гидравлического режимов работы системы горячего водоснабжения предусматривают манометры и термометры.

### 3. Определение расчетных расходов воды и теплоты

Вероятность действия водоразборных приборов системы горячего водоснабжения  $P$  определяется из нормы расхода горячей воды на 1 человека в час наибольшего водопотребления  $q_{br,н}^h = 10 \text{ л/ч}$  [2, прил. 3] и нормы расхода горячей воды для ванны  $q_v^h = 0,2 \text{ л/с}$  [2, прил. 3], как для водоразборного прибора с наибольшим расходом воды:

$$P = \frac{q_{br,н}^h U}{3600 q_v^h N}, \quad (3.1)$$

где  $U$  – общее число потребителей горячей воды;  $N$  – общее количество водоразборных приборов в здании.

Вероятность использования водоразборных приборов в системе горячего водоснабжения

$$P_v = P / K_v, \quad (3.2)$$

где  $K_a$  – коэффициент использования водоразборного прибора в час наибольшего водопотребления, принимаем  $K_a=0,28$  [3].

Часовой расход горячей воды в час наибольшего водопотребления,  $G_v$  ( $m^3/ч$ )

$$G_v = 18q_0^h K_a \alpha_v, \quad (3.3)$$

где  $\alpha_v$  – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от значения  $P_v N$  [2, прил. 4].

Средний расход горячей воды за сутки наибольшего водопотребления  $G_u$  ( $m^3/сут$ ), определяется как произведение количества ее потребителей на норму расхода горячей воды одним потребителем в сутки наибольшего водопотребления  $q_u^h$ , принимаемую по [2, прил. 3]:

$$G_u = 0,001U/q_u^h, \quad (3.4)$$

Средний расход горячей воды за сутки в отопительный период,  $G_{u,c}$  ( $m^3/сут$ )

$$G_{u,c} = 0,001U/q_{u,m}^h, \quad (3.5)$$

где  $q_{u,m}^h$  – норма расхода горячей воды одним потребителем в сутки отопительного периода (в средние сутки) [2, прил. 3].

Секундный расход горячей воды в системе горячего водоснабжения,  $G$  ( $л/с$ )

$$G = 5q_0^h \alpha, \quad (3.6)$$

где  $q_0^h$  – норма расхода горячей воды для прибора с наибольшим расходом воды,  $л/с$ ;  $\alpha$  – безразмерный коэффициент, который находится в зависимости от произведения  $P N$  по [2, прил. 4].

Максимальный часовой расход теплоты  $Q_{c,s}^{max}$ , (кВт), рассчитывается по уравнению

$$Q_{c,s}^{max} = G_v \rho c (t_s^p - t_x) (1 + \beta_s), \quad (3.7)$$

где  $\rho$  – плотность воды,  $кг/м^3$ ;  $c$  – теплоемкость,  $кДж/(кг \cdot ^\circ C)$ ;  $t_s^p$  – средняя температура воды в водоразборных стояках,  $t_s^p \approx 55^\circ C$ ;  $t_x$  – температура холодной воды, принимается по заданию на проектирование, при отсутствии данных  $t_x \approx 5^\circ C$ ;  $\beta_s$  – коэффициент, учитывающий теплопотери подающими и циркуляционными стояками: при изолированных водоразборных стояках  $\beta_s = 0,05-0,2$ , при неизолированных  $\beta_s = 0,1-0,3$ .

Среднечасовой расход теплоты за сутки наибольшего водопотребления,  $Q_{c,s}^p$ , (кВт)

$$Q_{c,s}^p = G_v \rho c (t_s^p - t_x) (1 + \beta_s), \quad (3.8)$$

Среднечасовой расход теплоты за отопительный период,  $Q_{с.о.}^{ср.}$ , (кВт)

$$Q_{с.о.}^{ср.} = G_{с.о.} \rho c (t_c^{ср.} - t_a) (1 + \beta_s), \quad (3.9)$$

#### 4. Построение графиков расхода теплоты

Для построения графиков расхода теплоты необходимо использовать безразмерный график расхода горячей воды по часам суток (рис. 4.1), который строится на основании многочисленных наблюдений за работой систем горячего водоснабжения коммунально-бытовых потребителей.

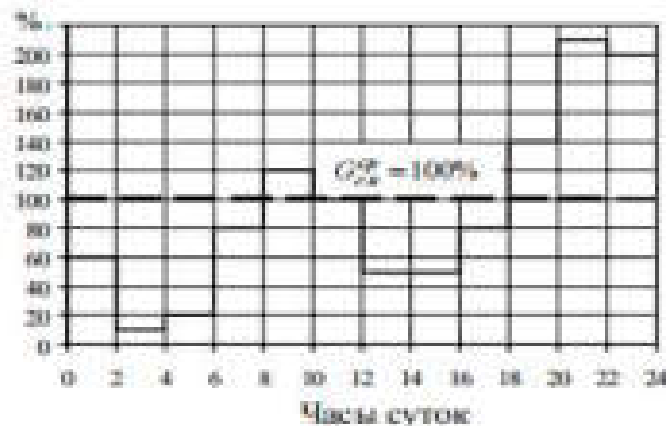


Рис. 4.1. Безразмерный график расхода горячей воды по часам суток

В зависимости от тепловой нагрузки, количества абонентов, температурного графика, типа системы горячего водоснабжения безразмерный график может отличаться от графика, представленного на рис. 4.1. В курсовой работе для построения графика расхода теплоты по часам суток может быть принят либо график, представленный на рис. 4.1, либо другой безразмерный график расхода теплоты.

При построении графика следует учитывать, что  $Q_{с.о.}^{ср.}$ , рассчитанное по формуле (3.8) соответствует 100 % расхода воды по безразмерному графику. Так, в соответствии с графиком на рис. 4.1, расход теплоты в период от 0<sup>00</sup> до 2<sup>00</sup> соответствует 60 %  $G_{с.о.}^{ср.}$ , в период от 2<sup>00</sup> до 4<sup>00</sup> – 10 %  $G_{с.о.}^{ср.}$  и т. д. Для того чтобы определить расход теплоты, например, в период от 0<sup>00</sup> до 2<sup>00</sup>, необходимо  $Q_{с.о.}^{ср.}$  умножить на 0,6, т. е. расход теплоты составит  $Q_1$ . Получив значения  $Q_1, Q_2, \dots, Q_{12}$ , строят график расхода теплоты по часам суток. График расхода теплоты приведен на рис. 4.2.

На основании графика расхода теплоты по часам суток строят интегральный график потребления и подачи теплоты.

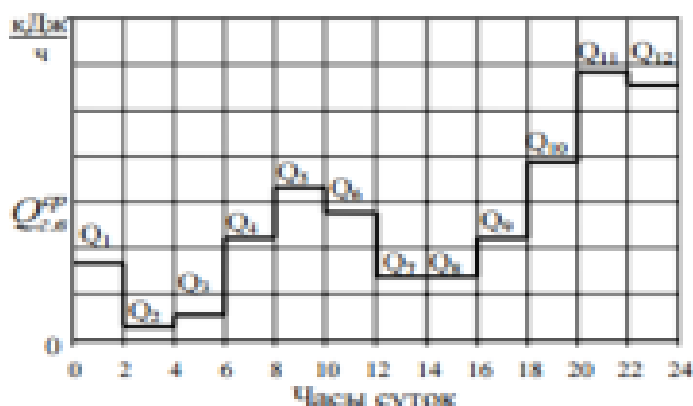


Рис. 4.2. График расхода теплоты по часам суток

## 2.8 Лабораторная работа №8 (2 часа).

**Тема:** Гидравлический расчет подающих теплопроводов системы горячего водоснабжения

### 2.8.1 Цель работы :

- 1.Подготовка стационарного котла к работе
- 2.Организация эксплуатации теплоэнергетических установок и систем.
- 3.Организационная структура теплоэнергетического хозяйства предприятий.
- 4.Организация топливного хозяйства котельных.
- 5.Эксплуатация топочных устройств.
- 6.Контроль над процессом горения.
- 7.Методика теплового расчета топочных устройств на различных видах топлива.

### 2.8.2 Задачи работы:

#### 2.1 УСТАНОВКИ СЖИЖЕННОГО ГАЗА

Установки для использования сжиженного газа могут быть индивидуальные, групповые и резервуарные.

Индивидуальные установки имеют производительность, достаточную для обеспечения работы 4-х конфорочной плиты, или проточного водонагревателя с тепловой нагрузкой при установке баллона в помещении и любом составе жидкого газа и 4-х конфорочной плиты или водонагревателя с тепловой нагрузкой до 10000 ккал/ч при установке баллона на открытом воздухе в средней полосе России и заполнении баллона техническим пропаном. Поэтому расчет производительности индивидуальной баллонной установки не требуется. Без расчета для индивидуальной установки применяется также регулятор давления типа РДГ-6 и газопровод диаметром 15 мм из стальных труб или резиноканавковых плангов.

Групповые установки применяются для газоснабжения отдельных более крупных потребителей (отдельного жилого дома, небольшого предприятия и т.д.) до сооружения резервуарной установки. Суммарная емкость группы баллонов для жилых, общественных зданий и коммунально-бытовых потребителей не должна превышать 600 л при размещении баллонной установки у стен зданий и 1000 л при наличии разрывов от зданий (от 8 до 25 м), а для коммунальных и бытовых предприятий - соответственно 100 и 150 л.

Количество баллонов в групповой установке для жилых зданий определяется по номинальным расходам газа приборами по формуле:

$$N = \frac{q n k_s}{Q_g^* V} \quad (2.1)$$

где  $N$  - количество баллонов в установке, шт;

$q$  - номинальная тепловая нагрузка газовых приборов, установленных в одной квартире, кДж/ч (стр.3, Пешехонов Н.И. "Проектирование газоснабжения");

$n$  - количество обслуживаемых квартир;

$k_s$  - коэффициент одновременности (СНиП 2.04.08—87\*)

$Q_g^*$  - низшая теплота сгорания газа, кДж/м<sup>3</sup>;

$V$  - расчетная производительность одного баллона, м<sup>3</sup>/ч;

Количество баллонов для газоснабжения коммунальных, промышленных и сельскохозяйственных объектов определяется по суммарной номинальной тепловой нагрузке агрегатов с введением коэффициента одновременности, учитывающего возможное уменьшение нагрузки вследствие несопадения времени работы агрегатов. Производительность одного баллона зависит от температуры наружного воздуха, принятой за расчетную, равномерности работы установки и

длительности ее непрерывной работы. В соответствии с существующей практикой проектирования применяется двойной комплект баллонов - один рабочий и один резервный - и предусматривается возможность их раздельной и совместной работы. Резервный комплект должен быть всегда заполнен смесью, т.к. он рассчитан на работу в зимний период. В этом случае при расчете производительности баллона применяют среднюю температуру января.

Резервуарные установки подают газ значительному количеству потребителей по наружной газовой сети. Суммарный геометрический объем резервуаров резервуарной установки при наземном расположении составляет не более  $20\text{ м}^3$ , а при подземном не более  $50\text{ м}^3$ . Максимальный объем одного резервуара при объеме установки до  $20\text{ м}^3$  -  $5\text{ м}^3$ , при объеме установки  $21$ - $50\text{ м}^3$  не более  $10\text{ м}^3$ .

Расчетный расход газа на хозяйственно-бытовые и коммунальные нужды определяется по годовым нормам расхода газа (СНиП)

$$V = \frac{q_{\text{год}} n k_c}{Q_{\text{н}}^r 8760} \quad (2.2)$$

где:  $q_{\text{год}}$  - расход газа на 1 человека,  $\text{кдж/год}$ ;

$n$  - количество жителей, пользующихся газом;

$k_c$  - коэффициент суточной неравномерности за год (при наличии газовых плит = 1,4; при наличии газовых плит и водонагревателей  $k_c = 2,0$ );

$Q_{\text{н}}^r$  - теплота сгорания газа,  $\text{кдж/м}^3$ .

Для отдельных установок и приборов расход газов определяется по номинальным расходам газа и коэффициентам одновременности.

Количество резервуаров в установке определяется

$$N = \frac{\Sigma V}{v} \quad (2.3)$$

где:  $v$  - производительность одного резервуара, определяемая по СНиП

## 2.2 Задачи и примеры

### 2.2.1.

Определить число баллонов емкостью 50 л в баллонной установке, предназначенной для газоснабжения восьми квартирного жилого дома. В кухнях всех квартир установлены 4-х конфорочные газовые плиты. Объемный состав газа:  $\text{C}_3\text{H}_8$  - 75%,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  - 25%.

Решение:

1.  $Q_{\text{н}}^r$  сгорания смеси (без учета фракционности испарения)

$$Q_{\text{н}}^r = 0,75 \cdot Q_{\text{н}}^r + 0,25 \cdot Q_{\text{н}}^r$$

2. Номинальная теплопроизводительность плиты определяется по [7]. Производительность одного баллона составляет  $v = 0,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

3.  $k_0 = 0,27 - [1]$  (принято для 8 квартир, в которых установлены 4-х конфорочные плиты)

4. Число рабочих баллонов в установке:

$$N = \frac{q n k_0}{Q_{\text{газ}}^* v} = \frac{8 \cdot 1000 \cdot 0,27}{23780 \cdot 0,2} = 4,6 \approx 5 \text{ шт.}$$

С учетом резервных принимаем 10 шт.

### 2.2.2

Определить производительность 50 л ( $d = 0,3 \text{ м}$ ,  $h = 0,9 \text{ м}$ ), заполненного сжиженным газом на 75%, при  $t_{\text{ж}} = -5^\circ\text{C}$  температуру жидкой фазы в баллоне максимально допустим ( $-30^\circ\text{C}$ ). Скрытая теплота парообразования  $r = 90 \text{ ккал/кг}$ .

Решение:

$$k = 50,2 \text{ кДж/м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$$

1. Смоченная поверхность баллона:

$$F_{\text{см}} = 0,75 \pi d (0,5d + h) = 0,75 \cdot 3,14 \cdot 0,3 (0,15 + 0,9) = 0,743 \text{ м}^2$$

(при неизменной температуре жидкости)

$$G_{\text{исп}} = \frac{k F_{\text{см}} (t_{\text{ж}} - t_{\text{с}})}{r} = \frac{50,2 \cdot 0,743 (-5 - (-30))}{412} = 2,26 \text{ кг/ч}$$

без учета теплосодержания жидкой фазы и самого баллона.

### 2.2.3

Определить количество испаряющегося в час сжиженного пропана в наземном резервуаре ( $d = 1,0 \text{ м}$  и  $l = 3,3 \text{ м}$ ) при  $t_{\text{ж}} = -6^\circ\text{C}$ , температура жидкой фазы  $t_{\text{с}} = -29^\circ\text{C}$ . Резервуар наполнен жидкой фазой на 50%  $F_{\text{см}} = 5,4 \text{ м}^2$ .

Решение:

$$G_{\text{исп}} = \frac{50,4 \cdot 5,41 \cdot ((-6 - (-29)))}{399} = 17 \text{ кг/ч}$$

### 2.2.4

Определить число подземных резервуаров объемом  $5 \text{ м}^3$  в групповой установке, предназначенной для газоснабжения 4-х жилых домов с числом жителей 500 человек и домовых кухней с суммарной тепловой нагрузкой установленных газовых приборов ( $q = 580 \text{ МДж/ч}$ ). В кухнях квартир установлены 4-х конфорочные плиты и проточные водонагреватели.

Объемный состав газа:  $\text{C}_3\text{H}_8 - 75\%$ ;  $\text{C}_4\text{H}_{10} - 25\%$ ;  $Q_{\text{газ}}^* = 98 \text{ МДж/м}^3$

РЕШЕНИЕ: Расход газа на 1 человека по [1]  $q = 2800 \text{ МДж/год}$

1. Расход газа на домовую кухню

$$V_{\text{к}} = \frac{580000}{98000} = 5,9 \text{ м}^3/\text{ч}$$

2. Расход газа на квартиры:

$$V_{\text{кв}} = \frac{n \cdot K_{\text{га}} \cdot q_{\text{газ}}}{Q_{\text{газ}}^* \cdot 365 \cdot 24} = \frac{500 \cdot 2 \cdot 28000}{98 \cdot 365 \cdot 24} = 9,43 \text{ м}^3/\text{ч}$$

3. Расход газа на резервуары



$$V_r = V_k + V_{кп} = 5,9 + 9,43 = 15,33 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Принимаем давление в резервуаре 0,05 МПа, остаточное содержание  $C_3H_8$  – 60%, температура грунта на уровне оси резервуара  $0^\circ\text{C}$ , коэффициент теплопроводности грунта 2,56 Вт/(м К). Остаточный уровень сжиженного газа в емкости 35%. По номограмме [1] находим производительность одного резервуара, равную  $3,0 \text{ м}^3/\text{ч}$

Число резервуаров в установке:  $N = 15,33/3 = 5$  шт.

### 2.2.5

Определить количество подземных резервуаров емкостью  $2,5 \text{ м}^3$  в групповой установке, предназначенной для газоснабжения жилого дома со 100 квартирами, оборудованными 4-х конфорочными плитами. Газ  $C_3H_8$

$$Q_{\text{г}}^* = 91,14 \text{ МДж/м}^3.$$

$v$  – производительность одного резервуара,  $5,5 \text{ м}^3/\text{ч}$

$$N = \frac{n \cdot q \cdot K_1}{Q_{\text{г}}^* \cdot v} = \frac{100 \cdot 41,9 \cdot 0,26}{91,14 \cdot 5,5} = 2,2 \text{ шт}$$

## 2.3 Точка росы.

Конденсация насыщенного пара определяется по температуре точки росы. Незначительное сжатие насыщенного пара при  $t = \text{const}$  или охлаждения при  $P = \text{const}$  приводят к перенасыщению - выпадает роса.

Температура точки росы определяет минимальную температуру, при которой целесообразно производить распределение смеси пропан - бутановых газов по трубопроводам.

Определение точки росы паров смесей углеводородов, находящихся под атмосферным давлением, производят графическим методом по номограмме. Номограмма В.Черли., в которой можно определить зависимость точки росы от состава смеси  $C_3H_8$ ,  $n\text{-}C_4H_{10}$  и  $\text{изо-}C_4H_{10}$  приводится в учебнике "Газификация городов сжиженными газами" (стр.340 И.Д. Букшун.)

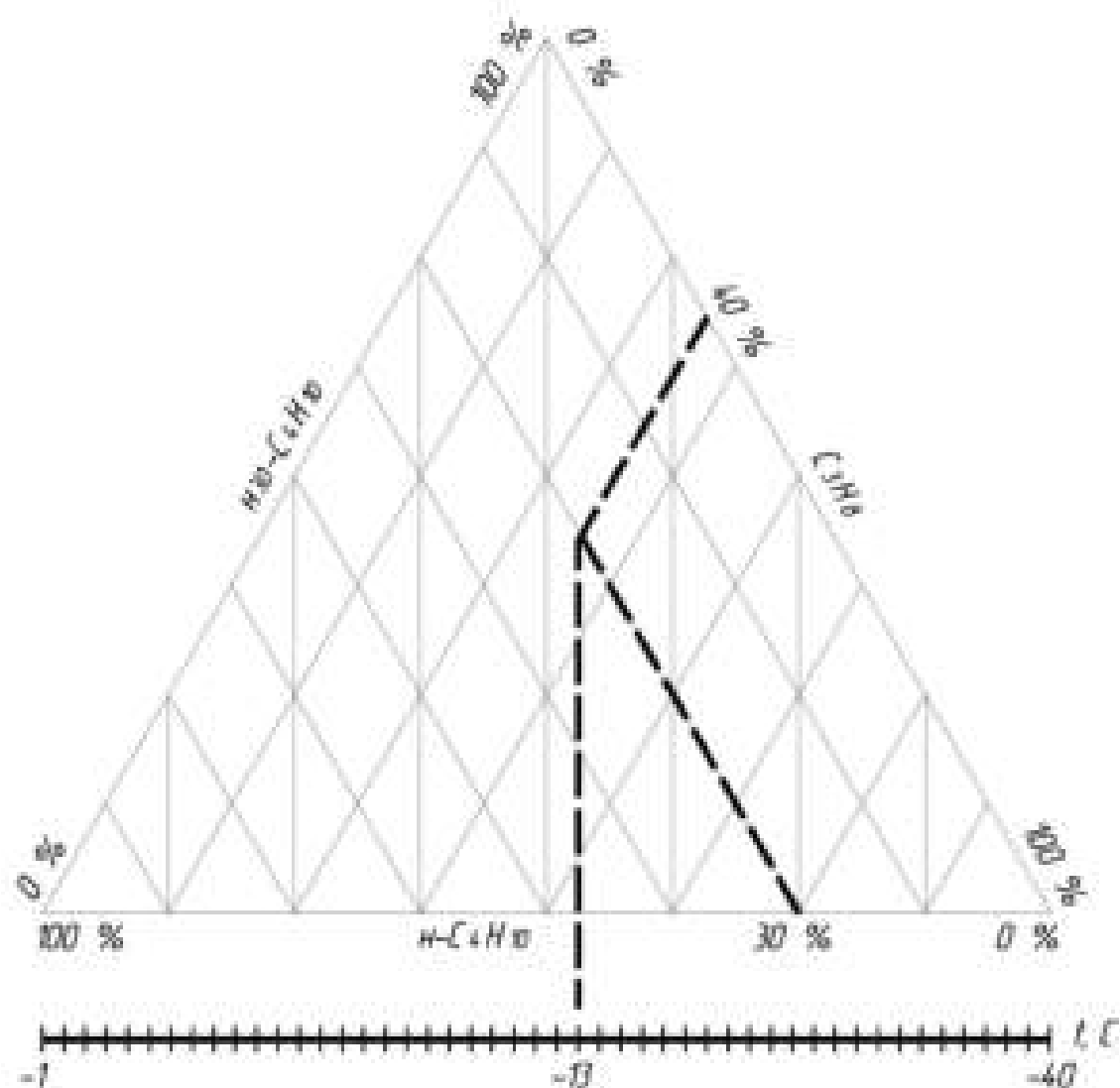


Рис 3.1 - Номограмма В. Черли, определение точки росы

Для определения точки росы смеси необходимо найти пересечение линий процентного содержания двух компонентов с вертикальной линией точки росы, значения которой отложены на линии, параллельной содержанию н-бутана.

**ПРИМЕР.** Найти точку росы для смеси, содержащей пропан - 40%, н-бутан - 30% и изобутан - 20%.

**Решение:** Достаточно найти пересечение линии, соответствующей 40%  $C_3H_8$  с линией, соответствующей 30%  $n-C_4H_{10}$ .

Опустив из точки пересечения вертикальную прямую на шкалу температур,

находим точку росы смеси  $t_{\text{р}} = -13^\circ\text{C}$ .

## **2.9 Лабораторная работа №9, 10 (4 часа).**

**Тема:** Основные свойства и состав газообразного топлива

### **2.9.1 Цель работы :**

- 1.Подготовка стационарного котла к работе
- 2.Организация эксплуатации теплоэнергетических установок и систем.
- 3.Организационная структура теплоэнергетического хозяйства предприятий.
- 4.Организация топливного хозяйства котельных.
- 5.Эксплуатация топочных устройств.
- 6.Контроль над процессом горения.
- 7.Методика теплового расчета топочных устройств на различных видах топлива.

### **2.9.2 Задачи работы:**

### Тема: Диаграмма состояния

Одним из положительных свойств углеводородных газов - его способность сжижения при сравнительно небольшом повышении давления. Поэтому при использовании сжиженных газов имеет место переход из одного фазового состояния в другое. При расчете процесса и оборудования испаряющих сжиженных газов необходимо исходить из свойств жидкой и паровой фаз с учетом особенностей фазовых превращений.

С допустимой для практики точностью эти расчеты выполняются по диаграммам состояния углеводородов.

По ним можно определить: упругость паров при данной температуре, давление перегретых паров (газовой фазы) при данных условиях, удельный объем и плотность жидкой, паровой и газовой фаз, их теплосодержание (энтальпию), теплоту парообразования, степень сухости и влажности пара, работу сжатия газа компрессором и повышение температуры при сжатии, эффект охлаждения жидкости и газа при снижении давления (дросселировании), теплоемкость при  $P = \text{const}$  или  $V = \text{const}$  для жидкой, паровой и газовой фаз, скорость истечения газа из сопел газогорелочных устройств.

Диаграммы построены для  $C_3H_8$ , изо- $C_4H_{10}$  и н- $C_4H_{10}$ . Диаграмму состояния строят на полудюлогарифмической сетке из горизонтальных линий постоянного абсолютного давления (изобары) и вертикальных линий постоянного теплосодержания (энтальпии,  $i$ , ккал/кг). На сетку диаграммы нанесены следующие точки и линии.

1. Точка «К» - критические состояния данного углеводорода по критическому давлению и критической температуре. Температура, выше которой данный газ не может быть сжижен ни каким повышением давления, называется критической температурой данного газа. Давление, необходимое для сжижения при этой критической температуре, называется критическим давлением.

2. Пограничная кривая ПКЖ, проходящая через точки критического состояния и делящая диаграмму на три зоны: I зона - жидкая фаза; II зона - парожидкостная смесь; III зона - газовая смесь. Ветвь ЖК характеризует состояние насыщенной жидкости при различных давлениях «КП»

3. Кривые сухости пара КХ, которые выходят из критической точки «К» и характеризуют долю пара в двухфазной системе, кг/кг ( $X = 0,1 \dots$ ).

4. Линии  $t = \text{const}$  (изотермы) изображены ломаной кривой с горизонтальным участком ЕМ ( $t = \text{const}$  и  $P$  при кипении жидкой фазы). Изотермы температур выше критических для данного углеводорода ТЕ. Эти линии не пересекают линию насыщенного пара и при этих температурах газ не удастся перевести в сжиженное состояние.

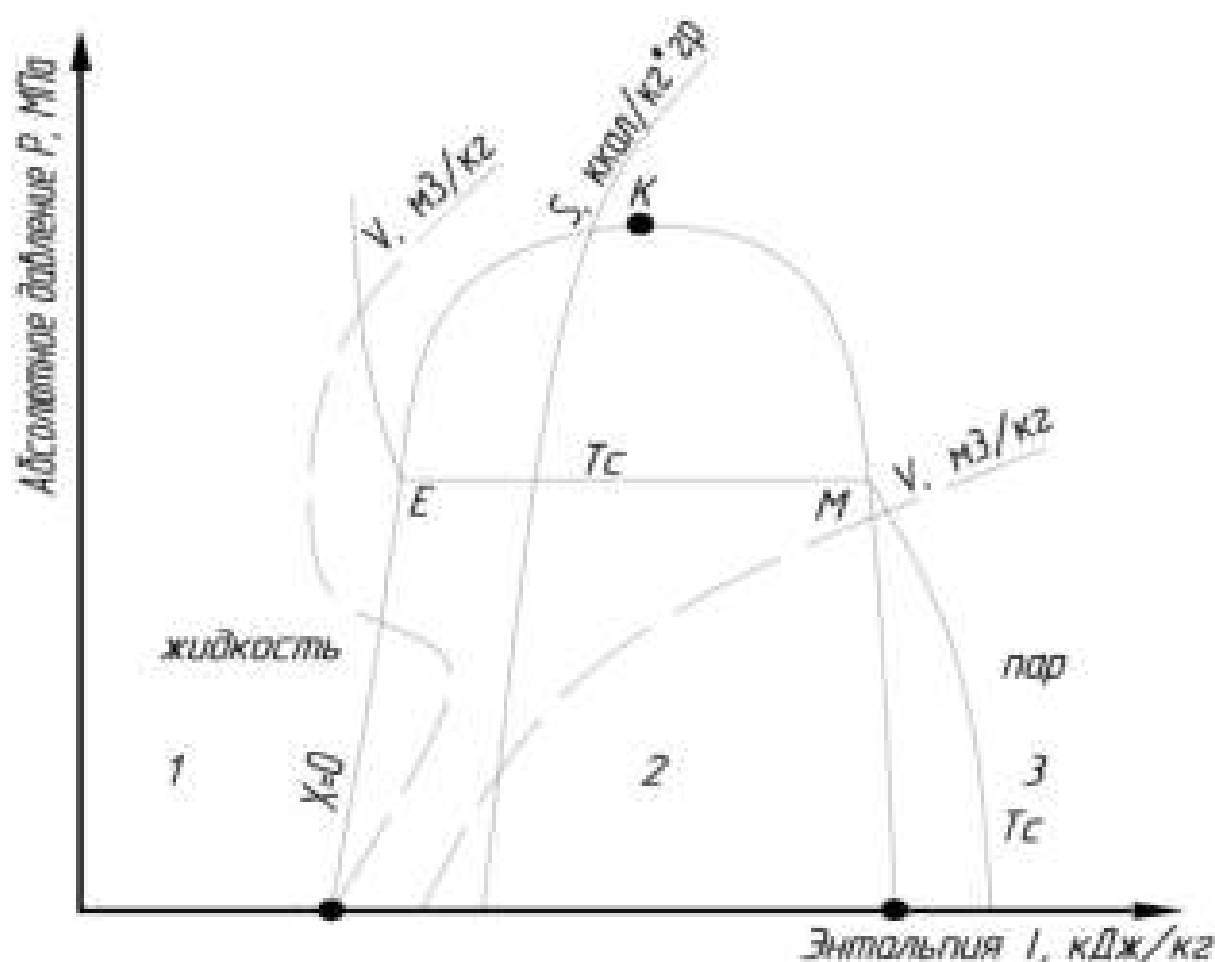


Рис 1.1 - Диаграмма состояния углеводородов

5. Линии постоянных удельных объемов ( $V$ ) - изохоры, м³/кг. Эти же линии соответствуют постоянной плотности.  $\rho = \text{const}$ .

6. Линии постоянной энтропии  $S$  (адиабаты) используются для определения параметров углеводорода при сжатии его в декомпрессоре и при истечении из сопел горелок.

### 3.2 Задачи и примеры

#### 3.2.1

Определить упругость насыщенных паров жидкого пропана, находящегося в резервуаре, если  $t_x = -10^\circ\text{C}$ .

Решение;

Пересечение линии постоянной температуры равно  $t = -10^\circ\text{C}$  с пограничной кривой насыщенного пара. На оси ординат:  $P = 3,5$  ата

#### 3.2.2.

Определить удельный объем и плотность жидкой и паровой фазы пропана при условии примера № 1.

Решение:

Удельный объем жидкого пропана находится в точке пересечения линии  $t = \text{const} = -20^\circ\text{C}$  с пограничной линией насыщенной жидкости, а удельный объем насыщенных паров в точке пересечения с линией насыщенного пара.

$$V_{\text{ж}} = 0,0018 \text{ м}^3/\text{кг}; \quad \rho_{\text{ж}} = \frac{1}{0,0018} = 554 \text{ кг/м}^3;$$

$$V_{\text{п}} = 0,13 \text{ м}^3/\text{кг}; \quad \rho_{\text{п}} = \frac{1}{0,13} = 7,7 \text{ кг/м}^3$$

3.2.3.

Определить скрытую теплоту испарения жидкости пропана при условии примера № 1.

Решение:  $\gamma = i_{\text{н.п.}} - i_{\text{ж}}$

пересечение линии постоянной температуры с пограничными кривыми

$$i_{\text{ж}} = 15 \text{ ккал/кг}; \quad r = 110 - 15 = 95 \text{ ккал/кг};$$

$$i_{\text{н.п.}} = 110 \text{ ккал/кг}.$$

3.2.4.

После заполнения баллона пропаном объем жидкости фазы составил 90% объема баллона. Температура  $t = 15^\circ\text{C}$ . С повышением температуры объем паровой подушки будет уменьшаться. Определить, при какой температуре баллон будет полностью заполнен жидкостью?

Решение: При  $t = 15^\circ\text{C}$ ;

$$\rho_{\text{ж}} = \frac{1}{0,00197} = 0,507 \text{ кг/л}$$

Тогда количество жидкого  $\text{C}_3\text{H}_8$  в баллоне будет:

$$M_{\text{ж}} = 0,507 \times 0,9V = 0,456 \times V$$

( $V$  - объем баллона в л)

$$\rho_{\text{п}} = \frac{1}{0,075} = 13,6 \text{ кг/м}^3$$

Количество парообразного пропана в баллоне

$$M_{\text{п}} = 13,6 \times 0,1 \times \frac{V}{1000} \text{ кг}$$

Делим на 1000 для перевода из л в  $\text{м}^3$ .

Общее количество  $\text{C}_3\text{H}_8$  в баллоне:

$$M = (0,514 \times 0,9 + \frac{1,36}{1000}) \times V = (0,465 + 0,0014)V = 0,466V \text{ кг}$$

Доля массы паровой фазы составляет = 3%.

Определим плотность жидкости, когда она полностью заполнит баллон:

$$\rho_{\text{ж}} = \frac{M}{V} = \frac{0,466 \times V}{V} = 0,466 \text{ кг/л}$$

$$V = \frac{1}{0,466} = \frac{2,15}{1000} = 0,00215 \text{ м}^3/\text{кг}$$

По диаграмме находим:  $t \approx 40^\circ\text{C}$ .

Следовательно, при  $t \approx 40^\circ\text{C}$  паровая подушка исчезнет, и при дальнейшем повышении температуры жидкость будет расширяться, расти давление в баллоне и напряжение его стенок, что может привести к разрыву баллона.

### 3.2.5.

В баллоне емкостью  $V = 50$  л под давлением насоса заливают 20 кг  $\text{C}_3\text{H}_8$ . После установления термодинамического и теплового равновесия температура баллона и  $\text{C}_3\text{H}_8 = 15^\circ\text{C}$ . Определить  $P$ , которое установилось в баллоне, количество и объем жидкости и паровой фаз.

Решение:

1. Предположим, что в баллоне образовалась паровая подушка, тогда давление  $P$  в нем будет равно давлению насыщения для  $\text{C}_3\text{H}_8$  при температуре  $t = 15^\circ\text{C}$ . Если в баллоне однородная система (жидкость), то давление может быть  $> P_{\text{нас}}$ .

По диаграмме:  $P_{\text{нас}} = P_{\text{нас}} = 7,8$  ата(абс.)

2. Определяем плотность жидкой и паровой фаз при давлении насыщения (по нижней и верхней пограничным кривым):

$$\rho_{\text{ж}} = \frac{1}{0,00197} = \frac{500}{1000} = 0,507 \text{ кг/л};$$

$$\rho_{\text{п}} = \frac{1}{0,07} = 15,51 \text{ кг/м}^3$$

3. Определим объем паровой подушки  $V_{\text{п}}$  и жидкости  $V_{\text{ж}}$ , учитывая, что их суммарная масса равна 20 кг, а  $V_{\text{п}} + V_{\text{ж}} = 50$  л.

$$\frac{V_{\text{п}}}{1000} \times 15,51 + (50 - V_{\text{п}}) \times 0,507 = 20$$

$$V_{\text{п}} = 10,9 \text{ л}; V_{\text{ж}} = 50 - 10,9 = 39,1 \text{ л}$$

4. Определим массы пара и жидкости:

$$M_{\text{п}} = \frac{10,9}{1000} \times 15,51 = 0,17 \text{ кг};$$

$$M_{\text{ж}} = 39,1 \times 0,507 = 19,83 \text{ кг}$$

### 3.2.6.

Температура пропана в баллоне  $t = 30^\circ\text{C}$ . Пары его проходят через регулятор, где их давление снижается до 0,128 МПа (1,28 ата). Определить температуру  $\text{C}_3\text{H}_8$  после регулятора и величину перегрева паров.

Решение:

1. Из баллона выходит насыщенный пар, поэтому его состояние в диаграмме будет соответствовать точке пересечения изотермы  $t = 30^{\circ}\text{C}$  и пограничной кривой пара:  $P = 10,1$  ата.

2. Процесс дросселирования на клапане протекает при постоянной энтальпии, т.е. при  $i = \text{const}$ . Поэтому для определения конечного состояния через точку 1 проводим линию до пересечения с линией  $P_n = 1,28$  ата. Через эту точку проходит изотерма  $t = 9^{\circ}\text{C}$ . Температура  $\text{C}_3\text{H}_8$  при этом снижается на  $30 - 9 = 21^{\circ}\text{C}$ .

Несмотря на снижение температуры  $\text{C}_3\text{H}_8$  пар перегревается т.к. давление  $P_n = 1,28$  ата, соответствует  $t_n = -38^{\circ}\text{C}$ . Следовательно, перегрев пара составит  $\Delta t_{\text{пер}} = 9 - (-38) = 47^{\circ}\text{C}$ .

3.2.7.

Определить количество пара, которое образуется при дросселировании жидкости  $\text{C}_3\text{H}_8$  от 8 до 2 ата и температуру в начале и в конце дросселирования.

Решение:

Дросселирование жидкости происходит по линии  $i = \text{const}$  от 8 до 2 ата. Точка 2 пересекается с линией истинной сухости.  $X'$  показывает количество пара, образовавшегося в результате дросселирования жидкости.

Это количество равно  $0,25 \text{ кг/кг } t = -25^{\circ}\text{C}$ .

## 2.10 Лабораторная работа №11, 12 (4 часа).

Тема: Горение газов. Защита газопроводов от коррозии

### 2.10.1 Цель работы :

1. Подготовка стационарного котла к работе
2. Организация эксплуатации теплоэнергетических установок и систем.
3. Организационная структура теплоэнергетического хозяйства предприятий.
4. Организация топливного хозяйства котельных.
5. Эксплуатация топочных устройств.
6. Контроль над процессом горения.
7. Методика теплового расчета топочных устройств на различных видах топлива.

### 2.10.2 Задачи работы:



## 4.1 ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ

### 4.1.1.

Определить работу, необходимую для сжатия 1 кг насыщенных паров  $C_3H_8$  от 0,2 до 0,8 МПа. и  $t_k$  пара (в конце процесса). Процесс сжатия протекает по линии постоянной энтропии.

РЕШЕНИЕ:

Практическая работа сжатия определяется разностью энтальпий в конце и в начале процесса.

$$\Delta i_{сж} = i_k - i_n = 520 - 460 = 60 \text{ кДж/кг}$$

Температура пара в конце процесса равна  $+25^\circ\text{C}$ .

### 4.1.2.

Определить упругость паров  $P_{НАС}$   $C_3H_8$  и плотность его жидкой и паровой фаз.  $C_3H_8$  находится в баллоне при  $t = -25^\circ\text{C}$ ,  $0^\circ\text{C}$ ,  $+16^\circ\text{C}$ ,  $+25^\circ\text{C}$ .

РЕШЕНИЕ.

$$1. \text{ при } t = -25^\circ\text{C}; P_{НАС} = 0,2 \text{ МПа}; \rho_{ж} = \frac{1}{V_g} = \frac{1}{1678} = 0,562 \text{ кг/л};$$

$$\rho_{п} = \frac{1}{V_{г}} = \frac{1}{0,22} = 4,45 \text{ кг/м}^3$$

$$\text{при } t = 16^\circ\text{C}; P_{НАС} = 0,2 \text{ МПа } \rho_{ж} = 0,501 \text{ кг/л}; \rho_{п} = 15,4 \text{ кг/м}^3$$

Из расчетов видно, что с повышением температуры упругость паров  $C_3H_8$  существенно увеличивается, плотность пара также растет, а плотность жидкой фазы уменьшается.

## 4.2. МЕТОДЫ НАПОЛНЕНИЯ ХРАНИЛИЩ.

Требуемая разность уровней для надежного обеспечения слива сжиженного газа определяется:

$$H_r = \frac{10^5 (P_r - P_n)}{\rho_{ж.сг}} \text{ м}; H_{r,из} = \Delta H_r + (13 + 20), \text{ м}$$

где  $P_r$  - давление в стационарном резервуаре;

$P_n$  - давление в цистерне, кгс/см<sup>2</sup>;

$\rho_{ж.сг}$  - плотность жидкой фазы, кгс/л.

### 4.2.1.

В зимних условиях при  $t = -25^\circ\text{C}$  необходимо слить сжиженный газ ( $C_3H_8$ ) с плотностью жидкой фазы, 0,52 кгс/л в подземную емкость с температурой грунта, равной  $-5^\circ\text{C}$ . Определить необходимую разницу уровней.

РЕШЕНИЕ:

Давление  $P_f$  для  $t = -5^{\circ}\text{C}$  (по диаграмме) равно 0,399 МПа,  $P_{\text{ж}}$  для  $t = -25^{\circ}\text{C}$  равно 0,197 МПа.

$$\Delta H_f = \frac{10^3(0.399 - 0.197)}{0,51} = 39,6$$

т.е. цистерна может располагаться ниже резервуара на

$$H = 39,6 + (13+20) = 52,6+59,6\text{м}$$

#### 4.2.2

В летних условиях при  $t=25^{\circ}\text{C}$  необходимо слить сжиженный пропан  $\text{C}_3\text{H}_8$  с  $\rho_{\text{ж}}=0,51$  кг/л в подземную емкость с  $t=10^{\circ}\text{C}$ .

Определить необходимую разность уровней.

РЕШЕНИЕ:

Давление  $D_y$  для  $t=25^{\circ}\text{C}$  по диаграмме равно 0,951 МПа, для  $P_f$  при  $t=10^{\circ}\text{C}$  составляет 0,629 МПа.

$$\Delta H_f = \frac{10^3(0.629 - 0.951)}{0,51} = -62 \text{ м}$$

т.е. цистерна может располагаться ниже резервуара на

$$H = -62 + (13+20) = -49 + -42 \text{ м}$$

#### 4.2.3.

Определить мощность холодильной установки для обеспечения работы изотермического резервуара емкостью  $G_{\text{р.ск}} = 1000$  т при поступлении по железной дороге 6 цистерн с  $\text{C}_3\text{H}_8$  в сутки. Скорость слива 35 т/ч,  $t_{\text{ж}} = 20^{\circ}\text{C}$ .

Решение: Мощность холодильной установки на сжижение газа, испаряющегося в резервуаре в период его хранения, составляет 0,3 - 0,5%.

$$Q_{\text{ж}} = \frac{0,005 \cdot G_{\text{р.ск}} \cdot r}{24} = \frac{0,005 \cdot 10^6 \cdot 90}{24} = 18750 \text{ ккал/ч}$$

где:  $r$  - теплота испарения пропана, равная 90 ккал/кг;

0,005(0,3-0,5%) - часть испаряющегося газа в резервуаре при его хранении.

Основное поступление тепла в хранилище происходит с жидкой фазой, подаваемой для наполнения резервуара:

$$Q_y = V_y \cdot (t_y - t_p)$$

где:  $V_y$  - скорость наполнения резервуара, кг/ч

$t_y$  - температура жидкой фазы, подаваемой в резервуар,  $^{\circ}\text{C}$

$t_p$  - температура жидкой фазы в резервуаре ( $-42^{\circ}\text{C}$ ).

2. Поступление тепла с жидкой фазой из железнодорожной цистерны:

$c = 0,53$  ккал/кг  $^{\circ}\text{C}$

$$Q_y = 35000 \times 0,53 ((20 - 9-42)) = 1150000 \text{ ккал/ч}$$

Мощность холодильной установки:

$$Q_y = Q_y + Q_{\text{ж}} = 1150000 + 18750 = 1168750 \text{ ккал/ч}$$

## 2.11 Лабораторная работа №13, 14 (4 часа).

Тема: Регуляторы давления газа

### 2.11.1 Цель работы :

- 1.Подготовка стационарного котла к работе
- 2.Организация эксплуатации теплоэнергетических установок и систем.
- 3.Организационная структура теплоэнергетического хозяйства предприятий.
- 4.Организация топливного хозяйства котельных.
- 5.Эксплуатация топочных устройств.
- 6.Контроль над процессом горения.
- 7.Методика теплового расчета топочных устройств на различных видах топлива.

### 2.11.2 Задачи работы:

Тема: Горение газов

#### 6.1. Температура горения

В топочной практике существует следующая классификация температур горения:

Жаропроизводительность, °C:

$$t_{ж} = \frac{Q_p^H}{\Sigma V_{п.с} c}; \quad (6.1)$$

где:  $Q_p^H$  - низшая теплота сгорания газообразного топлива, кДж/м<sup>3</sup>;

$V_{п.с}$  - объемы продуктов сгорания, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

$c$  – средние, объемные теплоемкости продуктов сгорания при  $P = const$  кДж/(м<sup>3</sup> \* град).

Калориметрическая, °C

$$t_{ка} = \frac{Q_p^H + t_{гв} \Sigma V_{гв} C_{гв} + \alpha V_{гв} C_{гв} t_{гв}}{\Sigma V_{п.с} C} \quad (6.2)$$

где:  $t_{гв}$  и  $t_{гв}$  - температура газообразного топлива и воздуха, °C

$C_{гв}$  и  $C_{гв}$  - соответственно средние объемные теплоемкости газа и воздуха

$\alpha$  - коэффициент избытка воздуха.

Под калориметрической температурой сгорания понимают температуру, до которой нагрелись бы продукты полного сгорания, если бы все тепло топлива и воздуха пошло на их нагревание.

Теоретическая, °C:

$$t_{те} = \frac{Q_p^H + t_{гв} \Sigma V_{гв} C_{гв} + \alpha V_{гв} C_{гв} t_{гв} - q_{дис}}{\Sigma V_{п.с} C} \quad (6.3)$$

где:  $q_{дис}$  - потери тепла на диссоциацию продуктов полного сгорания, кДж/м<sup>3</sup>

Действительная, °C

$$t_{д} = \alpha \cdot t_{те} \quad (6.4)$$

где:  $\alpha = 1.1 - 1.2$

#### 6.2 ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ

##### 6.2.1.

Определить калориметрическую температуру сгорания природного газа следующего состава, %: CH<sub>4</sub> - 98; C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> - 0,14; C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> - 0,014; C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> - 0,02; CO<sub>2</sub> - 0,5; N<sub>2</sub> - 2,3;  $Q_p^H = 35235$  кДж/м<sup>3</sup>. Температуру газа и воздуха поступающих в топку, принять равной 25°C.

Состав продуктов сгорания и теплоту сгорания взять из табл. 6.1.  
Состав газа принять для каждого студента по табл. 5.1.

Таблица 6.1.

№ по списку	Состав продуктов сгорания по объему, %						
	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Q <sub>p</sub> <sup>II</sup> кДж/м <sup>3</sup>
0	9,4	0,2	0,1	-	4	86,3	37821
1	9,2	1,6	1,1	0,5	2,4	85,2	38364
2	11,2	-	-	-	1,1	87,7	35695
3	10,4	1,5	1,5	3	-	83,6	33475
4	7	-	-	-	8,5	84,5	35128
5	9,3	0,2	0,1	0,1	3,9	86,4	36664
6	5,6	-	-	-	11	83,4	37404
7	9	-	-	-	5	86,0	38739
8	8,5	0,3	0,2	0,1	5,5	85,4	37124
9	10	-	-	-	3,2	86,8	36722

Решение:

Определяем тепло, вносимое в точку топливом и воздухом:

$$I_T = i_T \Sigma V_T C_T = 25 \cdot (0,98 \cdot 1,573 + 0,0014 \cdot 2,4381 + 0,0004 \cdot 3,1637 + 0,0002 \cdot 4,2728 + 0,005 \cdot 1,625 + 0,013 + 1,2992) = 39 \text{ (кДж/м}^3\text{)}$$

$$I_a = \alpha \cdot V_a C_a t_a = 1,1 \cdot 10,3 \cdot 1,2976 = 366,4 \text{ (кДж/м}^3\text{)}$$

$$Q_p^c + I_T + I_a = 35235 + 39 + 366,4 = 35640 \text{ (кДж/м}^3\text{)}$$

Как следует из расчета, физическое тепло воздуха и газа составляет весьма малую величину по сравнению с  $Q_p^c$ . Эти составляющие будут иметь существенное значение при подогреве газа и воздуха.

2. Определяем  $t_a$ . Задаемся  $t_a = 1890^\circ\text{C}$  для того, чтобы найти удельные теплоемкости газов по табл. 16.2 [2]

$$C_{H_2} = 1,4814; C_{O_2} = 1,5609; C_{CO_2} = 2,4058; C_{H_2O} = 1,9402$$

Объем продуктов сгорания составляет:

$$V_{H_2} = 8,153; V_{O_2} = 0,197; V_{CO_2} = 0,9898; V_{H_2O} = 2,095$$

$$t_a = \frac{35640}{8,153 \cdot 1,4814 + 0,197 \cdot 1,5609 + 0,9898 \cdot 2,4058 + 2,095 \cdot 1,9402} = 1890^\circ\text{C.}$$

Полученная  $t_a$  совпадает с принятой, поэтому пересчета не проводим.

6.3. Концентрационные пределы взрываемости газозоудных смесей.

$$L = \frac{100}{\frac{L_1}{l_1} + \frac{L_2}{l_2} + \dots + \frac{L_n}{l_n}} \quad (6.5)$$

где: L- низкий (или высокий) предел взрываемости смеси газов;

$l_1, l_2, \dots, l_n$  - низкий (высший) предел взрываемости каждого отдельного газа;

$r_1, r_2 \dots r_n$  - процентное содержание по объему газа в смеси.

## ПРИМЕР

### 6.3.1.

Определить пределы взрываемости смеси воздуха с газом состава:  $\text{CH}_4$  - 93,2%;  $\text{C}_2\text{H}_6$  - 2%;  $\text{C}_3\text{H}_8$  - 0,4%;  $\text{N}_2$  - 4,4%

РЕШЕНИЕ:

Пользуясь данными табл. 8[3] находим:

$$L_{\text{н}} = \frac{100}{\frac{93,2}{5,3} + \frac{2}{3} + \frac{0,4}{2,1}} = 5,4\%$$

$$L_{\text{верх}} = \frac{100}{\frac{93,2}{15} + \frac{2}{14} + \frac{0,4}{9,5}} = 15,5\%$$

### 6.3.2.

Определить нижний и верхний пределы воспламеняемости газа следующего состава:  $\text{H}_2$  - 40%;  $\text{CO}$  - 10%;  $\text{CH}_4$  - 20%;  $\text{CO}_2$  -  $\text{N}_2$  = 30%.

РЕШЕНИЕ: горючая часть газа составляет  $100 - 30 = 70\%$ .

Состав горючей части без балластных примесей:

$$\text{H}_2 = \frac{40}{70} * 100 = 57,2\%; \text{CO} = \frac{10}{70} * 100 = 14,3\%; \text{CH}_4 = \frac{20}{70} * 100 = 28,5\%$$

$$L_{\text{н}}^r = \frac{100}{\frac{57,2}{4} + \frac{14,3}{12,5} + \frac{28,5}{5}} = 4,7\%$$

$$L_{\text{в}}^r = \frac{100}{\frac{57,2}{4} + \frac{14,3}{12,5} + \frac{28,5}{5}} = 33\%$$

$$L_{\text{н}}^n = 4,7 \frac{(1 + \frac{0,3}{1-0,3})100}{100 + 4,7 \frac{0,3}{1-0,3}} = 6,5\%$$

$$L_{\text{в}}^n = 33 \frac{(1 + \frac{0,3}{1-0,3})100}{100 + 33 \frac{0,3}{1-0,3}} = 42\%$$

## 6.4 Скорость распространения пламени

Можно приближенно определить величину скорости распространения пламени для смеси сложного газа с воздухом:

$$W = \alpha \frac{\frac{r_1 W_1}{l_1} + \frac{r_2 W_2}{l_2} + \dots + \frac{r_n W_n}{l_n}}{r_1 + r_2 + \dots + r_n} \quad (6.6)$$

где:  $W$  - максимальная скорость распространения пламени сложной газо-воздушной смеси, м/сек;

$L$  - содержание сложного газа в смеси, дающей максимальную скорость распространения пламени, %;

$r_1, r_2, \dots, r_n$  - содержание простых газов в техническом газе, %;

$W_1, W_2, W_n$  - максимальная скорость распространения пламени простых газов в газовой смеси, м/с;

$l_1, l_2, \dots, l_n$  - содержание простых газов в смеси с воздухом, дающие максимальную скорость распространения пламени, %

Действительную скорость распространения пламени м/сек с учетом содержания в газе балластных примесей можно приближенно определить по следующей формуле:

$$W_d = W * (1 - 0,01N_2 - 0,012CO_2) \quad (6.7)$$

где:  $W$  - максимальная скорость распространения пламени горючей смеси, м/сек;

$N_2; CO_2$  - содержание в газе азота и углекислоты, %

### ПРИМЕР

#### 6.4.1.

Определить максимальную скорость распространения пламени в трубке диаметром 25 мм сланцевого газа следующего состава:  $H_2$  - 38,75%;  $CH_4$  - 23,86%;  $CO$  - 10,91%;  $C_nH_m$  - 5,4%;  $CO_2$  - 18,78%;  $N_2$  - 2,0%.

РЕШЕНИЕ: Горючая смесь газа составляет

$$100 - (18,78 + 2) = 79,22\%$$

Состав горючей смеси без балластных примесей

$$H_2 = \frac{38,75}{79,22} * 100 = 49,0\%; CH_4 = \frac{23,86}{79,22} * 100 = 30\%; CO = \frac{10,91}{79,22} * 100 =$$

$$30\%; C_nH_m = \frac{5,4}{79,22} * 100 = 7,2\%;$$

По формуле 6.5 определить:

$$L^r = \frac{100}{\frac{49}{38,5} + \frac{30}{9,8} + \frac{13,8}{45} + \frac{7,2}{7,1}} = 18,5\%$$

$l_1, l_2, l_n$  определяются по табл. 50 [3].

## 6.4 Скорость распространения пламени

Можно приближенно определить величину скорости распространения пламени для смеси сложного газа с воздухом:

$$W = \alpha \frac{\frac{r_1 W_1}{l_1} + \frac{r_2 W_2}{l_2} + \dots + \frac{r_n W_n}{l_n}}{r_1 + r_2 + \dots + r_n} \quad (6.6)$$

где:  $W$  - максимальная скорость распространения пламени сложной газо-воздушной смеси, м/сек;

$L$  - содержание сложного газа в смеси, дающей максимальную скорость распространения пламени, %;

$r_1, r_2, \dots, r_n$  - содержание простых газов в техническом газе, %;

$W_1, W_2, W_n$  - максимальная скорость распространения пламени простых газов в газовой смеси, м/с;

$l_1, l_2, \dots, l_n$  - содержание простых газов в смеси с воздухом, дающие максимальную скорость распространения пламени, %

Действительную скорость распространения пламени м/сек с учетом содержания в газе балластных примесей можно приближенно определить по следующей формуле:

$$W_d = W * (1 - 0,01N_2 - 0,012CO_2) \quad (6.7)$$

где:  $W$  - максимальная скорость распространения пламени горючей смеси, м/сек;

$N_2; CO_2$  - содержание в газе азота и углекислоты, %

### ПРИМЕР

#### 6.4.1.

Определить максимальную скорость распространения пламени в трубке диаметром 25 мм сланцевого газа следующего состава:  $H_2$  - 38,75%;  $CH_4$  - 23,86%;  $CO$  - 10,91%;  $C_2H_6$  - 5,4%;  $CO_2$  - 18,78%;  $N_2$  - 2,0%.

РЕШЕНИЕ: Горючая смесь газа составляет

$$100 - (18,78 + 2) = 79,22\%$$

Состав горючей смеси без балластных примесей

$$H_2 = \frac{38,75}{79,22} * 100 = 49,0\%; \quad CH_4 = \frac{23,86}{79,22} * 100 = 30\%; \quad CO = \frac{10,91}{79,22} * 100 =$$

$$30\%; \quad C_2H_6 = \frac{5,4}{79,22} * 100 = 7,2\%;$$

По формуле 6.5 определили:

$$L^U = \frac{100}{\frac{49}{38,5} + \frac{30}{9,8} + \frac{13,8}{45} + \frac{7,2}{7,1}} = 18,5\%$$

$l_1, l_2, l_n$  определяются по табл. 50 [3].

## 6.4 Скорость распространения пламени

Можно приближенно определить величину скорости распространения пламени для смеси сложного газа с воздухом:

$$W = \alpha \frac{\frac{r_1 W_1}{l_1} + \frac{r_2 W_2}{l_2} + \dots + \frac{r_n W_n}{l_n}}{r_1 + r_2 + \dots + r_n} \quad (6.6)$$

где:  $W$  - максимальная скорость распространения пламени сложной газо-воздушной смеси, м/сек;

$L$  - содержание сложного газа в смеси, дающей максимальную скорость распространения пламени, %;

$r_1, r_2, \dots, r_n$  - содержание простых газов в техническом газе, %;

$W_1, W_2, W_n$  - максимальная скорость распространения пламени простых газов в газовой смеси, м/с;

$l_1, l_2, \dots, l_n$  - содержание простых газов в смеси с воздухом, дающие максимальную скорость распространения пламени, %

Действительную скорость распространения пламени м/сек с учетом содержания в газе балластных примесей можно приближенно определить по следующей формуле:

$$W_d = W * (1 - 0,01N_2 - 0,012CO_2) \quad (6.7)$$

где:  $W$  - максимальная скорость распространения пламени горючей смеси, м/сек;

$N_2, CO_2$  - содержание в газе азота и углекислоты, %

### ПРИМЕР

#### 6.4.1.

Определить максимальную скорость распространения пламени в трубке диаметром 25 мм сланцевого газа следующего состава:  $H_2$  - 38,75%;  $CH_4$  - 23,86%;  $CO$  - 10,91%;  $C_3H_8$  - 5,4%;  $CO_2$  - 18,78%;  $N_2$  - 2,0%.

Решение: Горючая смесь газа составляет

$$100 - (18,78 + 2) = 79,22\%$$

Состав горючей смеси без балластных примесей

$$H_2 = \frac{38,75}{79,22} * 100 = 49,0\%; CH_4 = \frac{23,86}{79,22} * 100 = 30\%; CO = \frac{10,91}{79,22} * 100 =$$

$$30\%; C_3H_8 = \frac{5,7}{79,22} * 100 = 7,2\%;$$

По формуле 6.5 определить:

$$L^r = \frac{100}{\frac{49}{38,5} + \frac{30}{9,8} + \frac{13,8}{45} + \frac{7,2}{7,1}} = 18,5\%$$

$l_1, l_2, l_n$  определяются по табл. 50 [3].



## Приложение А

Таблица 1 – Основные характеристики некоторых газов

Показатель	Оксид углерода	Метан	Этан	Пропан	Пропан	Пропан	n-Бутан	Изобутан	n-Пентан
Химическая формула	CO	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
Молекулярная масса M, кг/кмоль	28,0	16,0	30,1	44,1	44,1	44,1	58,1	58,1	72,1
Молекулярный объем V, м <sup>3</sup> /кмоль	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6
Плотность газовой фазы при н.у. ρ <sub>г</sub> , кг/м <sup>3</sup>	1,35	0,71	1,35	1,36	1,36	1,36	1,37	1,38	1,46
Плотность жидкой фазы при н.у. ρ <sub>ж</sub> , кг/л	1,17	0,42	0,546	0,568	0,578	0,58	0,601	0,582	0,646
Температура кипения t <sub>кип</sub> , °C	-182	-161	-88,6	-42,1	-42,1	-42,1	-0,5	-11,73	36,07
Температура плавления t <sub>пл</sub> , °C	-205	-182,5	-182,3	-189	-187,7	-185,3	-138,3	-193,6	-129,7
Температура критическая t <sub>кр</sub> , °C	-140	-82,3	32,3	9,9	96,04	94,02	152,01	134,08	196,6
Давление критическое, P <sub>кр</sub> , МПа	3,45	4,58	4,82	3,83	4,21	4,24	3,747	3,6	3,351
Теплота сгорания, МДж/м <sup>3</sup> : низшая Q <sub>н</sub> высшая Q <sub>в</sub>									
	12,68 12,68	35,7 39,1	63,85 69,69	56,33 63,04	91,14 99,17	96,49 94,85	118,53 128,5	118,23 128,28	146,17 158,6
Теплота сгорания, МДж/кг: низшая Q <sub>н</sub> высшая Q <sub>в</sub>									
	10,2 10,2	50,08 55,6	47,42 51,82	47,23 51,24	46,3 50,37	46,04 49,95	45,78 49,47	45,68 49,46	43,38 49,3
Скрытая теплота испарения кДж/кг кДж/л									
	- -	513,4 -	487,2 230,3	483,8 229,8	478,4 226,1	441,0 341,1	390,8 229,7	382,3 219,6	361,2 -

### 2.12 Лабораторная работа №15, 16 (4 часа).

**Тема:** Исследование инжекционной газовой горелки инфракрасного излучения.

#### 2.12.1 Цель работы :

- 1.Подготовка стационарного котла к работе
- 2.Организация эксплуатации теплоэнергетических установок и систем.
- 3.Организационная структура теплоэнергетического хозяйства предприятий.
- 4.Организация топливного хозяйства котельных.
- 5.Эксплуатация топочных устройств.
- 6.Контроль над процессом горения.
- 7.Методика теплового расчета топочных устройств на различных видах топлива.

#### 2.12.2 Задачи работы:

*Цель работы:* ознакомиться с конструкцией и принципом действия инжекционной горелки инфракрасного излучения (ГИИ), провести испытания ГИИ, определить влияние давления газа на температурный режим керамики, включая визуальное наблюдение за его состоянием.

#### Методические указания

Газовые горелки инфракрасного излучения применяются для сушки, нагрева материалов и изделий, а также отопления некоторых зданий и сооружений.

Особенности ГИИ:

- 1) газ горит без видимого факела на излучающей насадке;
- 2) первичный воздух должен подаваться в количестве, необходимом для полного сгорания газа;
- 3) большая площадь сгорания по сравнению с факельными горелками;
- 4) передача теплоты происходит в основном (до 60 %) за счет излучения;
- 5) содержание оксидов азота в продуктах сгорания значительно ниже по сравнению с факельными горелками.

Одной из важнейших характеристик горелочных устройств является коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ . Коэффициент избытка воздуха – это отношение действительного количества воздуха, участвующего в горении, к теоретически необходимому.

Горелки инфракрасного излучения работают удовлетворительно только при  $\alpha = 1,05 \dots 1,10$ . Незначительные отклонения его от указанных значений резко ухудшают работу горелок. При увеличении  $\alpha$  (до  $1,25 \dots 1,4$ ) падает температура насадка и понижается количество теплоты, передаваемое излучением. При дальнейшем увеличении  $\alpha$  насадка становится темной и газ горит вытянутым неустойчивым факелом. При уменьшении  $\alpha$  фронт пламени становится сплошным, появляются длинные желтые языки, насадка темнеет и количество теплоты, передаваемое излучением, резко уменьшается.

По типу излучающего насадка ГИИ можно разделить на три группы: керамические, металлокерамические, металлические.

Принципиальное устройство горелки показано на рис. 6.

Горелка состоит из инжекционного смесителя 7, насадка 3, сопла 5, пружинной рамки 1. Корпус горелки изготовлен из двух штампованных частей, соединенных контактной сваркой. В сборе он образует инжекционный смеситель 7 и распределительную камеру 4. В корпусе установлена крестовина, в которой на резьбе укрепляются сопло 5 и штуцер для подвода газа 6. Насадок 3 склеен из десяти перфорированных керамических плиток размером  $65 \times 45 \times 12$  мм. Каждая плитка имеет 1350 цилиндрических каналов 2 диаметром 1 мм. Живое сечение плитки 36 %. Гидравлическое сопротивление перфорированных плиток зависит от диаметра каналов и колеблется в пределах  $\Delta p = 1 \pm 8$  Па. Это позволяет создавать инжекционные горелки низкого давления, работающие с коэффициентом избытка первичного воздуха  $\alpha = 1,05 \pm 1,10$ . Насадок устанавливается на рамке, соединенной с корпусом. Над насадком монтируется сетка 8 из жаростойкой стали.

Подводимый к штуцеру газ вытекает из сопла 5 и инжектирует в смеситель с  $\alpha = 1,05$ . Газ горит в тонком слое поверхности керамики. Пламя на фоне раскаленной керамической поверхности не просматривается, поэтому горелки инфракрасного излучения называют иногда беспламенными.



**Рис. 6. Газовая горелка инфракрасного излучения**

Поверхность керамики раскаляется, достигая  $t = 800 \dots 900^\circ\text{C}$ , что соответствует температурам спектра инфракрасных лучей с длиной волны 27 мкм. До 65 % выделяющегося тепла от раскалённой керамики передается излучением, остальные 35 % – конвективным путём с продуктами горения. Устойчивость горения в этих горелках в определённом интервале нагрузок обеспечивается двумя факторами:

- раскалённая керамика, поданная смесь на выходе, устраивает срыв пламени;
- критический диаметр выходных каналов и тонкие стенки между ними обеспечивают охлаждение керамики выходящей газовой смесью.

Низкая температура керамики с внутренней стороны, значительно меньше температуры воспламенения смеси, что исключает возможность проскака пламени в соплу. Изменение давления газа перед горелкой не нарушает деятельности процесса эжектирования – соотношение газа и воздуха сохраняется. Тепловая же нагрузка горелки, а следовательно, тепловое напряжение керамики и её температура изменяется.

Интервал изменения температуры, особенно в сторону снижения, должен быть большим. В противном случае поверхность керамики темнеет и доля тепла, передаваемого излучением, уменьшается, возрастает химический недожог газа.

На работу горелки большое влияние оказывает качество смешивания газа с воздухом. Инжекционный смеситель, как правило, обеспечивает лучшее смешение и обладает важной особенностью: в определённых пределах расхода он сохраняет постоянным значение коэффициента инжекции. Такое свойство инжекционного смесителя называется автоматичностью.

Коэффициентом или кратностью инжекции называется отношение объемного количества подсосываемого воздуха к объемному расходу газа

$$A = V_a / V_g, \quad (11)$$

где  $A$  – коэффициент инжекции;  $V_a$  – количество инжектируемого воздуха,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $V_g$  – расход газа,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

#### Порядок проведения работы

1. Ознакомиться со схемой лабораторной установки, представленной на рис. 7. Лабораторная установка состоит из следующих приборов и агрегатов: 1 – счетчика для измерения объема использованного газа, 2 – U-образного дифференциального манометра для измерения давления газа перед горелкой, 3 – лабораторного крана, 4 – ГИИ, 5 – термометры для измерения температуры газа, 6 – термометр для измерения температур керамики и газоподдушной смеси перед керамикой 6. Результаты замеров занести в табл. 4.

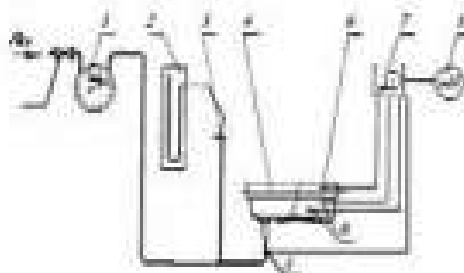


Рис. 7. Схема лабораторной установки для исследования работы горелки инфракрасного излучения

2. Произвести розжиг горелки. С помощью регулирующего крана 9 установить давление перед горелкой  $P_g$ , равное 800 Па ( $\approx 80$  мм вод. ст.).
3. После прогрева горелки, через 5 – 7 минут, произвести замер расхода газа, барометрического давления  $P_b$ , замерить температуры газа перед горелкой 4, на поверхности раскаленной керамики 6, на внутренней стороне керамики 6 и газоподдушной смеси перед керамикой 6. Результаты замеров занести в табл. 4.
4. Увеличить давление газа перед горелкой до 1200 Па и 1500 Па (120 мм вод. ст. и 150 мм вод. ст. соответственно) с повторением действий, описанных в пункте 3.

Таблица 4

№ опыта	Давление газа $P_0$ , Па	Показания счетчика		Время истечения расхода $\tau$ , с	Расход газа $V_0$ , м <sup>3</sup> /с	Тепловая мощность $P_0$ , Вт	Тепловое напряжение $P_0$ , Вт/Ватт <sup>2</sup>	Температура, °С				
		Начало измерения, а	Конец измерения, б					газа перед горелкой	в зоне горения А	поверхности горелки	температура в изоляции горелки	

### Обработка экспериментальных данных

1. Записать показания барометра  $P_0$  и температуру воздуха в лаборатории  $t_0$ .
2. Привести расход использованного газа к стандартным условиям, м<sup>3</sup>/с:

$$V_{\text{стан}} = \frac{(b-a)}{\tau} \cdot \frac{P_0 + P_0 - 293,15}{101325 - 273,15 + t_0}, \quad (12)$$

где  $a, b$  – начальный и конечный показания счетчика;  $\tau$  – время, за которое снизили показания по счетчику;  $c, P_0$  – барометрическое давление воздуха, Па;  $P_0$  – давление газа перед горелкой, Па;  $t_0$  – температура газа перед горелкой, °С.

3. Рассчитать тепловую мощность горелки, Вт

$$P_0 = V_{\text{стан}} Q_0, \quad (13)$$

где  $Q_0$  – низшая теплота сгорания природного газа,  $Q_0 = 19\,364$  кДж/м<sup>3</sup>.

4. Рассчитать тепловое напряжение горелки, Вт/см<sup>2</sup>, при известной площади излучающей поверхности  $F$  по формуле:

$$P_0 = \frac{P_0}{F}. \quad (14)$$

5. Построить графики зависимости по образцам, представленным на рис. 8, 9.

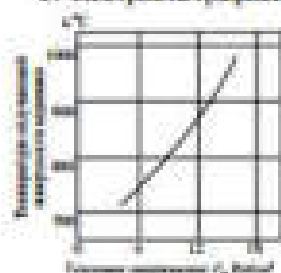


Рис. 8. График температурного режима излучающей поверхности при изменении тепловыделения горелки

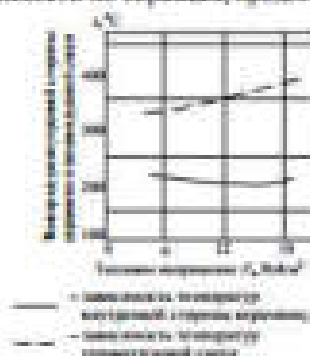


Рис. 9. График зависимости температур горелки с излучающей поверхностью и температуры в изоляции от тепловыделения

6. Представить отчет по работе, который должен содержать: основные теории, схему установки, таблицу наблюдений и расчетов, обработку опытных данных, краткие выводы по результатам опытов.

1. Что называется коэффициентом излучения?
2. Что такое коэффициент избытка воздуха?
3. Назовите основные элементы ГНН и их назначение.
4. Назовите преимущества ГНН по сравнению с другими горелками.
5. Чем характеризуется горелка инфракрасного излучения?
6. Какой метод горения обеспечивает эта горелка?
7. Какая температура достигается на поверхности керамики?
8. Почему горелка инфракрасного излучения иногда называют беспламенной?
9. В результате чего обеспечивается устойчивое горение, почему нет дросселя и отрыва пламени?
10. Какая доля выделяющегося при сгорании газа тепла передается от радиальной керамики излучением?

## 2.13 Лабораторная работа №17, 18 (4 часа).

**Тема:** Изучение конструкций газовых плит. Исследование работы бытовой газовой плиты

### 2.13.1 Цель работы :

1. Подготовка стационарного котла к работе
2. Организация эксплуатации теплоэнергетических установок и систем.
3. Организационная структура теплоэнергетического хозяйства предприятий.
4. Организация топливного хозяйства котельных.
5. Эксплуатация топочных устройств.
6. Контроль над процессом горения.
7. Методика теплового расчета топочных устройств на различных видах топлива.

### 2.13.2 Задачи работы:

Газовые плиты классифицируются по качественным показателям -высший класс «а» и «б», первый класс «а» и «б». Плиты высшего класса оснащают автоматическими устройствами для зажигания и отключения горелок и для регулирования температуры духового шкафа. Рассмотрим устройство основных узлов и частей унифицированных газовых плит. Отечественные бытовые газовые плиты изготавливают двух-, трех- и четырехконфорочными с духовыми шкафами и без них. Основные технические характеристики наиболее распространенных газовых плит приведены в прил. 1.

Унифицированная газовая плита (рис. 1.1) состоит из следующих основных частей: корпуса, рабочего стола с конфорочными вкладышами, духового шкафа, газовых горелок (конфорочных и для духового шкафа), газораспределительного устройства с кранами.

Высота рабочего стола 850 мм, ширина не менее 500 мм, глубина не менее 450 мм, расстояние между центрами соседних конфорок 230 мм. Детали газовых плит изготовляют из термически и коррозионно стойких и долговечных материалов.

Корпус плиты является несущей конструкцией и одновременно выполняет функции внешнего оформления. Снаружи корпус покрывают защитно-декоративным слоем керамической эмали, способной противостоять значительным температурным перепадам. На лицевой стороне плиты размещен распределительный щиток с пятью ручками и их указателями.

На задней кромке стола плиты установлен щиток-экран (в некоторых модификациях заменен откидной крышкой). Конфорочные решетки - прутковые, эмалированные или оксидированные. Духовой шкаф - цельносварной, снабжен съемным дном и подвесками для трех полок; объем духового шкафа 52 дм<sup>3</sup>. Дверца духового шкафа имеет смотровое стекло, за которым размещен биметаллический термоуказатель.

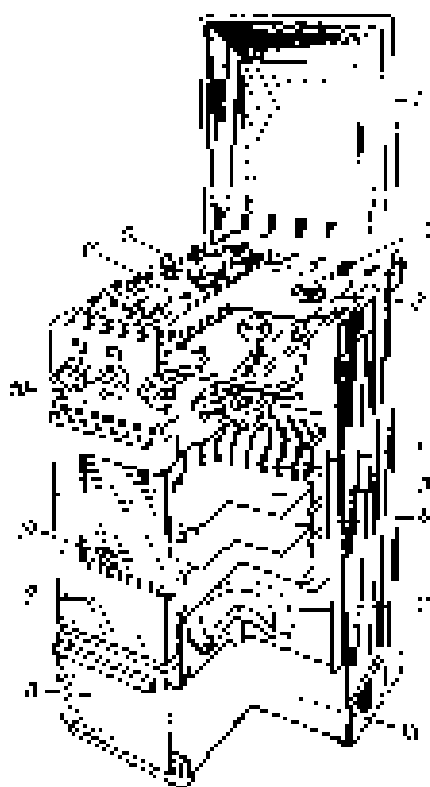


Рис. 1.1. Общий вид унифицированной газовой плиты ПГ-4: 1 - крышка плиты или щиток; 2 - крышка горелки; 3 - насадка горелки стола; 4 - решетка духового шкафа; 5 -противень для выпечки; 6 - жаровня; 7 - горелка духового шкафа; 8 - дверка сушильного шкафа; 9 - дверка духового шкафа; 10 - распределительный щиток; 11 - стол плиты; 12 -решетка стола; 13 - сушильный шкаф; 14 -термоуказатель

Открытие (закрытие) прохода газа к горелке и регулирование высоты пламени осуществляется с помощью пробковых газовых кранов (рис. 1.2). Корпус 2 крана имеет наружную или внутреннюю резьбу для присоединения к горелкам и боковой штуцер 3 с резьбой для присоединения к коллекторной трубке. Хвостовик или отверстие в верхней части пробки 4 служит для посадки втулки или стержня 7. На втулку насаживается пластмассовая рукоятка для поворота крана. Между стержнем и пробкой крана находится пружина 6, обеспечивающая поступательное движение втулки перед поворотом крана на открытие. Это исключает случайное открытие крана.

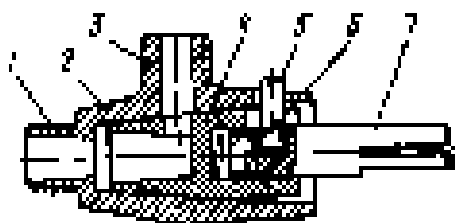


Рис. 1.2. Унифицированный пробковый кран газовой плиты: 1 - штуцер для присоединения к газопроводу; 2 - корпус; 3 - штуцер для присоединения к коллектору; 4 - пробка; 5 - стопорный винт; 6 - пружина; 7 - стержень

В последние годы производятся 4-конфорочные газовые плиты повышенной комфортности, оснащенные термоэлектрическим клапаном, терморегулятором и устройством пьезозажигания. По габаритным размерам они отличаются от унифицированных, например, объем духового шкафа для плиты ПГ4-ВК увеличен до 70 дм<sup>3</sup>.

#### 1.2. Типы, устройство и принцип действия горелок бытовых плит

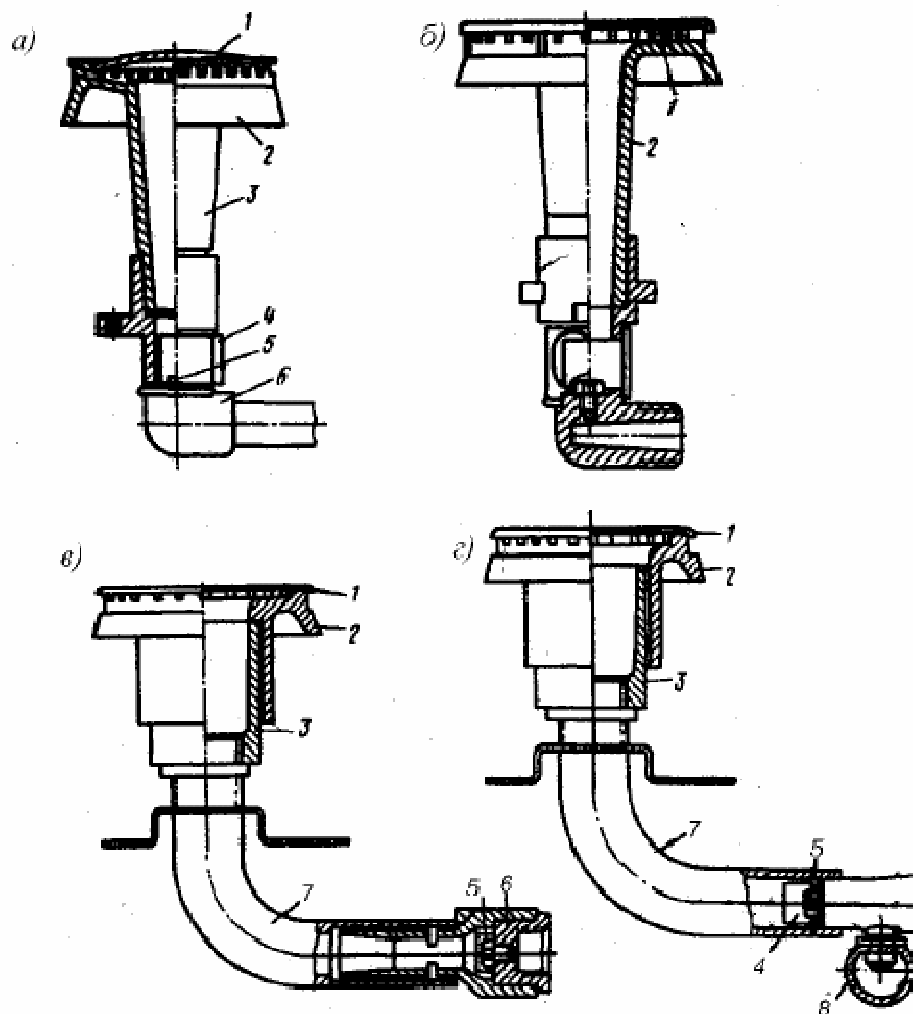


Рис. 1.3. Конфорочные горелки: а - вертикальная; б - вертикальная с пилотным пламенем; в - с горизонтальным смесителем; г - без регулятора первичного воздуха; 1 - колпачок; 2 - огневой насадок; 3 - диффузор; 4 - окно для подсоса воздуха; 5 - ниппель сопла; 6 - корпус сопла; 7 - трубка смеситель; 8 - коллектор

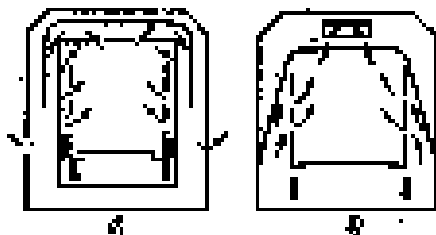
Газовой горелкой называется устройство, обеспечивающее устойчивое сжигание газообразного топлива и регулирование процесса горения. На отечественных бытовых газовых плитах используются многофакельные инжек-ционные горелки низкого давления (рис. 1.3).

Номинальная мощность конфорочных горелок 1,75 - 2 кВт, повышенная 2,7 - 2,9 кВт, КПД не менее 55%. В этих горелках содержание первичного воздуха в смеси с природным газом составляет примерно 55% от теоретически необходимого. Часть воздуха, необходимого, для горения (первичный воздух), эжектируется газом; вытекающим из сопел горелок; остальная часть (вторичный воздух) поступает к пламени непосредственно



из окружающей среды. Продукты сгорания конфорочных горелок проходят через щель между, дном посуды и рабочим столом плиты, поднимаются вдоль стенок посуды, обогревая их, и поступают в окружающую атмосферу.

В горелках (рис. 1.3 а) колпачок 1, диффузор 3 и сопло 5 размещены на одной вертикальной оси. Для обеспечения полноты сжигания в горелках (рис. 1.3 б) была изменена конструкция огневого насадка-распределителя горелки. Особенности горелок (рис. 1.3 в,г) являются наличие развитого по длине трубчатого смесителя и новый способ регулирования подсоса первичного воздуха с помощью мундштука диффузора.



В духовых шкафах на всех отечественных плитах устанавливают дисковые штампованные горелки с пилотным пламенем. Продукты сгорания обогревают духовой шкаф и поступают в кухню через отверстия в боковых стенках, или задней стенке плиты. Схема движения тепловых потоков в духовых шкафах показана на рис. 1.4. Рис. 1.4. Схема движения тепловых потоков в духовых шкафах: а - московская плита; б - ленинградская плита

Отвод продуктов сгорания непосредственно в помещение предъявляет высокие требования к конструктивным качествам горелок, которые должны обеспечивать полное сгорание газа.

### 1.3. Характерные неисправности газовых плит

Наиболее распространенными неисправностями бытовых газовых плит являются: утечка газа; плохое поступление газа на горелку; пробка крана поворачивается туго или не поворачивается совсем; пламя по окружности горелки имеет разную высоту; неполное сгорание газа в горелках плиты; отпадает или слишком плотно прилегает дверка духового шкафа.

Утечки газа могут произойти из резьбовых соединений, кранов плиты, оставленных случайно открытыми, при отрыве пламени от горелок плиты. Обнаруженная утечка устраняется заменой пеньковой набивки в резьбовых соединениях, сменой прокладок во фланцевых соединениях, перекрытием кранов плиты и другими способами в зависимости от характера и причин утечки газа.

Наиболее часто наблюдается неполное сгорание газа в горелках плиты. Причина этого - недостаток или отсутствие первичного воздуха. Неполное сгорание газа характеризуется высоким факелом яркого соломенного цвета с выделением копоти, оседающей на нагреваемом предмете. Эту неисправность легко устранить добавочной подачей первичного воздуха через регулятор. Если оказывается, что при полном открывании регулятора первичного воздуха не хватает, то это означает, что количество газа в горелку поступает больше положенного, т. е. форсунка имеет большое отверстие и ее необходимо заменить.

Отрыв пламени от горелки возможен ввиду повышенного давления газа перед плитой или избытка первичного воздуха. Для выяснения первой причины достаточно

посмотреть, как работают другие приборы, присоединенные к этому газопроводу. Если неисправность наблюдается у всех горелок, то необходимо проверить давление газа в газопроводе по жидкостному манометру, подсоединив его резиновым шлангом к форсунке верхней горелки плиты.

#### **2.14 Лабораторная работа №19, 20 (4 часа).**

**Тема:** Изучение конструкций газовых плит. Исследование работы бытовой газовой плиты

##### **2.14.1 Цель работы :**

- 1.Подготовка стационарного котла к работе
- 2.Организация эксплуатации теплоэнергетических установок и систем.
- 3.Организационная структура теплоэнергетического хозяйства предприятий.
- 4.Организация топливного хозяйства котельных.
- 5.Эксплуатация топочных устройств.
- 6.Контроль над процессом горения.
- 7.Методика теплового расчета топочных устройств на различных видах топлива.

##### **2.14.2 Задачи работы:**

Газовые плиты классифицируются по качественным показателям -высший класс «а» и «б», первый класс «а» и «б». Плиты высшего класса оснащают автоматическими устройствами для зажигания и отключения горелок и для регулирования температуры духового шкафа. Рассмотрим устройство основных узлов и частей унифицированных газовых плит. Отечественные бытовые газовые плиты изготавливают двух-, трех- и четырехконфорочными с духовыми шкафами и без них. Основные технические характеристики наиболее распространенных газовых плит приведены в прил. 1.

Унифицированная газовая плита (рис. 1.1) состоит из следующих основных частей: корпуса, рабочего стола с конфорочными вкладышами, духового шкафа, газовых горелок (конфорочных и для духового шкафа), газораспределительного устройства с кранами.

Высота рабочего стола 850 мм, ширина не менее 500 мм, глубина не менее 450 мм, расстояние между центрами соседних конфорок 230 мм. Детали газовых плит изготовляют из термически и коррозионно стойких и долговечных материалов.

Корпус плиты является несущей конструкцией и одновременно выполняет функции внешнего оформления. Снаружи корпус покрывают защитно-декоративным слоем керамической эмали, способной противостоять значительным температурным перепадам. На лицевой стороне плиты размещен распределительный щиток с пятью ручками и их указателями.

На задней кромке стола плиты установлен щиток-экран (в некоторых модификациях заменен откидной крышкой). Конфорочные решетки - прутковые, эмалированные или оксидированные. Духовой шкаф - цельносварной, снабжен съемным дном и подвесками для трех полок; объем духового шкафа 52 дм .

Дверца духового шкафа имеет смотровое стекло, за которым размещен биметаллический термоуказатель.

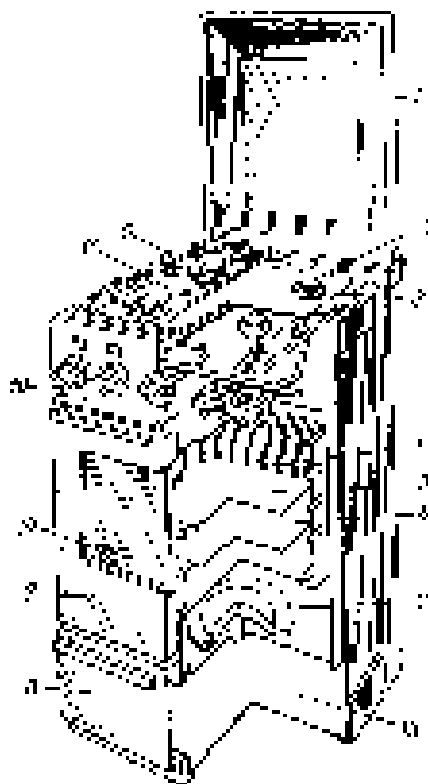


Рис. 1.1. Общий вид унифицированной газовой плиты ПГ-4: 1 - крышка плиты или щиток; 2 - крышка горелки; 3 - насадка горелки стола; 4 - решетка духового шкафа; 5 - противень для выпечки; 6 - жаровня; 7 - горелка духового шкафа; 8 - дверка сушильного шкафа; 9 - дверка духового шкафа; 10 - распределительный щиток; 11 - стол плиты; 12 - решетка стола; 13 - сушильный шкаф; 14 -термоуказатель

Открытие (закрытие) прохода газа к горелке и регулирование высоты пламени осуществляется с помощью пробковых газовых кранов (рис. 1.2). Корпус 2 крана имеет наружную или внутреннюю резьбу для присоединения к горелкам и боковой штуцер 3 с резьбой для присоединения к коллекторной трубке. Хвостовик или отверстие в верхней части пробки 4 служит для посадки втулки или стержня 7. На втулку насаживается пластмассовая рукоятка для поворота крана. Между стержнем и пробкой крана находится пружина 6, обеспечивающая поступательное движение втулки перед поворотом крана на открытие. Это исключает случайное открытие крана.

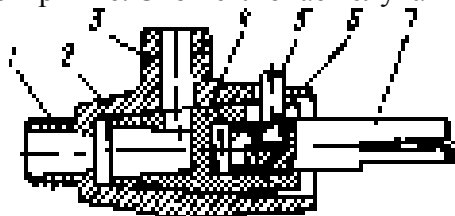


Рис. 1.2. Унифицированный пробковый кран газовой плиты: 1 - штуцер для присоединения к газопроводу; 2 - корпус; 3 - штуцер для присоединения к коллектору; 4 - пробка; 5 - стопорный винт; 6 - пружина; 7 - стержень В последние годы производятся 4-конфорочные газовые плиты повышенной комфортности, оснащенные термоэлектрическим клапаном, терморегулятором и устройством пьезозажигания. По габаритным размерам они отличаются от унифицированных, например, объем духового шкафа для плиты ПГ4-ВК увеличен до 70 дм<sup>3</sup>.

1.2. Типы, устройство и принцип действия горелок бытовых плит

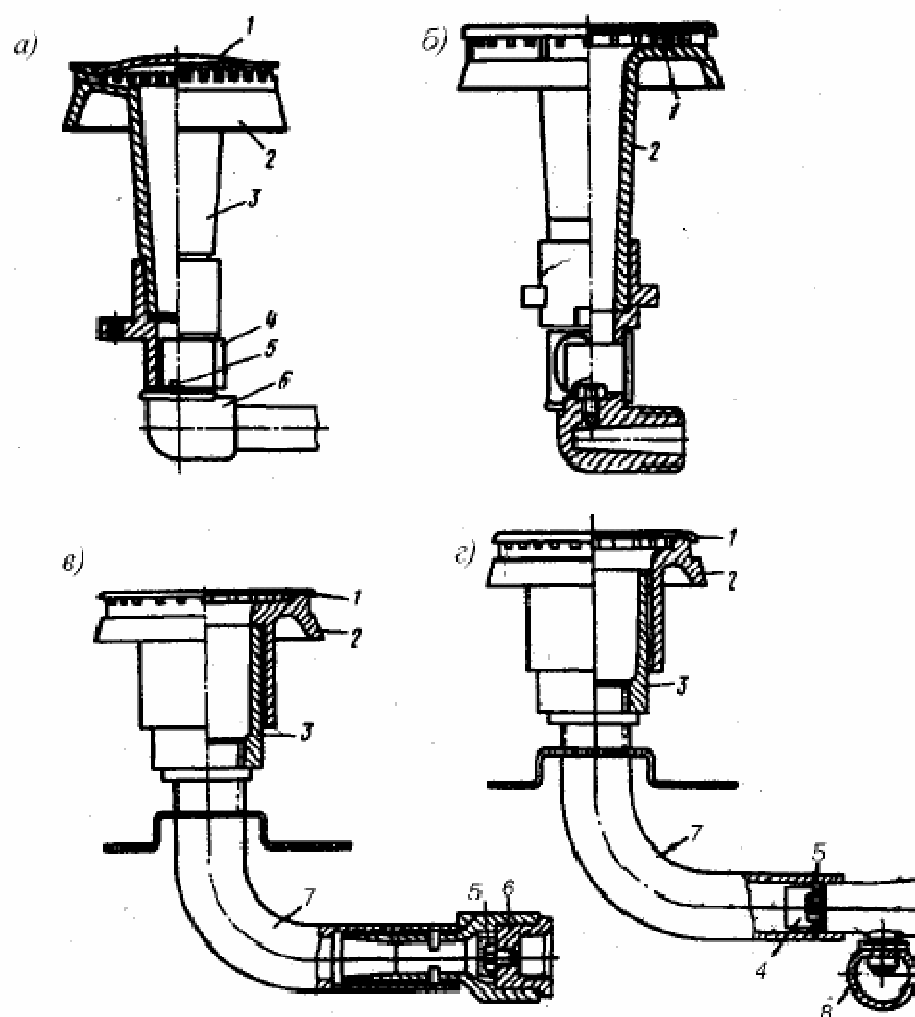
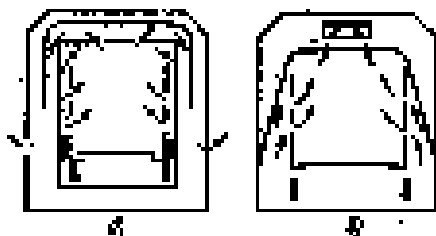


Рис. 1.3. Конфорочные горелки: а - вертикальная; б - вертикальная с пилотным пламенем; в - с горизонтальным смесителем; г - без регулятора первичного воздуха; 1 - колпачок; 2 - огневой насадок; 3 - диффузор; 4 - окно для подсоса воздуха; 5 - ниппель сопла; 6 - корпус сопла; 7 - трубка смеситель; 8 - коллектор

Газовой горелкой называется устройство, обеспечивающее устойчивое сжигание газообразного топлива и регулирование процесса горения. На отечественных бытовых газовых плитах используются многофакельные инжек-ционные горелки низкого давления (рис. 1.3).

Номинальная мощность конфорочных горелок 1,75 - 2 кВт, повышенная 2,7 - 2,9 кВт, КПД не менее 55%. В этих горелках содержание первичного воздуха в смеси с природным газом составляет примерно 55% от теоретически необходимого. Часть воздуха, необходимого, для горения (первичный воздух), эжектируется газом; вытекающим из сопел горелок; остальная часть (вторичный воздух) поступает к пламени непосредственно из окружающей среды. Продукты сгорания конфорочных горелок проходят через щель между, дном посуды и рабочим столом плиты, поднимаются вдоль стенок посуды, обогревая их, и поступают в окружающую атмосферу.

В горелках (рис. 1.3 а) колпачок 1, диффузор 3 и сопло 5 размещены на одной вертикальной оси. Для обеспечения полноты сжигания в горелках (рис. 1.3 б) была изменена конструкция огневого насадка-распределителя горелки. Особенности горелок (рис. 1.3 в,г) являются наличие развитого по длине трубчатого смесителя и новый способ регулирования подсоса первичного воздуха с помощью мундштука диффузора.



В духовых шкафах на всех отечественных плитах устанавливают дисковые штампованные горелки с пилотным пламенем. Продукты сгорания обогревают духовой шкаф и поступают в кухню через отверстия в боковых стенках, или задней стенке плиты. Схема движения тепловых потоков в духовых шкафах показана на рис. 1.4. Рис. 1.4. Схема движения тепловых потоков в духовых шкафах: а - московская плита; б – ленинградская плита

Отвод продуктов сгорания непосредственно в помещение предъявляет высокие требования к конструктивным качествам горелок, которые должны обеспечивать полное сгорание газа.

### 1.3. Характерные неисправности газовых плит

Наиболее распространенными неисправностями бытовых газовых плит являются: утечка газа; плохое поступление газа на горелку; пробка крана поворачивается туго или не поворачивается совсем; пламя по окружности горелки имеет разную высоту; неполное сгорание газа в горелках плиты; отпадает или слишком плотно прилегает дверка духового шкафа.

Утечки газа могут произойти из резьбовых соединений, кранов плиты, оставленных случайно открытыми, при отрыве пламени от горелок плиты. Обнаруженная утечка устраняется заменой пенечковой набивки в резьбовых соединениях, сменой прокладок во фланцевых соединениях, перекрытием кранов плиты и другими способами в зависимости от характера и причин утечки газа.

Наиболее часто наблюдается неполное сгорание газа в горелках плиты. Причина этого - недостаток или отсутствие первичного воздуха. Неполное сгорание газа характеризуется высоким факелом яркого соломенного цвета с выделением копоти, оседающей на нагреваемом предмете. Эту неисправность легко устранить добавочной подачей первичного воздуха через регулятор. Если оказывается, что при полном открывании регулятора первичного воздуха не хватает, то это означает, что количество газа в горелку поступает больше положенного, т. е. форсунка имеет большое отверстие и ее необходимо заменить.

Отрыв пламени от горелки возможен ввиду повышенного давления газа перед плитой или избытка первичного воздуха. Для выяснения первой причины достаточно посмотреть, как работают другие приборы, присоединенные к этому газопроводу. Если неисправность наблюдается у всех горелок, то необходимо проверить давление газа в газопроводе по жидкостному манометру, подсоединив его резиновым шлангом к форсунке верхней горелки плиты.

#### 1.4. Установка газовых плит в помещении

Газовые плиты устанавливают в кухнях высотой не менее 2,2 м, имеющих окно с форточкой или фрамугой, вентиляционный канал и естественное освещение.

Установка газовых плит разрешена в кухнях, имеющих объем не менее 15 м³ для 4-хконфорочной плиты, 12 м³ для 3-хконфорочной и 8 м³ для 2-хконфорочной.

Газовые плиты рекомендуется размещать таким образом, чтобы обеспечить удобное пользование ими и свободный доступ не менее чем с двух сторон. Плиты не следует ставить вблизи или против окон, т.к. при открытом окне пламя горелки, работающей с низкой тепловой нагрузкой или в режиме, близком к пределу отрыва пламени, может быть сдуто. Расстояние между верхним краем плиты и стеной следует принимать не менее 50 мм. Проход между плитой и противоположной стеной должен быть не менее 1 м. Деревянные стены при установке плит покрывают мокрой штукатуркой или изолируют асбестовой фанерой, кровельной сталью по листу асбеста толщиной 3 мм или войлоку, пропитанному глиняным раствором, или другими негорючими материалами.

В кухнях квартир, расположенных под жилыми комнатами разрешается установка только одной газовой плиты, установка других газовых приборов запрещается.

Установка газовых плит не допускается:  
в кухнях или других помещениях без естественного освещения, расположенных в подвальных помещениях;

- в кухнях или других помещениях, расположенных в цокольных этажах или подвалах, при газоснабжении сжиженными газами;  
в коридорах общего пользования;

- в кухнях жилых домов высотой 10 этажей и более и в общежитиях (независимо от этажности)

Нельзя устанавливать газовое оборудование в кухнях, расположенных непосредственно под помещениями с большим скоплением людей.

#### 1.5. Изучение работы газовой плиты

Изучение работы бытовой газовой плиты производится студентами самостоятельно.

#### 1.6. Контрольные вопросы

1. По каким показателям классифицируются газовые плиты?
2. Перечислите основные части газовой плиты.
3. Назовите основные габаритные размеры унифицированной 4-хконфорочной газовой плиты.
4. Назовите тип конфорочных горелок, их тепловую мощность и КПД.
5. Объясните принцип действия конфорочной горелки.
6. Какие типы конструкций конфорочных горелок используются в отечественных плитах?
7. В чем принципиальное отличие движения тепловых потоков в духовых шкафах московской и ленинградской конструкций плит?
8. Какие неисправности могут возникать в газовых плитах?

9. Перечислите основные требования, предъявляемые к помещениям при установке в них газовых плит.

10. Как следует размещать газовые плиты в помещении?

11. В каких помещениях установка газовых плит не допускается?

### **2.15 Лабораторная работа №21, 22, 23 (6 часов).**

**Тема:** Изучение конструкции и принципа работы емкостного газового водонагревателя

#### **2.15.1 Цель работы :**

- 1.Подготовка стационарного котла к работе
- 2.Организация эксплуатации теплоэнергетических установок и систем.
- 3.Организационная структура теплоэнергетического хозяйства предприятий.
- 4.Организация топливного хозяйства котельных.
- 5.Эксплуатация топочных устройств.
- 6.Контроль над процессом горения.
- 7.Методика теплового расчета топочных устройств на различных видах топлива.

#### **2.15.2 Задачи работы:**

Устройство и принцип работы емкостных газовых водонагревателей

Емкостными газовыми водонагревателями называются аппараты, в которых вода нагревается продуктами сгорания в емкости без применения принудительной циркуляции и предназначенные для отопления и горячего водоснабжения потребителей. В последние десятилетия использовались и продолжают активно эксплуатироваться аппараты отечественного производства следующих типов: АГВ (автоматический газовый водонагреватель), АОГВ (аппарат отопительный газовый бытовой с водяным контуром), АКГВ (аппарат комбинированный газовый бытовой с водяным контуром). На сегодняшний день в эксплуатации находятся различные типы аппаратов, внешне не похожие друг на друга.

В настоящее время наблюдается значительный рост индивидуального строительства, в связи с этим потребителям предлагаются различные модели газовых отопительных агрегатов отечественного и зарубежного производства.

Рассмотрим подробнее наиболее распространенные емкостные газовые водонагреватели серии АОГВ. Эти аппараты в отличие от части аппаратов типа АГВ и АКГВ применяются только для отопления и не могут использоваться для горячего водоснабжения. В целях унификации емкостные водонагреватели АОГВ изготавливаются следующих видов: 1 работающие на природном газе; 2 работающие на пропане, бутане и их смесях; 3 работающие на природном газе и пропанбутановых смесях. Аппараты должны изготавливаться в следующих климатических исполнениях: У – для эксплуатации в районах с умеренным климатом; ХЛ – для эксплуатации в районах с холодным климатом.

Номинальная тепловая мощность аппаратов АОГВ от 7 до 29 кВт. КПД емкостных водонагревателей при номинальной нагрузке должен быть не ниже 80 %, содержание оксида углерода в продуктах сгорания водонагревателя не должно превышать 0,05 %; температура воды на выходе из аппарата 50 –

90 °С.

Основные технические характеристики емкостных газовых водонагревателей с водяным контуром типа АОГВ приведены в прил. 3.

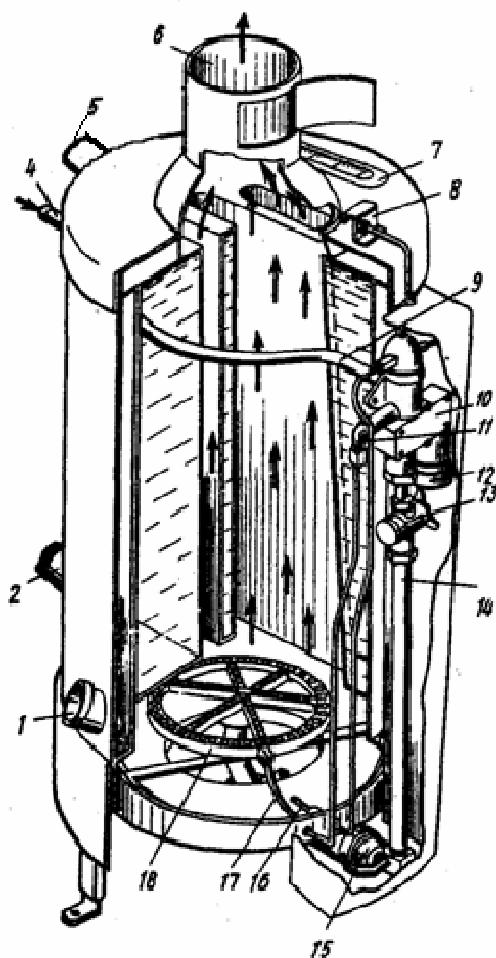
Рассмотрим устройство и принцип работы емкостных водонагревателей на примере аппарата АОГВ11,63У с тепловой мощностью 11,6 кВт.

Аппарат (рис. 1) выполнен в виде напольного шкафа цилиндрической формы и состоит из следующих основных частей: вертикальноцилиндрического резервуара с теплообменником внутри, блока автоматики, горелочного устройства, узла «сильфонтермобаллон», датчика тяги с проводом, прерывателя тяги, термопары, запальника, основания.

Резервуар аппарата стальной, штампованный, сварной, с трубами под вода и отвода воды, патрубком для установки термометра и фланцами для установки блока автоматики.

В нижней части резервуара находится топка, имеется окно для розжига и наблюдения за процессом горения. В резервуар вварены три секции стального штампованного теплообменника. Наружная поверхность резервуара покрыта светлой эмалью. Для удержания дверки в закрытом положении установлен пружинный запор.

Горелочное устройство состоит из радиальной инжекционной литой чугунной горелки 18, смесителя, регулятора воздуха 15 и поддона, предохраняющего пол под аппаратом от перегрева. Горелочное устройство закреплено на основании.





Тягопрерыватель стальной штампованный состоит из корпуса и дверки, предназначен для автоматической стабилизации величины разрежения в топке аппарата, то есть уменьшения влияния колебания величины разрежения в дымоходе на тягу в топке аппарата. При нормальной тяге через имеющиеся зазоры между дверкой и корпусом тягопрерывателя происходит незначительный подсос внешнего воздуха из помещения в дымоход. В случае появления чрезмерно высокого разрежения в дымоходе дверка отклоняется внутрь тягопрерывателя, увеличивая тем самым подсос внешнего воздуха, непроходящего через топку в дымоход.

Рис. 3.1. Принципиальная схема аппарата АОГВ11,63У: 1 – глазок; 2 – вход воды;

3 – кожух водонагревателя; 4 – вход газа;

5 – выход горячей воды; 6 – тягопрерыватель;

7 – термометр; 8 – датчик тяги; 9 – трубопровод для входа газа; 10 – блок автоматики;

11 – выход газа на запальник; 12 – гайка регулировочная; 13 – кран; 14 – выход газа на основную горелку; 15 – регулятор воздуха;

16 – термопара; 17 – запальник; 18 – основная горелка

Блок автоматики 10 представляет собой электромеханическое устройство и состоит из корпуса блока, внутри которого находятся клапаны и система рычагов, электромагнита, и служит для подачи газа к запальнику и горелке, регулирования температуры воды и автоматического отключения

подачи газа при: погасании запальника; падении давления газа в сети ниже допустимого или прекращении подачи газа; отсутствии тяги в дымоходе.

Автоматика по тяге состоит из датчика тяги 6 (см. рис. 3.2), укрепленного на крышке бака, и привода, соединяющего датчик тяги с электромагнитом. При нормальном разрежении в дымоходе продукты сгорания проходят в дымоход, минуя датчик тяги, контакты датчика тяги замкнуты.

При отсутствии тяги в дымоходе продукты сгорания частично попадают на биметаллическую пластину датчика тяги и нагревают ее. Нагреваясь, пластина изгибается и контакты размыкаются, разрывая тем самым электрическую цепь «термопара – обмотка электромагнита – датчика тяги». Доступ газа к запальнику и основной горелке перекрывается.

При обратной тяге поступающий сверху воздух отклоняет дверку наружу и воздух из дымохода выходит через зазор между дверкой и корпусом тягопрерывателя в помещение, не попадая в топку. Для успешной работы дверка должна легко (от слабого дуновения на нее) вращаться на оси.

Электромагнит совместно с системой клапанов, находящихся внутри корпуса блока автоматики, предназначен для обеспечения подачи газа к запальнику, горелке и

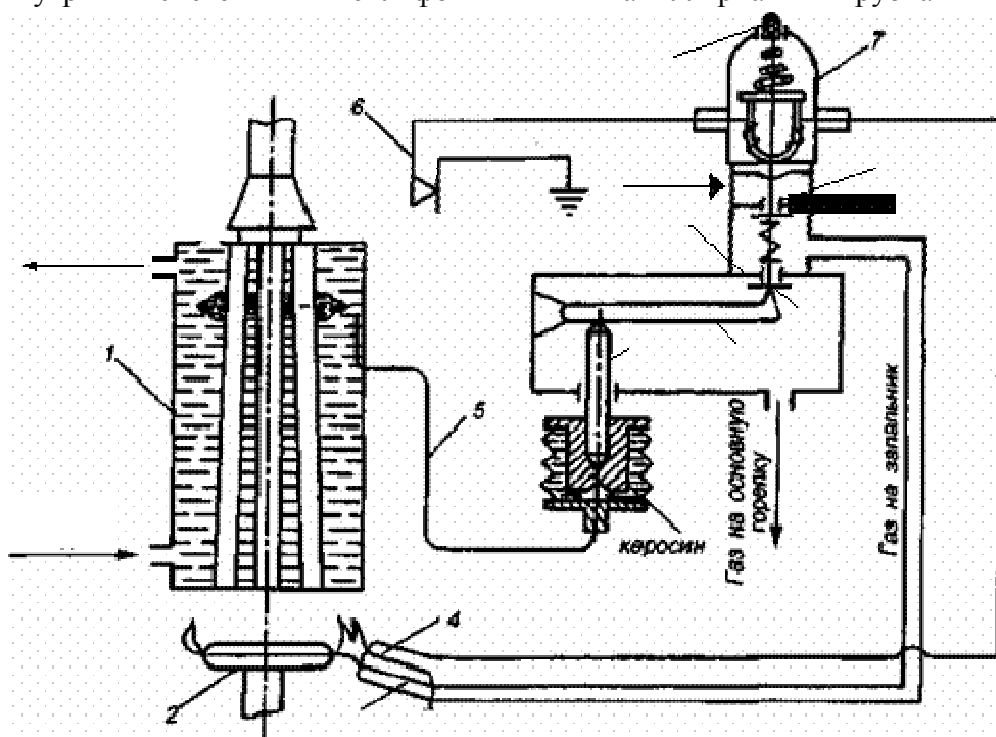
автоматического прекращения подачи газа к запальнику и горелке при погасании пламени запальника или срабатывании датчика тяги.

Газ по газопроводу поступает в полость корпуса блока автоматики, расположенную над седлом 8 (рис. 3.2). При нажатии до отказа пусковой кнопки 9 клапан 10 прижимается к седлу 11, перекрывая доступ газа на горелку, и газ поступает только к запальнику. При зажженном запальнике пламя его нагревает конец термопары 4 и ток (термоЭДС термопары, спай которой помещен в пламени запальника) по проводам подается на обмотку сердечника и намагничивает его. При отпускании пусковой кнопки 9 сердечник удерживает якорь, который через шток удерживает клапан 10 в промежуточном положении, открывая доступ газа к запальнику и горелке.

При погасании запальника (в случае прекращения подачи газа, падения давления газа ниже допустимого или задувания пламени) спай термопары остывает, термоЭДС исчезает, и клапан 10 прижимается к седлу 8, закрывая доступ газа к запальнику и горелке.

Автоматика регулирования температуры воды (см. рис. 3.2) состоит из узла «сифон — термобаллон» 5, установленного внутри бака аппарата, и системы рычагов, расположенных в блоке автоматики, и клапана 12.

При нагреве воды в баке выше заданной температуры керосин, заключенный внутри системы «сифон — капиллярная трубка — термобаллон



начинает расширяться, ни термобаллон, ни капиллярная трубка расширению не поддаются. Увеличить объем системы может только сифон за счет рас тягивания «гармошки». Вместе с ней поднимается вверх и шток 13, который своим верхним концом нажимает на рычаг 14 до положения «Малый огонь».

Рис. 3.2. Схема подключения блока автоматики водонагревателя АОГВ:

1 резервуар, 2 основная горелка, 3 запальник, 4 термopapa, 5 узел «сильфонтермобаллон», 6 датчик тяги, 7 электромагнит, 8 седло верхнее, 9 пусковая кнопка;

10 клапан, 11 седло нижнее, 12 клапан нижний, 13 шток, 14 рычаг

При остывании воды в баке керосин уменьшается в объеме, «гармошка» сильфона сжимается, шток 13 опускается, рычаг 14 возвращается на свое место, клапан 12 опускается вниз и увеличивает подачу газа к горелке.

На корпусе блока закреплена шкала настройки и гайка регулировочная,

вращая которую можно настраивать автоматику на температуру от 50 до

90°С. Эта перемена температуры вызывается перемещением сильфона вместе со штоком 13 вверх (вниз) при вращении гайки регулировочной. После нагрева воды до температуры, соответствующей настройке, подача газа к горелке автоматически уменьшается, и она переходит на режим «Малый огонь»

## **2.16 Лабораторная работа №24, 25 (4 часа).**

**Тема:** Изучение установки сжиженного газа

### **2.16.1 Цель работы :**

1. Подготовка стационарного котла к работе
2. Организация эксплуатации теплоэнергетических установок и систем.
3. Организационная структура теплоэнергетического хозяйства предприятий.
4. Организация топливного хозяйства котельных.
5. Эксплуатация топочных устройств.
6. Контроль над процессом горения.
7. Методика теплового расчета топочных устройств на различных видах топлива.

### **2.16.2 Задачи работы:**

- Обеспечение безаварийного и надежного газоснабжения потребителей путем поставки либо оказания услуг по транспортировке природного и сжиженного газов в соответствии с заключенными договорами, оперативное управление и контроль за режимами газоснабжения, включая распределение и перераспределение сжиженного газа между потребителями;

- Хранение сжиженного газа;

- Развитие систем газоснабжения;

- Проектирование, строительство и пусконаладочные работы объектов газового хозяйства, газификация жилья;

- Ведение технического надзора за строительством объектов газового хозяйства, выполнение работ по проектированию и строительству систем газоснабжения и других объектов;

- Организация технического обслуживания и ремонта газопроводов, сооружений на них, газового оборудования и приборов у потребителей газа;

Оказание транспортных услуг по доставке газа населению, промышленным и другим потребителям

Иные виды деятельности, не запрещенные законодательством РФ.

В зону обслуживания Искитимской дирекции входят 2 муниципальных образования городов областного подчинения (Искитим, Бердск) и 4 района (Искитимский, Маслянинский, Сузунский, Черепановский) на территории которых расположены 189 населённых пунктов входящих в 64 муниципальных образования районного подчинения (в том числе город Черепаново, р.п. Маслянино, Сузун, Безменово, Дорогино, Линёво, Листвянский, Посевная).

Искитимская дирекция обслуживает 112 км газопроводов, в том числе:

— Природного газа всего 106,02 км

— Газопроводов сжиженного газа 6,6 км

Уровень газификации от общего количества жилья составляет на природном газе 1,63%, а на сжиженном – 42,5 %, в том числе в городах и рабочих поселках 2,1% и 27,9% соответственно, в сельской местности 0,45 и 77,6%. Низкий уровень газификации объясняется тем, что многоэтажное жильё в городах в основном электрифицировано, а работы по газификации частных жилых домов природным газом ведутся низкими темпами даже в тех районах и городах где есть незагруженные газопроводы и ГРС.

Обслуживается на 1.01.2010 года 164,4837 км газопроводов наружных, в том числе:

1. Природного газа всего 159,2747 км

а. Распределительных всего 145,1447 км

металлических 135,89471 км, в том числе надземных – 45,89 км

полиэтиленовых подземных – 9,25 км

б. Газопроводов-вводов к частным домам 14,13 км

2. Газопроводов сжиженного газа 5,209 км

3. Групповых резервуарных установок 16 шт.

**Инструктаж по режиму работы и технике безопасности, беседы со специалистами.**

1. При неумелом пользовании и не соблюдении правил ТБ горючие газы могут вызвать удушье, отравление, взрывы и пожары.

2. Отравление происходит при вдыхании очень ядовитого угарного газа, который может появиться в результате не полного сгорания газа.

3. Удушающее действие газа проявляется, когда значительная его концентрация в помещении вызывает вытеснение воздуха, необходимого для дыхания. Находящийся в такой атмосфере человек будет испытывать недостаток кислорода и при достижении содержания газа в воздухе свыше 10% по объему, может задохнуться.

4. Взрывы могут произойти при образовании смеси горючего газа и воздуха в определенных объемах соотношениях.

5. Обморожение происходит при попадании жидкого газа на открытые участки кожи человека. Во избежании сильного обморожения газ необходимо смыть водой.

6. При отравлении газом, необходимо пострадавшего вывести из загазованной среды на чистый воздух. За несчастные случаи, произошедшие с работниками по вине администрации несут ответственность мастер и начальник участка.

#### 1.1 История развития предприятия

«Сибирьгазсервис» — как одно из основных участников газового рынка Новосибирска и Новосибирской области — начал свою деятельность в 1965 году.

В 1967 году в Искитиме по улице Пушкина при Искитимском предприятии коммунального хозяйства был создан участок газовой службы, который состоял из 7 человек и одной автомашины. Начальником участка был назначен Борис Яковлевич Панарин.

Газовый участок обслуживал не многим более 40 плит в Центральном и Подгорном микрорайонах. Газ доставляется с газонаполнительной станции Академгородка города Новосибирска.

В 1970 году были созданы 4 групповых резервуарных установок в г. Искитиме; 2 ГУ в Южном и 1 в Индустриальном микрорайонах и 1 ГУ была сдана в р.п. Линево Искитимского района. Контрольный объезд групповых резервуарных установок проводит начальник Искитимского участка Горшков А.В.

В 1976 году была запущена в эксплуатацию газонаполнительная станция города Искитима.

В 1967 году контора преобразована в трест «Искитимметрайгаз», а в 1972 году коллектив переехал в новое здание по проспекту Юбилейный 2. В 1974 года на новой территории треста построен стояночный бокс для автомашин, «клетка» с подсобным помещением для электромонтёра.

С 1979 года по 1981 год проведено строительство стояночных боксов для газовозов. В 1976 году запущена в эксплуатацию ГНС в Искитиме. До 1983 года на ГНС проведено 3 реконструкции: расширена эстакада для складирования наполнительных баллонов, смонтирована карусель для 25 штук баллонов и запущен цех по наполнению 5-литровых баллонов. В 1983 году сдано в эксплуатацию административное здание ГНС.

За 1977-1978года была построена и сдана в эксплуатацию производственная база в Сузуне. В 1978 году в Маслянино и Бердске начато строительство производственных баз, которые были сданы в эксплуатацию в 1979-1988 годах. В 1982 году в Искитим пришел природный газ на который перешли 2 котельные: на Черепановском цементном и Новосибирском электродном заводах.

В 1992 году начала создаваться ремонтно-строительная группа. С 1993 года был запущен в работу проект по газификации природным газом частного сектора микрорайона Заречный города Искитима.на сегодняшний день газифицированы 75 квартир. В 1995 году на газоснабжение природным газом был переведен Известняковый карьер. В этом же году сделан переход газопровода через пешеходный мост реки Бердь на Индустриальном микрорайоне и газ подведен до машиностроительного завода. В 1997 году к природному газу был подключён дом №25 Индустриального микрорайона (96 квартир). На сегодняшний день газифицировано 559 квартир Индустриального микрорайона.

В 1998 году природный газ был проведен к НЗИВу. С 1999 года ведётся строительство газопровода микрорайона Южный.

На 1 января 2000 года Искитимской дирекцией газифицировано 55699 квартир. Это с учётом территории всех районов и городов, которые обслуживает коллектив. Это Искитимский, Маслянинский, Черепановский и Сузунский районы и город Бердск. В настоящее время по Искитимской дирекции эксплуатируется 55008 газовых приборов на сжиженном газе, 690 установок на природном газе, протяжённость газопроводов составляет 26 км.

С августа 2007 года ОАО «Сибирьгазсервис» передал функции по продаже сжиженного газа ООО «Новосибирскоблгаз». В настоящее время на эксплуатации ОАО «Сибирьгазсервис» находится 997,5 км газораспределительных сетей природного газа.

## **2. ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ДОЛЖНОСТНОЙ ИНСТРУКЦИЕЙ И РАБОТОЙ**

### **2.1 Слесаря по обслуживанию подземных газопроводов**

.Все виды работ по техническому обслуживанию газопроводов должны выполняться в соответствии с правилами безопасности систем газораспределения и газопотребления, «Правилами технической эксплуатации» и требованиями безопасности труда в газовом хозяйстве, производственными инструкциями, разработанными и утвержденными в установленном порядке, в сроки, предусмотренные графиками.

В состав технического обслуживания входят следующие работы

- Наблюдение за состоянием наружных газопроводов и сооружений на них.

- Осмотр арматуры, установленной на газопроводе.
- Проверка состояния газопроводов и их изоляции приборами и т.п.
- Измерение давления газа в газопроводах
- Измерение электрических потенциалов на газопроводах.

Обход трасс подземных газопроводов должен осуществляться бригадой слесарей по обслуживанию газопроводов. За каждой бригадой должны быть закреплены определенные участки трасс с прилегающими к ним вводами, разделенные для удобства обслуживания на маршруты.

При обходе трасс газопроводов и сооружений на них выполняют следующие работы:

- Систематическую проверку на загазованность колодцев, подвалов, подземных сооружений, выявление утечек газа по внешним признакам
- Удаление из ковров воды, снега, льда и грязи
- Проверку конденсатосборников и удаление конденсата из них
- Наблюдение за дорожными и строительными работами, производимыми вблизи трассы газопроводов.

При обходе газопроводов производят внешний осмотр трасс для определения признаков утечек газа.

## 2.2 Слесаря по обслуживанию внутридомового газового оборудования

· Слесарь по обслуживанию газового оборудования подчиняется непосредственно начальнику газовой службы.

Слесарь должен проходить инструктажи:

- \* вводный — при приеме на работу;
- \* первичный на рабочем месте — при допуске к работе;
- \* повторный — один раз в три месяца;
- \* внеплановый — при изменении технологии выполнения работ или условий труда;

\* целевой — перед производством работ, на которые оформляется наряд-допуск.

Основным положением, устанавливающим режим работы слесаря газового хозяйства являются Правила внутреннего трудового распорядка.

Основной формой обслуживания газового оборудования жилого дома является периодический и профилактический осмотр и ремонт газовых приборов и внутридомового газопровода.

При профилактическом осмотре в обязательном порядке выполняются следующие:

а) Осмотр всех газопроводов начиная от крана на вводе, обмыливание всех соединений с целью проверки состояния и герметичности соединения арматуры.

б) Смазка кранов на вводе, ответвлениях в квартиры и к стоякам по мере необходимости.

в) Проверка креплений на газопроводе – при каждом посещении по графику.

г) Проверка работы арматуры газовых приборов 1 раз в 3 месяца.

д) Снятие горелок и продувка сопел по мере необходимости.

е) Проверка плотности соединений – при каждом посещении по графику.

ж) Регулировка всех горелок плиты – по мере необходимости.

з) Проверка исправности автоматики блок крана и автоматики безопасности у проточных водонагревателей – по графику.

и) Регулирование подачи воды и газа с проверкой работы водонагревателя на разных режимах – по графику.

## 2.3 Слесаря по обслуживанию газового оборудования промпредприятий

К пуску, ремонту и обслуживанию газопроводов и газового оборудования допускаются работники, прошедшие медицинский осмотр, инструктаж по технике безопасности, закончившие производственное обучение и сдавшие экзамен квалификационной комиссии.

## 2.4 Слесаря по обслуживанию оборудования ГНС

### Технология по окраске баллонов

#### 1. Баллоны предназначенные для окраски собирают в накопители



2. Из накопителя по транспортеру баллоны поступают в окрасочное отделение и подвешиваются на теле подвешного контейнера в количестве 40кг

3. Перед окраской баллоны следует освободить от ржавчины, грязи и обезжирить

4. Наружную часть баллонов окрашивают в красный цвет нитро краской

5. Затем наносят по окружности баллонов белой краской наименование газа «Пропан»

6. Во время работы по окраске баллонов необходимо следить за исправной работой вытяжной вентиляции

7. После окраски и просушки баллонов, баллоны транспортируются в накопитель.

#### 5 Слесаря по монтажу газового оборудования

Требование к помещением и к дымоходам при газификации жилых домов природным газом.

Установку газовых отопительных приборов и газовых плит следует предусматривать и нежилых помещениях, имеющих естественное освещение и высоту не менее 2,2 метров, Объем помещения должен быть не менее 7,5 метров, при установке газовой плиты и отопительного аппарата объем помещения должен быть больше на 6 метров, чем для одной газовой плиты.

Внутренний объем помещений для одной газовой плиты следует предусматривать:

а. С двумя горелками- 8 м<sup>3</sup> ;

б. С тремя горелками- 12 м<sup>3</sup> ;

в. С четырьмя горелками- 15 м<sup>3</sup> .

Газовые плиты следует устанавливать у стен из негорючих материалов, расстояние от плиты до стены должно быть не менее 7 см., расстояние между плитой и противоположной стеной должно быть не менее 1 м. Стены из горючих материалов в местах установки следует изолировать негорючими материалами, штукатуркой или кровельной сталью по листу асбеста или

асбокартона толщиной не менее 3 мм. Изоляция должна выступать за габариты плиты на 10 см. с каждой стороны и не менее 80 см. сверху.

Расстояние от газового отопительного аппарата до стены из негорючих материалов должно быть не менее 10 см., до противоположной стены не менее 1 метра, от автоматики до стены 40 см.

Если отопительные аппараты установлены в полуподвальном или в обособленном помещении, в этом случае должен быть установлен сигнализатор загазованности. Помещение, где установлен отопительный аппарат должно иметь вентиляционный канал, для притока свежего воздуха в нижней части двери должен быть зазор между дверью и полом с живым сечением 0,02 м., дверь должна выходить в нежилое помещение.

Установку газового оборудования в ванных комнатах не допускается.

При установке газового отопительного аппарата на деревянном полу, под ним следует предусмотреть изоляцию кровельной сталью по асбесту или асбокартону толщиной не менее 3 мм., выступающим за габариты аппарата по 10 см. в стороны. Кухня или помещение, где устанавливаются отопительные аппараты или водонагреватели должны иметь вентиляционный канал.

Отвод продуктов сгорания должен быть предусмотрен в дымоход. Дымоход и рядом расположенный вентиляционный канал принять одинаковой высоты. Дымоход должен быть обособленным, площадь сечения дымохода не должна быть меньше площади патрубка газового прибора присоединяемого к дымоходу. Дымоходы должны быть вертикальными без уступов. Допускается уклон дымоходов от вертикали до 30 градусов, с отклонением в сторону до 1 метра при обеспечении площади сечения вертикальных участков дымохода. Вертикальные участки должны быть гладкими. Присоединение газовых аппаратов и котлов следует предусматривать трубами изготовленными из кровельной стали. Суммарную длину участков соединительной трубы в новых зданиях следует принимать не более 3 метров, в существующих не более 5 метров. Уклон трубы следует назначать не менее 1,01 м. в сторону газового прибора. Ниже на 25 см. места присоединения дымоотводящей трубы от прибора к дымоходам должно быть предусмотрено устройство для чистки (карман), закрываемое дверкой, размер дверки должен быть таким чтобы, при необходимости возможно было рукой достать до соединительной дымоотводящей трубы для закрытия отверстия дымоотводящей трубы при проверке на срабатываемость автоматики безопасности. Дымоотводящие трубы, прокладываемые через неотапливаемые помещения, при необходимости должны быть покрыты теплоизоляцией. Расстояние от соединительной дымоотводящей трубы до потолка или стены из негорючих материалов следует принимать не менее 5 см., до деревянных оштукатуренных стен и потолков не менее 25 см. Допускается уменьшение указанного расстояния с 25 см. до 10 см. при условии обивки деревянных оштукатуренных стен или потолка кровельной сталью по листу асбеста или асбокартона толщиной не менее 3мм.

Обивка должна выступать за габариты дымоотводящей трубы на 15 см. с каждой стороны. Дымоходы должны быть утеплены, толщина изоляции 5 см., изоляция должна быть защищена от атмосферных осадков фольгой или оцинкованным железом. Утепление должно быть ниже дымохода на 2- 3 см. Расстояние от изоляции до стропил, обрешеток и других деталей кровли из горючих и трудногорючих материалов в свету 130 мм. Дымовые трубы от газовых приборов в зданиях должны быть выведены выше границы ветрового подпора, но не менее 0,5 метров выше конька крыши при расположении их (считая их по горизонтали) не далее 1,5 метра от конька крыши, в уровень с коньком крыши, если они

стоят на расстоянии до 3 метров от конька крыши, не ниже прямой, проведенной от конька крыши вниз под углом 10 градусов к горизонту при расположении более 3 метров от конька крыши

Во всех случаях высота трубы над прилегающей частью крыши должна быть не менее 0,5 метров, а для домов с совмещенной кровлей (плоской крышей) не менее 0,8 метра. Установка на дымоходах зонтов и дефлекторов не допускается, если вблизи дымовой трубы находятся более высокие части здания, строения или деревья, дымовые трубы должны выводиться выше зоны ветрового подпора.

Настенное газоиспользующее оборудование на стенах из негорючих материалов на расстоянии не менее 2 см. от стены, на стенах из трудногорючих материалов и горючих, изолированных негорючими материалами.

Высота установки счетчиков следует принимать 1,6 м. от уровня пола помещения, расстояние от стены до счетчика 2-5 см. Установка счетчика внутри помещения предусматривать вне влажно- и тепловыделений в естественно проветриваемых местах. Не рекомендуется устанавливать счетчики в застойных зонах помещения (в нишах). Расстояние от мест установки счетчика до газового оборудования по радиусу не менее 0,8 м. от бытовой газовой плиты и отопительного оборудования 0,5 м. от дверных и оконных проемов