

ГАЗОВЫЕ СЕТИ И УСТАНОВКИ

Лекция №1



ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ. СВОЙСТВА ГАЗОВ

Газовые сети и установки.

Лекция №1

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ И ХРАНИЛИЩАХ ГАЗА

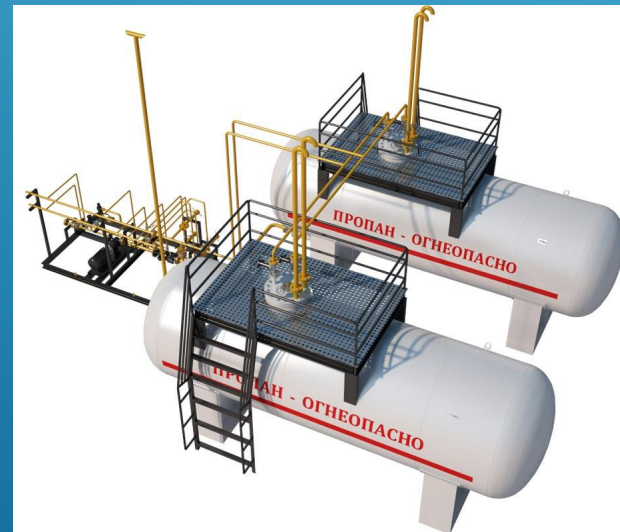


Система газоснабжения городов и населенных пунктов состоит из источников газоснабжения, газораспределительной сети и внутреннего оборудования.

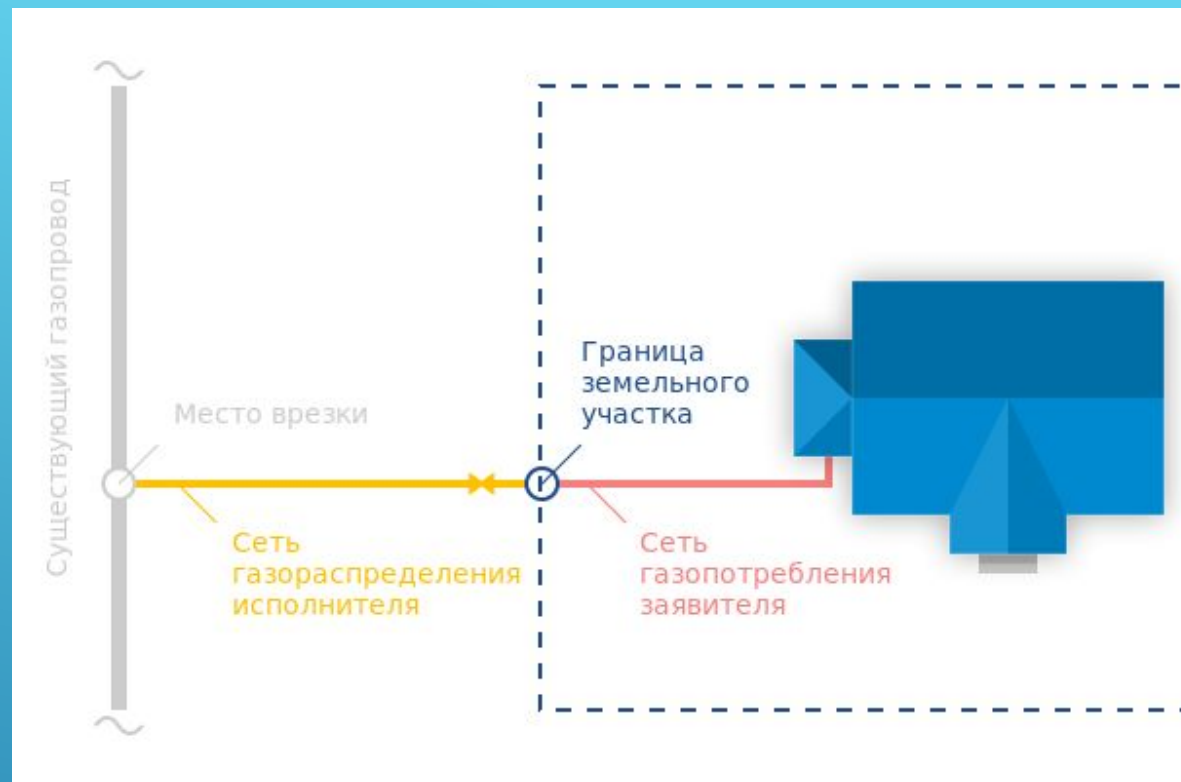
Газораспределительная система (ГОСТ Р 53865-2010 «Системы газораспределительные. Термины и определения») - имущественный производственный комплекс, состоящий из организационно и экономически взаимосвязанных объектов, предназначенных для транспортировки и подачи газа непосредственно потребителям.

Источник газа (ГОСТ Р 53865-2010) – элемент системы газоснабжения, предназначенный для подачи газа в сеть газораспределения.

К источникам газа относят: газораспределительные станции, пункты замера расхода газа, пункты редуцирования газа, контрольно-распределительные пункты, резервуарные установки сжиженных углеводородных газов, групповые баллонные установки сжиженных углеводородных газов и т.п.



Сеть газораспределения (газораспределительная сеть) - технологический комплекс, состоящий из распределительных газопроводов, газопроводов-вводов, сооружений, технических устройств.

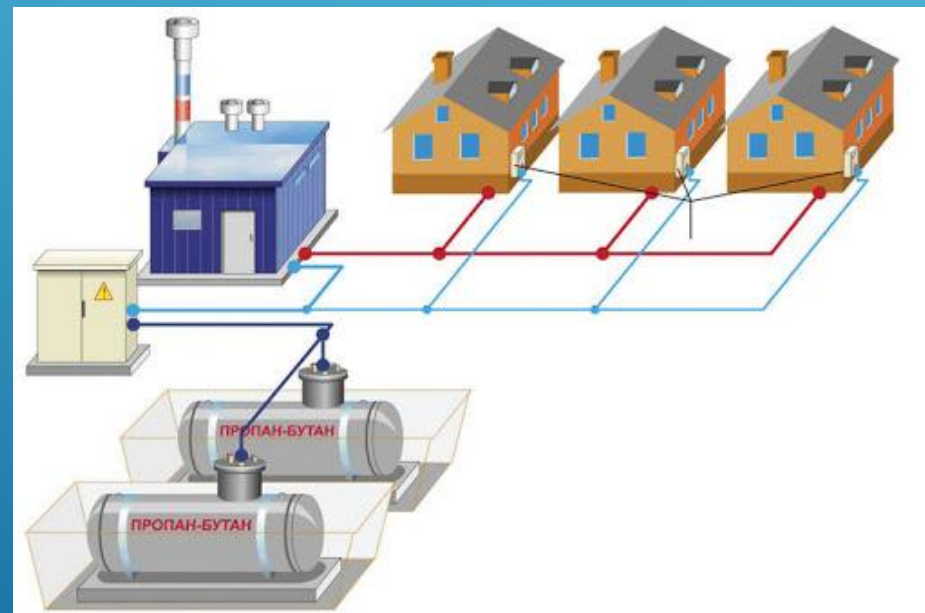


Распределительный газопровод – газопровод, проложенный от источника газа до места присоединения газопровода-ввода.


Газопровод-ввод – газопровод, проложенный от места присоединения к распределительному газопроводу до сети газопотребления.

Современные распределительные системы газоснабжения представляют собой (в зависимости от объекта) сложный комплекс сооружений, состоящий из следующих основных элементов:

- ▶ газовых сетей высокого, среднего и низкого давлений;
- ▶ газораспределительных станций (ГРС);
- ▶ газорегуляторных пунктов (ГРП) и установок (ГРУ).




Классификация газопроводов по виду транспортируемого газа:

- ▶ Природного газа
 - ▶ Попутного нефтяного газа
 - ▶ СУГ (С3 и С4)
 - ▶ Искусственного газа
 - ▶ Сжиженного газа
 - ▶ Синтез-газа
 - ▶ Биогаза
 - ▶ Газовоздушной смеси
- 

Классификация газопроводов по давлению:

- ▶ Низкого давления (до 0,005 МПа)
- ▶ Среднего давления (0,005 – 0,3 МПа)
- ▶ Высокого давления второй категории (0,3 – 0,6 МПа)
- ▶ Высокого давления первой категории (0,6 – 1,2 МПа для природного газа; 0,6 – 1,6 МПа для СУГ)

Классификация газопроводов по местоположению относительно точки земли:

- ▶ Подземные (подводные)
 - ▶ Надземные (Надводные)
- 
- A decorative graphic consisting of several parallel white lines of varying lengths, slanted upwards from left to right, located in the bottom right corner of the slide.


Классификация газопроводов по расположению в системе планирования городов и населенных пунктов:

- ▶ Наружные (уличные, внутриквартальные, дворовые, межцеховые, межпоселковые)
- ▶ Внутренние (внутрицеховые)

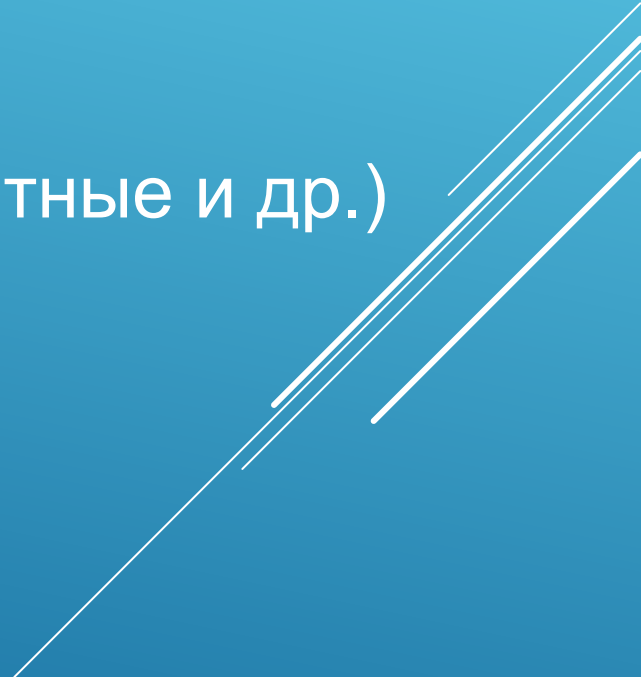
Классификация газопроводов по назначению в системе газоснабжения:

- ▶ Городские магистральные
- ▶ Распределительные
- ▶ Вводы
- ▶ Вводные
- ▶ Импульсные
- ▶ Продувочные

Классификация газопроводов по принципу построения:

- ▶ Кольцевые
 - ▶ Тупиковые
 - ▶ Смешанные
- 

Классификация газопроводов по материалу труб:

- ▶ Металлические (стальные, медные);
 - ▶ Неметаллические (пластмассовые, асбестоцементные и др.)
- 

Основные термины и определения приведены в:

- ▶ СП 62.13330.2011* «Газораспределительные системы. Актуализированная редакция СНиП 42-01-2002 (с Изменениями N 1, 2, 3)»
- ▶ ГОСТ Р 53865-2019 «Системы газораспределительные. Термины и определения»
- ▶ ГОСТ 24856-2014 «Арматура трубопроводная. Термины и определения»

В соответствии с СП 62.13330 давление в газопроводах не должно превышать значений, указанных в таблице

Потребители газа, размещенные в зданиях	Давление газа, МПа
1 Исключена	
2 Производственные здания, в которых величина давления газа обусловлена требованиями производства	До 1,2 включ. (для природного газа) До 1,6 включ. (для СУГ)
3 Прочие производственные здания	До 0,6 (включ.)
4 Бытовые здания производственного назначения отдельно стоящие, пристроенные к производственным зданиям и встроенные в эти здания. Отдельно стоящие общественные здания производственного назначения	До 0,3 (включ.)
5 Административные и бытовые здания, не вошедшие в пункт 4 таблицы	До 0,005 (включ.)
6 Котельные:	
отдельно стоящие	До 0,6 (включ.)
пристроенные, встроенные и крышные производственных зданий	До 0,6 (включ.)
пристроенные, встроенные и крышные общественных, административных и бытовых зданий	До 0,005 (включ.)
пристроенные и крышные жилых зданий	До 0,005 (включ.)
7 Общественные здания (кроме зданий, установка газоиспользующего оборудования в которых не допускается) и складские помещения	до 0,005 (включ.)
8 Жилые здания	До 0,005 (включ.)

Газопроводы низкого давления служат для подачи газа в жилые и общественные здания, а также на предприятия бытового обслуживания.

Газопроводы среднего и высокого (II категории) давления служат для питания городских распределительных сетей низкого и среднего давления через ПРГ, а также для подачи газа в газопроводы промышленных и коммунальных предприятий.

Городские газопроводы высокого (I категории) давления являются основными для газоснабжения крупных городов. По ним газ подают через ПРГ в сети среднего и высокого давления, а также промышленным предприятиям, нуждающимся в газе высокого давления.

Связь между газопроводами различного давления осуществляется через ГРС и ГРП.

Современная схема городской системы газоснабжения имеет ярко выраженную иерархичность в построении, связанную с классификацией газопроводов по давлению. Верхний уровень составляют газопроводы высокого давления – главный стержень городской газовой сети. Сеть высокого давления должна быть (при определенных условиях) резервированная, т.е. закольцованная. Сеть высокого давления гидравлически соединяется с остальной частью системы через регуляторы давления, оснащенные предохранительными устройствами, предотвращающими повышение давления после регуляторов.

Газопроводы крупных населенных пунктов (в том числе и городские) можно разделить на три группы:

- ▶ Распределительные – для подачи газа к промышленным потребителям, коммунальным предприятиям и в районы жилых домов. Эти газопроводы могут быть высокого, среднего и низкого давления, кольцевые и тупиковые;
- ▶ Абонентские ответвления, подающие газ от распределительных сетей к отдельным потребителям;
- ▶ Внутридомовые газопроводы.

Для поселков и небольших городов рекомендуется одноступенчатая система газоснабжения.

Для средних городов принимают двухступенчатую (или более) систему газоснабжения. Газ от ГРС по сети среднего или высокого давления подают к крупным потребителям и к пунктам редуцирования газа, а от последних – в распределительную сеть города.

Для крупных городов рекомендуется трехступенчатая система газоснабжения. Для крупных и средних городов газовые сети необходимо проектировать кольцевыми, а для мелких городов и поселков, как высокая степень давления, так и низкая может быть запроектирована тупиковой. Окончательный вариант применяется после технико-экономического обоснования.

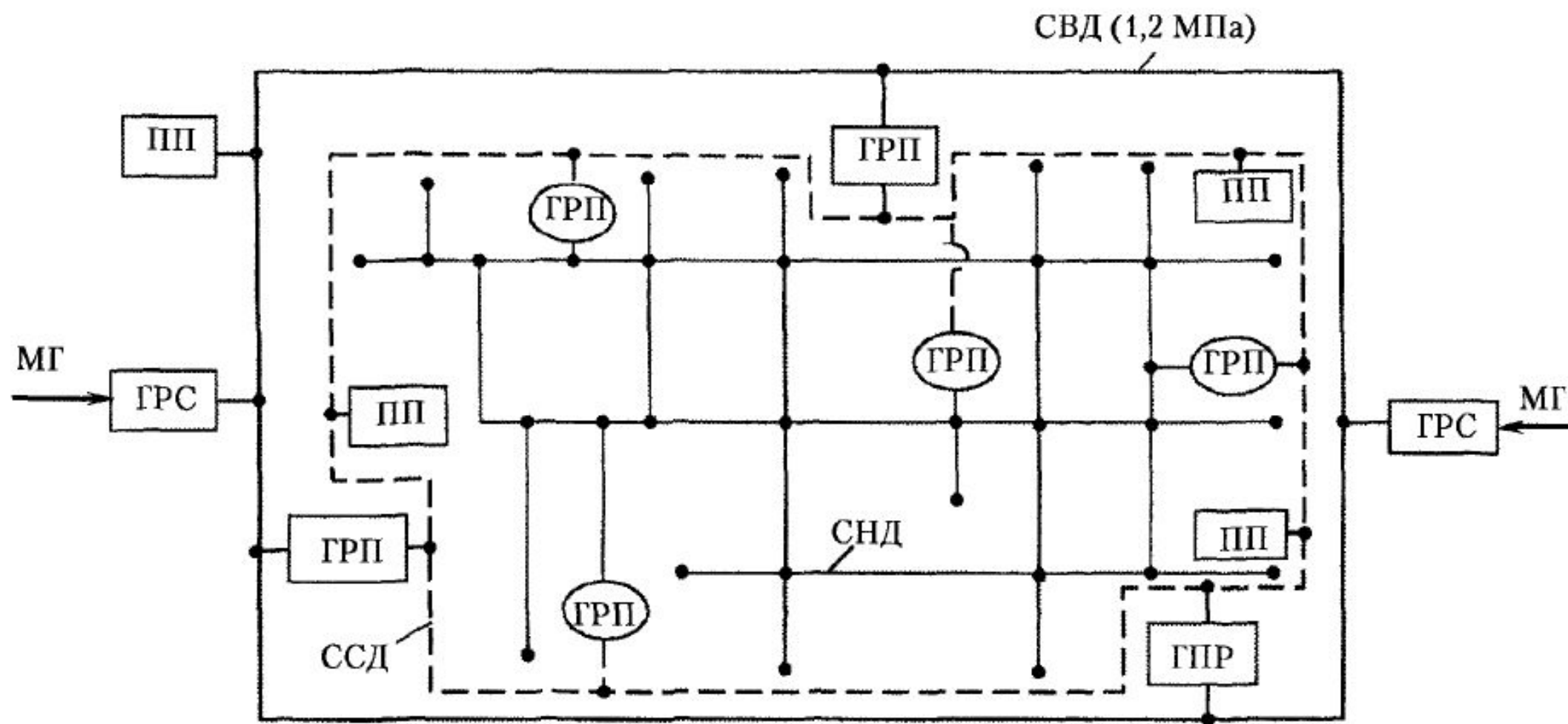


Рис. 1.1. Многоступенчатая система газоснабжения крупного города:

СВД — сеть высокого давления; ССД — сеть среднего давления; СНД — сеть низкого давления; ПП — промышленное предприятие; МГ — магистральный газопровод

Природный газ подают в города по магистральным газопроводам, которые целесообразно эксплуатировать при максимальной проектной пропускной способности. Фактической потреблением газа характеризуется резкой неравномерностью в течение суток, недели и различных периодов года. Неравномерность связана с изменением погоды, специфическими особенностями некоторых производств, укладом жизни населения и др.

Сезонная неравномерность потребления газа требует аккумуляции больших количеств газа в летний период и отпущения его потребителям в холодный зимний период года. Единственным приемлемым способом создания таких запасов газа является его хранение в подземных хранилищах, которые могут быть созданы в истощенных нефтяных и газовых месторождениях, а также в водяных пластах.

Для хранения относительно небольших количеств газа на заводах и в газораспределительной сети применяют газгольдеры низкого и высокого давлений. В газовой сети газгольдеры служат для покрытия часовой неравномерности потребления газа в течение суток.

Для приема, хранения и поставок потребителям сжиженных углеводородных газов строят раздаточные станции и кустовые базы. Для хранения больших объемов сжиженных газов сооружают подземные хранилища в искусственных или естественных выработках в плотных непроницаемых породах.

ГОРЮЧИЕ ГАЗЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ



Для газоснабжения используются природные и искусственные газы.

По ГОСТ 5542-2014 содержание вредных примесей в граммах на 100 м³ газа не должно превышать:

- ▶ сероводорода – 2;
- ▶ аммиака – 2;
- ▶ цианистых соединений в пересчете на синильную кислоту (HCN) – 5;
- ▶ смолы и пыли – 0,1;
- ▶ нафталина – 10 (летом) и 5 (зимой).

Содержание влаги не должно превышать количеств, насыщающих газ при температуре 20°С (зимой) и 35°С (летом). Если газ транспортируют на большие расстояния, то его осушают.

Природные газы представляют собой смесь углеводородов метанового ряда.

Природные газы можно разделить на три группы.

- ▶ Газы, добываемые из чисто газовых месторождений, на 82...98% состоящие из метана, являются сухими или тощими;
- ▶ Газы газоконденсатных месторождений, содержащие 80...95% метана. Это смесь сухого газа и конденсата. Пары конденсата представляют собой смесь паров тяжелых углеводородов, содержащих C_5 и выше (бензин, лигроин, керосин);
- ▶ Газы нефтяных месторождений (попутные нефтяные газы), содержащие 30...70 % метана и значительное количество тяжелых углеводородов.

Сухие газы легче воздуха, а жирные – обычно тяжелее.

Теплотворная способность (1) – 31000 – 38000 кДж/м³, а (3) – 38000 – 63000 кДж/м³.

Таблица 1.2

Характеристики природных газов некоторых северных месторождений России

Месторождение	Состав газа (по объему), %								Плотность (при 0 °С и 0,1013 МПа), кг/м ³	Низшая теплота сгорания, кДж/ (кг · К)
	Метан CH ₄	Этан C ₂ H ₆	Пропан C ₃ H ₈	Бутан C ₄ H ₁₀	Пентан C ₅ H ₁₂	Диоксид углерода CO ₂	Азот N ₂	Серово- дород H ₂ S		
Уренгойское	98,8	0,70	—	—	0,010	0,290	0,980	Отс.	0,729	35509
Ямбургское	98,6	0,60	—	—	0,010	0,190	1,120	То же	0,714	35430
Медвежье	99,2	0,120	—	—	0,010	0,010	0,600	»	0,722	35685
Бованенковское	99,0	0,028	0,007	0,003	—	0,063	0,855	Следы	0,723	35534
Заполярье	98,4	0,070	0,010	—	0,010	0,200	1,500	Отс.	0,728	35375
Тазовское	98,6	0,100	0,030	0,020	0,010	0,200	1,000	То же	0,727	35509
Губкинское	98,7	0,130	0,010	0,005	0,010	0,150	1,300	»	0,730	35521
Комсомольское	97,2	0,120	0,010	—	0,010	0,100	2,560	»	0,735	35004
Вынгапуровское	95,1	0,320	—	—	—	0,190	4,300	»	0,745	31328
Юбилейное	98,4	0,070	0,010	—	—	0,100	1,100	»	0,729	35360
Мессояхское	97,6	0,100	0,030	0,010	0,010	0,060	1,600	»	0,724	35138
Березовское	94,1	1,200	0,300	0,100	0,060	0,500	3,000	»	0,755	35277
Вуктыльское	81,8	8,800	2,600	0,940	0,300	0,300	5,100	»	0,859	38828

Искусственные газы. При термической обработке твердых топлив в зависимости от способа переработки получают газы сухой перегонки и генераторные газы.

Сухая перегонка – процесс разложения твердого топлива без доступа воздуха. Получают газ, смолу и коксовый остаток (температура процесса 900 – 1100 °С).

Примерный состав коксового газа

Наименование	Обозначение	Содержание, %
Водород	H ₂	50 - 60
Метан	CH ₄	20 - 30
Гомологи метана	C _n H _m	2
Моноксид углерода	CO	5 - 7
Диоксид углерода	CO ₂	2 - 3
Кислород	O ₂	0,6
Азот	N ₂	2 - 3,5

Газификация – процесс термохимической переработки топлива. В результате реакции углерода топлива с кислородом и водяным паром образуются горючие газы: оксид углерода и водород. Одновременно с процессом газификации протекает частичная сухая перегонка топлива.

Продукты газификации топлива: горючий газ, зола и шлаки (в газогенераторах). При подаче в газогенератор паровоздушной смеси получают генераторный газ, называемый смешанным, примерный состав которого:

Наименование	Обозначение	Содержание, %
Водород	H ₂	14,0
Метан	CH ₄	1,0
Сероводород	H ₂ S	0,2
Моноксид углерода	CO	28,0
Диоксид углерода	CO ₂	6,0
Кислород	O ₂	0,2
Азот	N ₂	50,6

Теплотворность – 5500 кДж/м³, плотность – 1,15 кг/м³.

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГАЗА



При расчете некоторых свойств газов, а также производительности и пропускной способности газопроводов различают следующие условия состояния газа:

- Нормальные условия: температура - 0°C , давление – $0,101325$ МПа (760 мм. рт. ст.);
- Стандартные условия 20°C : температура - 20°C , давление – $0,101325$ МПа (760 мм. рт. ст.);
- Стандартные условия 15°C : температура - 15°C , давление – $0,101325$ МПа (760 мм. рт. ст.);

Плотность воздуха при различных условиях равна:

$$\rho_{\text{в}0} = 1,293 \text{ кг/м}^3 \text{ (0}^\circ\text{C, 760 мм. рт. ст.);}$$

$$\rho_{\text{в}15} = 1,225 \text{ кг/м}^3 \text{ (15}^\circ\text{C, 760 мм. рт. ст.);}$$

$$\rho_{\text{в}20} = 1,206 \text{ кг/м}^3 \text{ (20}^\circ\text{C, 760 мм. рт. ст.).}$$

В расчетах часто пользуются величиной **относительной плотности газа**, численно равной отношению плотности газа ρ_{Γ} к плотности воздуха $\rho_{\text{возд}}$ при одних и тех же условиях

$$\Delta = \frac{\rho_{\Gamma}}{\rho_{\text{возд}}}. \quad (4.4)$$

Удобство использования относительной плотности заключается в том, что величина не зависит от давления и температуры.

При нормальных условиях плотность газа можно определить по его молярной массе

$$\rho_{н.у.} = \frac{M_{\Gamma}}{22,41},$$

где M_{Γ} — молярная масса природного газа, кг/кмоль,

$$M_{\Gamma} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot M_{\Gamma i}; \quad (4.2)$$

$a_i, M_{\Gamma i}$ — соответственно объемная доля и молярная масса i -го компонента; 22,41 — объем одного киломоля газа при нормальных условиях, м³/кмоль.

Плотность газа (газовой смеси) определяется по правилу аддитивности (пропорционального сложения)

$$\rho_{\Gamma} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \rho_{\Gamma i}, \quad (4.1)$$

где a_i — объемная (мольная) доля i -го компонента смеси, имеющего плотность $\rho_{\Gamma i}$; n — число компонентов смеси.

Согласно уравнению Менделеева - Клапейрона (состояния)

$$\rho_{\Gamma} = \frac{P}{Z \cdot R \cdot T},$$

где P, T — давление и температура в системе; Z, R — соответственно коэффициент сжимаемости и газовая постоянная смеси.

Т.е. плотность газа (газовой смеси) зависит от термодинамических условий, и поэтому данные о ней должны сопровождаться указанием давления и температуры (условий), для которых она найдена.

УСЛОВИЯ

```
graph TD; A[УСЛОВИЯ] --- B[Нормальные]; A --- C[Стандартные];
```

Нормальные

$$T = 273,15 \text{ К}$$

$$P = 0,1013 \text{ МПа}$$

Стандартные

$$T = 293,15 \text{ К}$$

$$P = 0,1013 \text{ МПа}$$

Пересчет плотности газа с одних параметров состояния (P^* , T^* , Z^*) на другие (P , T , Z) можно осуществить по формуле

$$\rho_{\Gamma} = \rho_{\Gamma}^* \cdot \frac{P \cdot T^* \cdot Z^*}{P^* \cdot T \cdot Z}, \quad (4.3)$$

где P^* , T^* , Z^* – соответственно абсолютное давление, абсолютная температура и коэффициент сжимаемости, при которых известна плотность газа ρ_{Γ}^* ; P , T , Z – аналогичные параметры, при которых надо определить плотность газа ρ_{Γ}^* .

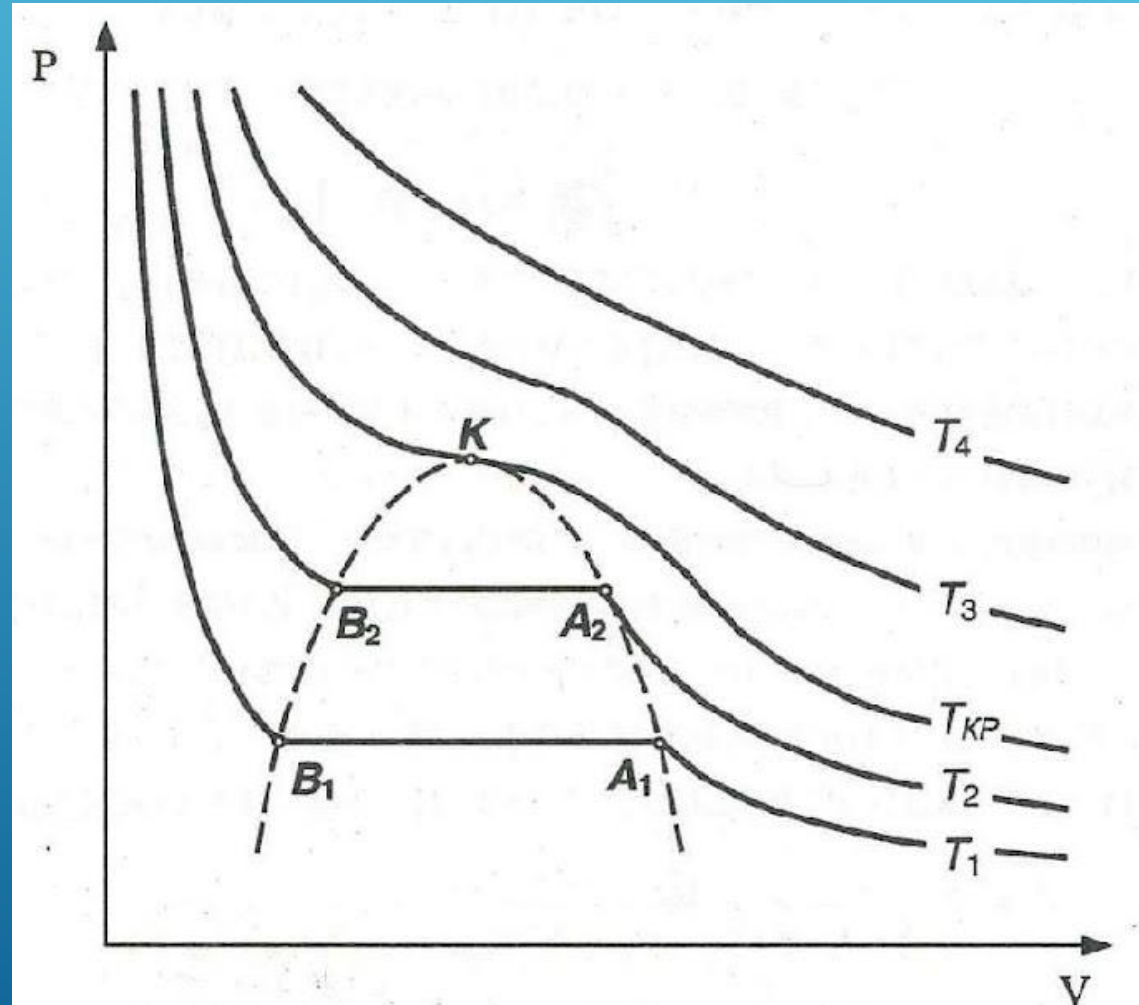
Газовая постоянная природного газа (Дж/(кг·К)) зависит от состава газовой смеси и вычисляется по формуле

$$R = \frac{\bar{R}}{M_r}, \quad (4.5)$$

где \bar{R} — универсальная газовая постоянная,

$$\bar{R} = 8314,3 \text{ Дж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К}).$$

Критические параметры индивидуальных газов. Состояние индивидуального (однокомпонентного) газа определяется зависимостью между давлением P , объемом V и температурой T .



Геометрическое место точек A_i , B_i ограничивает область двухфазного состояния газа. Наивысшая из этих точек (К) соответствует давлению $P_{кр}$, объему $V_{кр}$ и температуре $T_{кр}$, которые называются ***критическими***. При температуре выше критической газ не переходит в жидкость ни при каких давлениях. И наоборот, при давлении выше критического конденсат не станет газом ни при какой температуре.

Псевдокритические температура и давление газовой смеси определяются по формулам

$$T_{ПК} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot T_{КРi}, \quad (4.6)$$

$$P_{ПК} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot P_{КРi}, \quad (4.7)$$

где $T_{КРi}$, $P_{КРi}$ – соответственно абсолютные критические температура и давление i -го компонента газовой смеси.

Псевдокритические параметры природного газа в соответствии с нормами технологического проектирования магистральных газопроводов могут быть также найдены по известной плотности газовой смеси $\rho_{СТ}$ при стандартных условиях

$$T_{ПК} = 155,24 \cdot (0,564 + \rho_{СТ}); \quad (4.8)$$

$$P_{ПК} = 0,1737 \cdot (26,831 - \rho_{СТ}). \quad (4.9)$$

Согласно закону соответственных состояний, различные газы, имеющие равные приведенные температуру и давление, обладают одинаковыми термодинамическими условиями, в том числе и сжимаемостью.

Коэффициент сжимаемости учитывает отклонение свойств природного газа от законов идеального газа. Коэффициент сжимаемости Z определяется по специальным номограммам в зависимости от приведенных температуры и давления, либо по формуле, рекомендованной отраслевыми нормами проектирования

$$Z = 1 - \frac{0,241 \cdot P_{\text{пр}}}{1 - 1,68 \cdot T_{\text{пр}} + 0,78 \cdot T_{\text{пр}}^2 + 0,0107 \cdot T_{\text{пр}}^3}, \quad (4.10)$$

где $P_{\text{пр}}$, $T_{\text{пр}}$ – соответственно приведенные к псевдокритическим условиям значения давления и температуры газа, которые вычисляются по формулам

$$P_{\text{пр}} = \frac{P}{P_{\text{ПК}}}; \quad T_{\text{пр}} = \frac{T}{T_{\text{ПК}}}. \quad (4.11)$$

Вязкость газа является мерой внутреннего трения и определяет величину сопротивления при его движении в газопроводе. Величина вязкости газа, как правило, значительно меньше, чем вязкость жидкости, а характер ее изменения в зависимости от температуры и давления является сложным. При низких давлениях с повышением температуры вязкость газа увеличивается, так как возрастает частота столкновения его молекул. При высоких давлениях газ настолько уплотнен, что определяющее влияние на его вязкость, как и у жидкостей, оказывают силы межмолекулярного притяжения, которые с ростом температуры ослабляются, и соответственно, вязкость газа уменьшается.

Различают динамическую и кинематическую вязкости газа.

Динамическая вязкость газа (Па·с) определяется по формуле

$$\mu_{\Gamma} = 5,1 \cdot 10^{-6} \left[1 + \rho_{CT} \cdot (1,1 - 0,25 \cdot \rho_{CT}) \right] \times \dots$$
$$\dots \times \left[0,037 + T_{\Gamma\Gamma} \cdot (1 - 0,104 \cdot T_{\Gamma\Gamma}) \right] \cdot \left[1 + \frac{P_{\Gamma\Gamma}^2}{30 \cdot (T_{\Gamma\Gamma} - 1)} \right]. \quad (4.12)$$

Кинематическая вязкость газа определяется как отношение динамической вязкости к плотности газа при одних и тех же значениях температуры и давления

$$\nu_{\Gamma} = \frac{\mu_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}}. \quad (4.13)$$

Теплоемкость газа зависит от его состава, давления и температуры. Изобарная теплоемкость (кДж/(кг·К)) природного газа с содержанием метана 85 % и более согласно отраслевым нормам проектирования газопроводов определяется по формуле

$$c_p = 1,695 + 1,838 \cdot 10^{-3} \cdot T + 1,96 \cdot 10^6 \frac{(P - 0,1)}{T^3}. \quad (4.14)$$

Понижение давления по длине газопровода и дросселирование газа на ГРС сопровождается охлаждением газа. Это явление связано с эффектом Джоуля - Томсона. Количественное изменение температуры при уменьшении его давления характеризуется **коэффициентом Джоуля - Томсона** (К/МПа). Для природных газов с содержанием метана 85 % и более отраслевыми нормами рекомендуется зависимость

$$Di = \frac{1}{c_p} \left(\frac{0,98 \cdot 10^6}{T^2} - 1,5 \right), \quad (4.15)$$

где c_p — средняя изобарная теплоемкость газа, определяемая для средних значений температуры и давления в процессе дросселирования.

Теплотворная способность (теплота сгорания) – тепло, выделяемое при сгорании единицы объема или массы газа при определенных условиях. Различают высшую и низшую теплотворную способность топлива.

Теплота сгорания природных газов определяется по правилу аддитивности с учетом теплоты сгорания индивидуальных компонентов и их молярной (объемной доли) в составе природного газа:

$$Q_H^c = \sum_{i=1}^n Q_{H_i} a_i^c, \quad (1.19)$$

где a_i^c – молярная доля i -го компонента в составе сухого (индекс c) газа;

ВСЕ!

