

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ Высшего профессионального образования
«Северо-Кавказский федеральный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к практическим занятиям
по дисциплине**

**Проектирование газопроводов
по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»
направленность (профиль) «Теплогазоснабжение и вентиляция»**

Практическое занятие 1,2

РЕГУЛЯТОРЫ ДАВЛЕНИЯ

Теоретическая часть

Регулятор давления (РД)– устройство для регулирования давления газа и поддержания его на заданном уровне независимо от расхода газа.

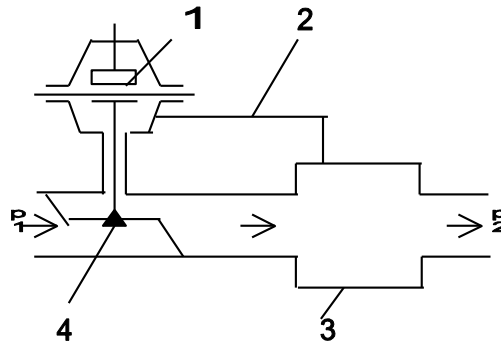


Рисунок 2 – Регулятор давления :

- 1 – мембранно-грузовой привод;
- 2 –импульсная трубка;
- 3 – объект регулирования;
- 4 –дроссельный орган.

Принцип действия основан на равновесии сил, действующих на мембрану (груз сверху и давление p_2 снизу), которое достигается при определенном положении дроссельного органа 4. В этом положении сила давления p_2 на мембрану снизу и другие силы, действующие в этом направлении, компенсируются силой тяжести груза, действующей на мембрану сверху. Условия такого равновесия имеют вид:

$$M_{np} = M_{ст} \quad (1)$$

$$\sum N_i = 0 \quad , \quad (2)$$

где M_{np} , $M_{ст}$ – соответственно расходы притока и стока, $m^3/ч$; N – сила, действующая на мембрану.

Меняя массу груза, мы можем регулировать давление газа p_2 . Регулятор, работающий по рассмотренному принципу (наличие груза), называется астатическим. Эти регуляторы после возмущения приводят регулируемое давление к заданному значению независимо от величины нагрузки и положения регулирующего органа. Таким образом, равновесие системы при астатическом регулировании может наступить только при заданном значении регулируемого параметра, причем регулирующий орган может занимать любое положение.

Если объект обладает свойством самовыравнивания, то процесс регулирования будет затухающим, а регулирование устойчивым.

Под самовыравниванием понимают такое свойство объекта, при котором после нарушения равновесия объект способен сам восстановить равновесие между притоком и стоком, но при другом значении регулируемого параметра.

Для стабилизации процесса в регулятор вводят стабилизирующие устройства, в частности, жесткую обратную связь. Такое регулирование называют статическим. Регуляторы этого типа характеризуются тем, что значение регулируемого давления при равновесии системы зависит не только от настройки регулятора, но и от нагрузки или от положения регулирующего органа. Каждому значению регулируемого параметра соответствует одно определенное положение регулирующего органа. Таким образом, статические регуляторы характеризуются неравномерностью, под которой понимают величину изменения регулируемого параметра, необходимую для перестановки регулирующего органа из одного крайнего положения в другое. Если груз у астатического РД заменить пружиной, то регулятор станет статическим, а пружина будет стабилизирующим устройством. Регуляторы давления РД бывают прямого и непрямого действия, а также промежуточного типа. У РД прямого действия регулирующий орган (клапан)

перемещается усилием, возникающим в мембране без использования энергии извне. У РД непрямого действия усилие, возникающее в чувствительном элементе, приводит к действию управляющий элемент, который открывает доступ энергии от постороннего источника (сжатого воздуха, газа и т. д.) в сервомотор, а последний развивает усилие, необходимое для перемещения регулирующего органа. РД промежуточного типа имеют усилители, но для перестановки регулирующего органа используют энергию регулируемой среды.

Если давление газа регулируется после регулятора, то РД называется «после себя»; если регулируется давление до регулятора, то регулятор называется «до себя».

2 Вопросы к практическому занятию

1. Что называется коэффициентом сжимаемости газа?
2. Охарактеризовать коэффициент пропускной способности.
3. Объяснить принцип работы РД.

Практическое занятие 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРОВ ГАЗОПРОВОДОВ

Теоретическая часть

При проектировании систем газоснабжения необходимо определить расчетный расход газа на участке сети, выбрать схему газоснабжения и выполнить гидравлический расчет (определить диаметр газопровода (d , мм).

Приняты следующие категории газопотребления в населенном пункте: бытовое, коммунально-бытовое, отопление и вентиляция, промышленное.

Определение диаметров газопроводов производится в гидравлическом расчете газовых сетей: по заданному расходу и удельным потерям давления на участках газовых сетей по номограммам для природного газа. Номограммы построены при абсолютной эквивалентной шероховатости $k_s = 0,1$ мм (рисунок 6.2 – 6.6 [1]).

Упрощенно определение диаметра участка газопровода газовой сети среднего давления показано на рисунке 4.1.

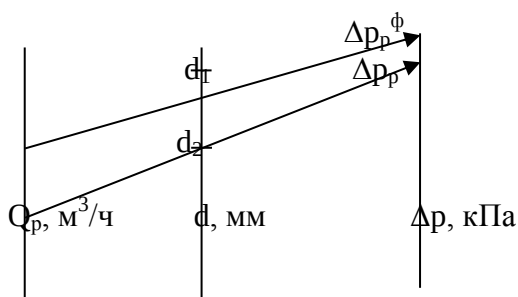


Рисунок 1. – Номограмма для расчёта сети среднего давления

Из рисунка видно, что диаметры газопроводов могут принимать промежуточные значения (d_1 и d_2). Из двух стандартных значений диаметров выбираем наибольшее значение и определяем действительное значение потерь давления (Δp , кПа).

При расчете распределительных городских сетей потери давления на местных сопротивлениях обычно учитывают как долю потерь на трение. СНиП 42–01–2002 «Газораспределительные системы» рекомендует принимать потери на местных сопротивлениях величиной, равной 5 – 10 % потерь на трение.

Если отдельные участки газопроводов имеют разные геодезические отметки, то в газопроводах низкого давления возникает дополнительное избыточное давление, величина которого пропорциональна разности плотностей воздуха и газа:

$$\Delta p = g (\rho_g - \rho_v) H, \text{ Па}, \quad (1)$$

где H – разность геометрических отметок начала и конца участка, считая по ходу газа.

Дополнительное избыточное давление учитывается при расчете городских и промышленных газопроводов низкого давления при резко выраженном переменном рельефе местности, а также при расчете внутридомовых и внутрицеховых газопроводов низкого давления.

Пример решения задачи

1. Определить эффективность работы газопровода диаметром 1220 мм с протяженностью 125 км при начальном давлении 56 кгс/см² и конечном давлении 38 кгс/см². Пропускная способность газопровода – 45 млн м³/сут.

Решение

По номограмме на рисунке 3.8 [1] определяем $P_k = 38$ кгс/см², $P_n = 56$ кгс/см², $l = 125$ км, $q = 45$ млн м³/сут, тогда $d_y = 1220$ мм, а эффективность работы газопровода $E = 92$ %.

Задача

1. Определить пропускную способность участка газопровода $d_y=1200$ мм протяженностью $l = 140$ км при начальном и конечном давлениях соответственно 56 кгс/см^2 и 38 кгс/см^2 и эффективности работы газопровода $E=0,9$.

Вопросы к практическому занятию

1. Дать определение массового расхода.
2. Уравнение сплошности потока газа.

Практическое занятие 4

ПОТЕРИ ДАВЛЕНИЯ В ГАЗОПРОВОДАХ

Теоретическая часть

Движение газа по трубам происходит от участков с более высоким давлением к участкам с более низким давлением. На пути движения газ преодолевает сопротивления, которые состояются из линейных и местных сопротивлений.

Линейные сопротивления возникают в прямолинейных отрезках трубопроводов, местные – в местах изменения скорости и направления движения газа, а также разделение или слияние его потоков вследствие трения частиц газа о стенки труб. В результате потери энергии на преодолении линейных и местных сопротивлений давление в трубопроводах уменьшается.

При расчете газопровода возникает одна из двух задач: определить диаметр труб по заданному расходу газа аппаратами, номинальному давлению и максимальным потерям давления, не превышающим 10 % от номинального, или определить потери давления до самого неблагоприятно расположенного аппарата. Первая задача возникает при проектировании объекта, вторая – при поверочном расчете действующей системы в случае, если газовые аппараты работают с показателями, отличающимися от нормальных. Для решения обеих задач производят гидравлический расчет. Потери давления (H , Па) на преодоление сил трения в прямолинейных отрезках трубопровода определяют по формуле Дарси:

$$H = \frac{\lambda l}{d} \cdot \frac{\rho \omega^2}{2} \quad (1)$$

Потери давления на преодоление сил трения в местных сопротивлениях (H , Па) определяют по формуле Дарси – Вейсбаха:

$$H_m = \sum \xi \omega^2 \rho / 2 \quad (2)$$

где λ – коэффициент трения; l – длина трубопровода, м; d – диаметр трубопровода, м; ω – скорость движения газа, м/с; ρ – плотность газа или жидкости, кг/м³; $\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений (КМС).

КМС определяют экспериментально или берут по справочным таблицам отдельно для каждого вида.

Задача

Определить линейные потери давления для стального газопровода протяженностью 150 км.

Вопросы к практическому занятию

1. Охарактеризовать принцип определения потерь давления в газопроводах.
2. Дать понятие местных сопротивлений участков газопроводов.

Практическое занятие 5

РЕГУЛЯТОРЫ ДАВЛЕНИЯ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Теоретическая часть

Регулятор давления (РД)– устройство для регулирования давления газа и поддержания его на заданном уровне независимо от расхода газа.

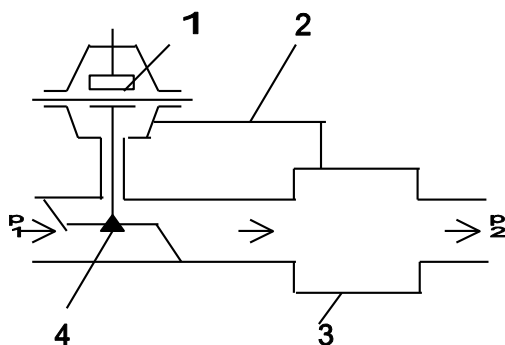


Рисунок 2 – Регулятор давления :

- 1 – мембранно-грузовой привод;
- 2 –импульсная трубка;
- 3 – объект регулирования;
- 4 –дроссельный орган.

Принцип действия основан на равновесии сил, действующих на мембрану (груз сверху и давление p_2 снизу), которое достигается при определенном положении дроссельного органа 4. В этом положении сила давления p_2 на мембрану снизу и другие силы, действующие в этом направлении, компенсируются силой тяжести груза, действующей на мембрану сверху. Условия такого равновесия имеют вид:

$$M_{np} = M_{cm} \quad 1$$

$$\sum N_i = 0 \quad , \quad 2$$

где M_{np} , M_{cm} – соответственно расходы притока и стока, $m^3/ч$; N – сила, действующая на мембрану.

Меняя массу груза, мы можем регулировать давление газа p_2 . Регулятор, работающий по рассмотренному принципу (наличие груза), называется астатическим. Эти регуляторы после возмущения приводят регулируемое давление к заданному значению независимо от величины нагрузки и положения регулирующего органа. Таким образом, равновесие системы при астатическом регулировании может наступить только при заданном значении регулируемого параметра, причем регулирующий орган может занимать любое положение.

Если объект обладает свойством самовыравнивания, то процесс регулирования будет затухающим, а регулирование устойчивым.

Под самовыравниванием понимают такое свойство объекта, при котором после нарушения равновесия объект способен сам восстановить равновесие между притоком и стоком, но при другом значении регулируемого параметра.

Для стабилизации процесса в регулятор вводят стабилизирующие устройства, в частности, жесткую обратную связь. Такое регулирование называют статическим. Регуляторы этого типа характеризуются тем, что значение регулируемого давления при равновесии системы зависит не только от настройки регулятора, но и от нагрузки или от положения регулирующего органа. Каждому значению регулируемого параметра соответствует одно определенное положение регулирующего органа. Таким образом, статические регуляторы характеризуются неравномерностью, под которой понимают величину изменения регулируемого параметра, необходимую для перестановки регулирующего органа из одного крайнего положения в другое. Если груз у астатического РД заменить пружиной, то регулятор станет статическим, а пружина будет стабилизирующим устройством. Регуляторы давления РД бывают прямого и непрямого действия, а также промежуточного типа. У РД прямого действия регулирующий орган (клапан)

перемещается усилием, возникающим в мембране без использования энергии извне. У РД непрямого действия усилие, возникающее в чувствительном элементе, приводит к действию управляющий элемент, который открывает доступ энергии от постороннего источника (сжатого воздуха, газа и т. д.) в сервомотор, а последний развивает усилие, необходимое для перемещения регулирующего органа. РД промежуточного типа имеют усилители, но для перестановки регулирующего органа используют энергию регулируемой среды.

Если давление газа регулируется после регулятора, то РД называется «после себя»; если регулируется давление до регулятора, то регулятор называется «до себя».

2 Вопросы к практическому занятию

1. Что называется коэффициентом сжимаемости газа?
2. Охарактеризовать коэффициент пропускной способности.
3. Объяснить принцип работы РД.

Практическое занятие 6

ПОТРЕБЛЕНИЕ ГАЗА В НАСЕЛЕННОМ ПУНКТЕ

Теоретическая часть

Приняты следующие категории газопотребления в населенном пункте: бытовое, коммунально-бытовое, отопление и вентиляция, промышленное.

Для расчета бытового и коммунально-бытового потребления используются нормы согласно СНиП. СНиП нормирует нормы расхода тепла на определенный вид потребления и по отношению к конкретному показателю потребления. Например, вид потребления бытовое (квартиры) – показатель потребления количество тепла в МДж на 1 чел/год.

1. Рассмотрим методику расчета годового потребления для категории бытовое потребление:

$$Q_k = Y_k N (q_{k1} \cdot z_1 + q_{k2} \cdot z_2 + q_{k3} \cdot z_3), \text{ МДж}, \quad 6.1$$

где Y_k – доля охвата населения газоснабжением; N – число населения, чел; q_k – норма расхода тепла на 1 чел/год в квартирах 1-го, 2-го и 3-го типов, МДж; z – доля людей, проживающих в квартирах 1-го, 2-го и 3-го типов.

Квартиры 1-го типа имеют центральное горячее водоснабжение; 2-го типа имеют газовые водонагреватели; 3-го типа не имеют горячего водоснабжения.

2. Коммунально-бытовое потребление – это потребление тепла прачечными, банями, пекарнями, больницами и т.д. Используются формулы, например, для прачечных:

$$Q_n = 100 (Z_n \cdot Y_n \cdot N) / 1000 \cdot q_n, \text{ МДж}, \quad 2$$

где Z_n – доля людей, пользующихся прачечной, чел; Y_n – степень охвата прачечных газоснабжением; N – общее число населения чел; $100/1000$ – норма накопления белья (100 тонн белья на 1000 чел/год); q_n – расход теплоты в прачечных на стирку 1 т сухого белья.

3. Отопление и вентиляция зданий:

$$Q_{o.v} = [24(I+K)(t_{в.н.} - t_{ср.о.})/(t_{в.н.} - t_{р.о.}) + ZK_1K(t_{в.н.} - t_{ср.о.})/(t_{в.н.} - t_{р.в.})] qFn / \eta, \quad \text{МДж}, \quad 3$$

где K – коэффициент расхода теплоты на отопление; K_1 – коэффициент расхода на вентиляцию; $t_{в.н.}$ – температура внутреннего воздуха; $t_{ср.о.}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный сезон; $t_{р.о.}$ – расчетная температура наружного воздуха для отопления; $t_{р.в.}$ – расчетная температура наружного воздуха для вентиляции; q – показатель максимального часового расхода теплоты на отопление жилых зданий, МДж/(час · м²); F – жилая площадь отапливаемых зданий, м²; η – КПД отопительной установки; n_0 – продолжительность отопительного периода, сут.

4. Расход тепла на горячее водоснабжение:

$$Q_{г.в.} = 24 q_{г.в.} N [n_0 + (350 - n_0)(60 - t_{х.л.}) / (60 - t_{х.з.}) \beta] / \eta_{г.в.}, \text{ МДж}, \quad 4$$

где $q_{г.в.}$ – среднечасовой расход теплоты на горячее водоснабжение, МДж/(чел · час); N – число жителей, чел; n_0 – продолжительность отопительного периода, сут; $t_{х.л.}$, $t_{х.з.}$ – температура водопроводной воды в летний период и зимний период; $\eta_{г.в.}$ – КПД агрегата; β – коэффициент снижения расхода воды летом.

5. Промышленное потребление обычно задано проектом предприятия.

Транзитный газопровод представляет собой трубопровод, от которого отходит много абонентских ответвлений и по которому газ передается в последующие участки газовой сети.

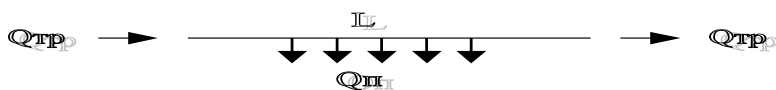


Рисунок 3. – Схема транзитного газопровода:

$Q_{гр}$ – транзитный расход газа, м³/ час;

Q_n – путевой расход газа, м³/ час;

L – длина транзитного газопровода, м.

При расчете газовых сетей используется удельный сетевой расход газа:

$$q = Q_n / L, \text{ м}^3 / \text{час с пог. м.} \quad 5$$

Для упрощения сети нужно заменить множество абонентских ответвлений сосредоточенными расходами в начале и конце участка, тогда по участку расчетный расход будет равен:

$$Q_p = Q_{m.p} + \alpha Q_n, \text{ м}^3 / \text{час}, \quad 6$$

где α – доля путевого расхода, которая сосредотачивается в конце участка.

Вопросы к практическому занятию

1. Дать определение неравномерности потребления.
2. Методика определения путевых и транзитных расходов.
3. Регулирование неравномерности потребления газа.

Практическое занятие 7

РАСЧЕТ ГАЗОВЫХ СЕТЕЙ

Теоретическая часть

Гидравлическим расчетом газовых сетей низкого давления предусматривается определение диаметров газопроводов по отдельным участкам газовой сети.

7.1.1 Порядок расчета газовой сети низкого давления:

1. На генплан города наносят кольцевые и тупиковые газовые сети. При этом следует иметь в виду, что 1–2 этажные застройки (кварталы) закольцовываются поквартально, а при 3-х и более этажных застройках допускается подводить газ не менее, чем с двух сторон квартала. Следовательно, при многоэтажной застройке в одно кольцо можно включить несколько кварталов.

2. Определяют удельный часовой расход газа для каждого типа застройки квартала:

$$V_{y\partial i} = V_{p\partial i} / F, \text{ м}^3 / (\text{ч} \cdot \text{га}), \quad 1$$

где $V_{p\partial i}$ – часовой расход газа для данного типа застройки, $\text{м}^3 / \text{час}$; F – площадь застройки, га.

3. Вычисляют расходы газа по кольцам и тупиковые расходы:

$$V_{ki} = f_{ki} V_{y\partial i}, \text{ м}^3 / \text{ч}, \quad 2$$

где f_{ki} – площадь кольца, га.

4. Вычисляют удельные расходы газа на единицу длины периметра кольца:

$$V_{y\partial li} = V_{ki} / P_i, \text{ м}^3 / \text{ч на пог. м}, \quad 3$$

где P_i – длина периметра кольца, м.

5. Определяют путевые расходы газа по отдельным участкам:

$$V_{ni} = V_{y\partial li} \cdot l_i, \text{ м}^3 / \text{ч}, \quad 4$$

где l_i – длина участка кольца, м.

6. Определяют узловые расходы газа:

$$V_{y\partial li} = 0,5 \sum V_{ni}, \text{ м}^3 / \text{ч}. \quad 5$$

7. Намечают на схеме расчетные направления потоков газа.

8. Вычисляют расчетные расходы газа по отдельным участкам из условия равновесия узлов, то есть соблюдение равенства количества газа, подходящего к узлу и отходящего от него:

$$\sum V_{pi} - V_{y\partial li} = 0, \quad 6$$

где V_{pi} , $V_{y\partial li}$ – расчетные и узловые расходы соответственно, $\text{м}^3 / \text{ч}$.

Если в уравнении равновесия узлов неизвестны несколько расходов, то расходами (за исключением одного) задаются, а один из них вычисляют.

9. Диаметры кольцевой сети низкого давления определяют по заданному перепаду давления газа и расчетным расходам. Для этого определяют средние удельные потери давления на участках:

$$\Delta P_i = \Delta P / (l, \sum l_i), \text{ мм вод. ст. на пог. м}, \quad 7$$

где $\Delta P = 120 \text{ мм вод. ст.}$ – расчётный перепад давлений от узла газораспределительного пункта (ГРП) до точек схода.

Далее порядок расчёта следующий:

а) по средним удельным потерям давления и расчётным расходам газа, по номограмме (рисунок 6.4[1]) определяют диаметры трубопроводов и действительную потерю давления по принятому диаметру газопровода;

б) умножают действительные удельные потери давления на длину участков трубопровода и определяют линейные потери на соответствующих участках;

в) определяют общие потери давления на участках с учетом местных сопротивлений, которые составляют 10 % от линейных потерь;

г) суммируют общие потери давления по участкам кольца (по часовой стрелке – положительные, против – отрицательные). Невязка полуколец не должна превышать 5 %.

Расчет газовых сетей среднего давления

Порядок расчета:

а) для заданных условий проекта на генплане определяется конфигурация газовой сети среднего давления и длины всех участков;

б) по заданной и рассчитанной нагрузке определяются расчетные расходы участков сети;

в) на основании исходных данных определяются требуемое начальное и конечное давления на всех участках сети ;

г) определение диаметров участков производится с помощью номограмм следующим образом: для каждого участка определяется величина

$$a_{cp} = (P_n^2 - P_k^2) / (l, I \sum L), \text{ МПа}^2 / \text{м} \quad 8$$

По a_{cp} и расходу газа определяем диаметры газопроводов для каждого участка сети по номограмме. При выборе конкретного диаметра газопровода из номограммы определяем действительное значение a_d и уточняем давления в узлах сети:

$$P_n = (P_k^2 + l, I \sum L a_d)^{0,5}, \text{ МПа} , \quad 9$$

$$P_k = (P_n^2 - l, I \sum L a_d)^{0,5}, \text{ МПа} . \quad 10$$

Полученные значения не должны отличаться от заданных более чем на 1 %.

Задача

1. Рассчитать заданную преподавателем сеть среднего давления или низкого давления.

Вопросы к практическому занятию

1. Что называется точкой схода?

2. Дать методику гидравлического расчета сети среднего и низкого давления. В чем ее отличие от расчета сети высокого давления?

Практическое занятие 8

РАСЧЕТ ВНУТРИДОМОВОЙ СЕТИ

8.1 Теоретическая часть

Расчет внутридомового газопровода производят после выбора и размещения оборудования и составления схемы газопровода.

8.2 Пример решения задач

Расчет газопровода выполнен для двухсекционного пятиэтажного жилого дома, снабжаемого природным газом. В доме имеются 10 трехкомнатных и 10 четырехкомнатных квартир. Объем кухонь – по 15 м^3 , в кухнях установлены четырехконфорочные плиты с духовыми шкафами ПТ-4 и водонагреватели КГН-56.

Газопроводы жилого дома присоединяют к внутриквартальным газопроводам низкого давления. На каждом стояке 1-го этажа устанавливают отключающие краны. Краны также ставят перед каждым газовым прибором. Газопроводы прокладывают без уклона.

Расчет выполняем в такой последовательности.

1. Определяем расчетные расходы на всех участках.
2. Задаем диаметры участков по номограмме сети низкого давления.
3. Определяем сумму КМС для каждого участка.
4. По графикам [1] находим удельные потери давления на трение и эквивалентные длины участков.
5. Определяем расчетные длины участков и потери давления на них.
6. Рассчитываем дополнительное избыточное давление по формуле:

$$\Delta P = \pm g H (1,29 - \rho), \text{ Па}, \quad (8.1)$$

где H – разность геометрических отметок конца и начала участка, считая по ходу газа, м.

7. Определяем потери давления на участках с учетом дополнительного давления.
8. Определяем суммарные потери в газопроводах с учетом потерь в трубах и арматуре приборов.

Расчетные расходы определяются по методике, изложенной в [1], для внутридомового газопровода.

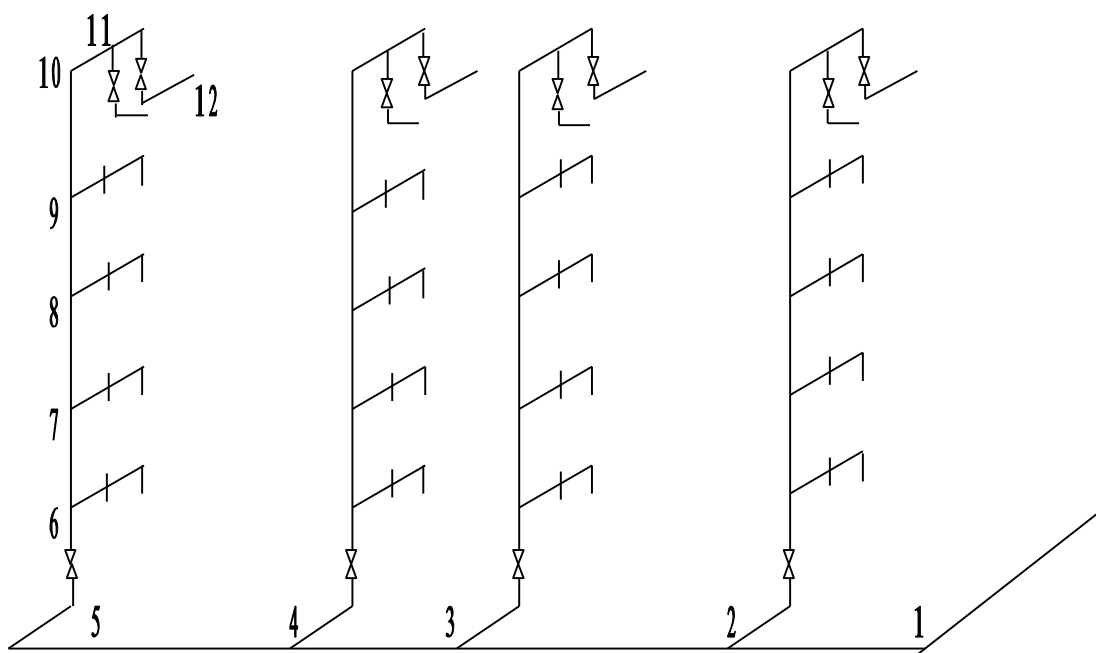


Рисунок 4 – Аксонометрическая схема газопровода

К участку 12–11–10–9 присоединена одна трехкомнатная квартира:

$$Q_p = 23,982 \cdot 0,084 = 2,02 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Участок 9–8. К нему присоединены двухкомнатные и трехкомнатные квартиры:

$$Q_p = 15,473 \cdot 0,084 \cdot 2 = 2,6 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Аналогично определяют расчетные расходы на остальных участках:

Участок 8–7.

$$Q_p = 12,483 \cdot 0,084 \cdot 3 = 3,15 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Участок 7–6.

$$Q_p = 11,729 \cdot 0,084 \cdot 4 = 2,6 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Участок 6–5–4.

$$Q_p = 10,644 \cdot 0,084 \cdot 5 = 2,6 \text{ м}^3/\text{ч}$$

К участку 4–3 присоединены стояки, проходящие через четырехкомнатные квартиры.

$$Q_p = 9,39 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Участок 3–2.

$$Q_p = 14,31 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Участок 2–1.

$$\hat{Q}_{24} = 18,78 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Все дальнейшие расчеты рекомендует вести в таблицу.

Задача

1. Выполнить гидравлический расчет внутридомового газопровода для трехсекционного четырехэтажного жилого дома. План дома принять произвольным.

Вопросы к практическому занятию

1. Методика определения расчетных расходов газа.
2. Определение диаметров внутридомового газопровода.

Практическое занятие 9

РАСЧЕТ ИНЖЕКЦИОННОЙ ГОРЕЛКИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Теоретическая часть

Для расчета пламенных инжекционных горелок низкого давления необходимы следующие исходные данные: номинальная тепловая мощность горелки Q_n , Вт; плотность газа ρ , кг/м³; низшая теплота сгорания газа Q_n^c , МДж/м³; давление газа перед горелкой P_z , Па; коэффициент первичного воздуха α .

Основным расчетным параметром инжекционной горелки является диаметр сопла d_1 (мм), для определения которого предварительно находят номинальный расход газа горелкой по формуле:

$$B_n = 3600 Q_n / (Q_n^c \cdot 10^6), \text{ м}^3/\text{час} . \quad (9.1)$$

Второй расчетный параметр – диаметр горловины смесительной трубки:

$$d_3 = d_1 [(1 + U)(1 + U \rho_g / \rho)]^{0.5}, \text{ мм}, \quad (9.2)$$

где U – объемная кратность инжекции, м³/м³.

Формула для определения объемной кратности инжекции имеет вид:

$$U = \alpha V_0, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (9.3)$$

где V_0 – теоретический расход воздуха, м³/м³.

Геометрические размеры конфузора принимаются в зависимости от диаметра горловины из условий, обеспечивающих хороший подсос воздуха при минимальном аэродинамическом сопротивлении:

$$d_2 = (1,5 - 2) d_3, \text{ мм} . \quad (9.4)$$

Геометрические размеры диффузора определяются из условий, обеспечивающих выравнивание концентрации газа и воздуха в его выходном сечении при малом аэродинамическом сопротивлении:

$$d_4 = (2 - 2,2) d_3, \text{ мм} . \quad (9.5)$$

Для обеспечения устойчивого горения, в частности, для предотвращения проскока пламени на горелку, предусматривают стабилизирующие устройства различной конструкции. В инжекционных горелках низкого давления эти устройства выполняют в виде теплоотводящих приливов в зоне горения, то есть у отверстий для выхода газозвушной смеси.

9.2 Пример решения задачи

1. Определить основные размеры инжекционной пламенной односопловой горелки низкого давления. Исходные данные: $Q_n = 19800$ Вт; $\rho = 0,74$ кг/м³; $Q_n^c = 35,6$ МДж/м³; $\alpha = 0,5$; давление газа $P_z = 1300$ Па; $V_0 = 9,25$ м³/м³; площадь поперечного сечения $F_{d_1} = 12,5$ мм².

Номинальный расход газа горелкой

$$B_n = 3600 \cdot 19800 / (35,6 \cdot 10^6) = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Для рассчитываемой горелки сопло принимаем с цилиндрической выходной частью и отношением $l_{d_1}/d_1 = 0,8$.

Диаметр сопла будет равен:

$$d_1 = (4 F_{d_1} / \pi)^{0.5} = (4 \cdot 12,5 / 3,14)^{0.5} = 4 \text{ мм}$$

Объемная кратность инжекции определяется по формуле:

$$U = 0,5 \cdot 9,25 = 4,625 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Диаметр горловины смесительной трубки определяют по формуле:

$$d_3 = 4 [(1 + 4,625)(1 + 4,625 \cdot 1,29 / 0,74)]^{0,5} = 27\text{мм}$$

9.3 Задача

1. Определить расчетную скорость, суммарную площадь отверстий для выхода газозодушнoй смеси и число отверстий для горелки, рассмотренной выше.

9.4 Вопросы к практическому занятию

1. Методика расчета инъекционной горелки низкого давления.

.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ Высшего образования
«Северо-Кавказский федеральный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине
Проектирование газопроводов
по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»
направленность (профиль) «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Содержание

Введение

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса
2. Цели и основные задачи самостоятельной работы
3. Виды самостоятельной работы
4. Организация самостоятельной работы
5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы
6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы
7. Критерии оценки самостоятельной работы

Введение

Целью изучения дисциплины «Газоснабжение» является формирование компетенций ПК-2, ПК-4, ПК-8 будущего бакалавра по направлению подготовки 08.03.01 Строительство

Задачами дисциплины являются получение знаний об основных методах проектирования, монтажа и эксплуатации систем газоснабжения.

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности профессионала, способного к саморазвитию, самообразованию и инновационной деятельности.

Успешное усвоение дисциплин по различным образовательным программам предполагает активное, творческое участие обучающегося на всех этапах ее освоения путем планомерной, повседневной не только аудиторной, но и самостоятельной работы.

Самостоятельная работа студентов является одной из важнейших составляющих образовательного процесса. Самостоятельная работа – это процесс активного, целенаправленного приобретения обучающимися новых знаний, умений без непосредственного участия преподавателя, характеризующийся предметной направленностью, эффективным контролем и оценкой результатов деятельности обучающегося.

Объем самостоятельной работы (в часах) определен учебным планом.

Методические указания по организации самостоятельной работы студентов (далее – СРС) являются обязательной частью учебно-методических комплексов учебных дисциплин, реализуемых на кафедре теплогазоснабжения и экспертизы недвижимости по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, направленность (профиль) Теплогазоснабжение и вентиляция.

Методические указания по организации самостоятельной работы для студентов, наряду с методическими указаниями по выполнению лабораторных работ, практических занятий и работе с лекционным материалом; по формам текущего, промежуточного и итогового контроля; по выполнению, расчетно-графических работ, составляют единый комплекс методического обеспечения УМК каждой учебной дисциплины.

Цель методических указаний СРС – определить роль и место самостоятельной работы студентов в учебном процессе; конкретизировать ее уровни, формы и виды; обобщить методы и приемы выполнения определенных типов учебных заданий; объяснить критерии оценивания.

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа обучающихся, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой обучающихся).

Самостоятельная работа обучающихся является важным видом учебной и научной деятельности. В связи с этим, обучение включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРО должна стать эффективной и целенаправленной работой.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи высшего образования – «подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности».

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы обучающихся над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста обучающихся, воспитание творческой активности и инициативы.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие обучающихся в практических занятиях, лабораторных работах, выполнении контрольных и

расчетно-графических работ. При этом самостоятельная работа обучающихся играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. Они включают в себя:

- изучение и систематизацию официальных государственных документов - законов, постановлений, указов, нормативно-инструкционных и справочных материалов с использованием информационно-поисковых систем «Консультант-плюс», «Гарант», глобальной сети «Интернет»;
- изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств официальной, статистической, периодической и научной информации;
- подготовку докладов и рефератов, написание выпускных квалификационных работ;
- участие в работе студенческих конференций, комплексных научных исследованиях.

Самостоятельная работа приобщает студентов к научному творчеству, поиску и решению актуальных современных проблем.

2. Цели и основные задачи самостоятельной работы

Ведущая цель организации и осуществления СРМ должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра. При организации СРМ важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для деятельности.

Цели самостоятельной работы:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей, активности обучающихся, творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Основными задачами СРМ являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений магистров;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании КП, для эффективной подготовки к промежуточной аттестации - экзамену.

3. Виды самостоятельной работы

Самостоятельная работа включает:

- самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы;
- подготовка к лекциям;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к лабораторным работам;
- выполнение курсового проекта;
- подготовка к текущей и промежуточной аттестации;

Для выполнения самостоятельной работы студентам необходимо ознакомиться с содержанием рабочей программы дисциплины, с целями и задачами дисциплины, ее связями с другими дисциплинами образовательной программы, методическими разработками по данной дисциплине, с графиком консультаций преподавателей кафедры, с перечнем ресурсов

информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

4. Организация самостоятельной работы

Самостоятельная работа студента – способ активного, целенаправленного приобретения новых знаний и умений без непосредственного участия в этом процессе преподавателей.

Организационные мероприятия, обеспечивающие развитие навыков самостоятельной работы студентов, воспитание их творческой активности и инициативы, а также, в целом, обеспечивающие нормальное функционирование самостоятельной работы студентов, должны основываться на следующих предпосылках:

- самостоятельная работа должна быть конкретной по своей предметной направленности;
- самостоятельная работа должна сопровождаться эффективным, непрерывным контролем и оценкой ее результатов.

Предметно и содержательно самостоятельная работа определяется федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (уровень бакалавриата), основной образовательной программой, учебным планом, рабочими программами дисциплин.

Контроль самостоятельной работы и оценка ее результатов организуются как единство двух форм:

- самоконтроль и самооценка;
- внешний контроль и оценка со стороны преподавателей, государственных экзаменационных комиссий и др.

5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы

Организация самостоятельной работы магистрантов направлена на решение следующих задач:

а) закрепление, обобщение и повторение пройденного учебного материала; применение полученных знаний в традиционных педагогических ситуациях и при решении задач высокого уровня неопределенности;

б) совершенствование умений и навыков по изучаемой дисциплине; формирование межпредметных, общеучебных, исследовательских умений;

в) активизация учебной и научно-исследовательской деятельности обучающихся, ее максимальная индивидуализация с учетом индивидуальных особенностей и академической успеваемости студентов;

г) формирование готовности студентов к самообразованию в течение всей жизни.

Видами занятий для самостоятельной работы могут быть:

Для овладения знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, конспектов лекций);
- составление плана текста, графическое изображение структуры текста;
- конспектирование текста; выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными документами;
- учебно-исследовательская работа, использование аудио и видеозаписей, компьютерной техники, интернета и др.

Для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций, повторная работа над материалом;
- составление плана и тезисов ответа;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- ответы на контрольные вопросы;
- аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, контент-анализ);
- составление библиографии.

Для формирования умений:

- выполнение курсового проекта;
- проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности.

Для формирования компетенций:

- принятие решений по конкретной ситуации;
- грамотная формулировка задания для исполнения;
- организация контроля по сферам деятельности.

6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы

Система вузовского обучения подразумевает значительную самостоятельность студентов в планировании и организации своей деятельности.

6.1 Самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы

Работа с литературой является основным методом самостоятельного овладения знаниями. Это сложный процесс, требующий выработки определенных навыков, поэтому студенту нужно обязательно научиться работать с книгой.

Осмысление литературы требует системного подхода к освоению материала. В работе с литературой системный подход предусматривает не только тщательное (иногда многократное) чтение текста и изучение специальной литературы, но и обращение к дополнительным источникам – справочникам, энциклопедиям, словарям. Эти источники – важное подспорье в самостоятельной работе студента, поскольку глубокое изучение именно их материалов позволит студенту уверенно «распознавать», а затем самостоятельно оперировать теоретическими категориями и понятиями, следовательно – освоить новейшую научную терминологию. Такого рода работа с литературой обеспечивает решение студентом поставленной перед ним задачи (подготовка к практическому занятию, выполнение контрольной работы и т.д.).

Выбор литературы для изучения делается обычно по предварительному списку литературы, который выдал преподаватель, либо путем самостоятельного отбора материалов. После этого непосредственно начинается изучение материала, изложенного в книге.

Наиболее надежный способ собрать нужный материал – составить план или конспект. *Конспект, план-конспект* – это последовательная фиксация отобранной и обдуманной в процессе чтения информации.

Цель – зафиксировать, переработать тот или иной научный текст. Они позволяют восстановить в памяти ранее прочитанное без дополнительного обращения к самой книге.

План – это «скелет» текста, он компактно отражает последовательность изложения материала. План как форма записи обычно более подробно передает содержание частей текста, чем оглавление книги или подзаголовки статей. Самые важные места в книге отмечайте, используя для этого легко стирающийся карандаш или вкладные листки. Запись любых планов следует делать так, чтобы ее легко можно было охватить одним взглядом.

Вся рекомендуемая для изучения курса литература подразделяется на основную и дополнительную. К основной литературе относятся источники, необходимые для полного и твердого усвоения учебного материала (учебники и учебные пособия). Необходимость изучения дополнительной литературы диктуется прежде всего тем, что в учебной литературе (учебниках) зачастую остаются неосвещенными современные проблемы, а также не находят отражения новые документы, события, явления, научные открытия последних лет. Поэтому дополнительная литература рекомендуется для более углубленного изучения программного материала.

6.2 Подготовка к лекциям и работа с конспектом лекций

При подготовке к лекции студенты должны предварительно ознакомиться с учебным материалом по данной теме и при конспектировании лекции акцентировать внимание на новых теоретических положениях, правовых и иных данных, не нашедших отражения в учебной литературе.

Лекция имеет цель – систематизация основы научных знаний по дисциплине, сконцентрировать внимание обучающихся на наиболее актуальных проблемах.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы. Дает рекомендации на практические занятия и указания на самостоятельную работу.

Предварительное не углубленное знакомство с материалом очередной лекции дает многое. Студенты получают общее представление о ее содержании и структуре, о главных и второстепенных вопросах, о терминах и определениях. Все это облегчает работу на лекции и делает ее целеустремленной.

Основные моменты лекционных занятий конспектируются. Отдельные темы предлагаются для самостоятельного изучения с обязательным составлением конспекта.

Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим обучающимся.

Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях.

Самостоятельную работу следует начинать с доработки конспекта, желательно в тот же день, пока время не стерло содержание лекции из памяти. С целью доработки необходимо в первую очередь прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить описки, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл. Далее прочитать материал по рекомендуемой литературе, разрешая в ходе чтения, возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополнения и исправляя свои записи. Записи должны быть наглядными, для чего следует применять различные способы выделений. В ходе доработки конспекта углубляются, расширяются и закрепляются знания, а также дополняется, исправляется и совершенствуется конспект.

Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

6.3 Подготовка к практическим занятиям

Целью практических занятий является получение базовых навыков по применению теоретических знаний. Это необходимо при решении всевозможных задач на различных этапах практической деятельности.

Задачи подготовки и проведения практических занятий:

- закрепление и углубление знаний;
- создание практических навыков и умений в практической деятельности и повседневной жизни для: поиска, первичного анализа и использования информации;
- анализа конкретных ситуаций и условий их реализации;
- изложения и аргументации собственных суждений по практической ситуации;
- развитие стремления и способности к самостоятельному исследованию изучаемых реальностей, их критической оценки.

Подготовка к практическим занятиям включает: изучение нормативных актов, учебной литературы, лекционного материала; подготовка рефератов.

Практические занятия по дисциплине проводятся в форме различных дискуссий (семинарских занятий) и (или) анализа конкретных ситуаций (выполнение практических заданий).

6.4 Подготовка к лабораторным работам

Лабораторные работы составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки магистрантов. Они направлены на формирование учебных и профессиональных практических умений.

На лабораторных занятиях задания выполняются по материалам согласно плану.

До начала лабораторных занятий обучающиеся должны пройти инструктаж по технике безопасности.

Перед выполнением лабораторной работы обучающийся должен изучить теоретический материал по теме лабораторной работы по основной и дополнительной литературе, ознакомиться с ресурсами информационно - телекоммуникационной сети «Интернет». При этом обучающийся должен учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы.

В ходе подготовки к лабораторным занятиям необходимо ознакомиться с методическими указаниями; с порядком ее выполнения; освоить основные понятия; изучить алгоритмы; методы и технологии, необходимые для реализации этих алгоритмов; ответить на контрольные вопросы.

После выполнения работы производится обработка полученных результатов, составляется и защищается отчет. Без защиты отчета студент, как правило, не допускается к очередной работе.

После подбора литературы целесообразно сделать рабочий вариант плана работы. В нем нужно выделить основные вопросы темы и параграфы, раскрывающие их содержание.

Составленный список литературы и предварительный вариант плана уточняются, согласуются на очередной консультации с руководителем.

Затем начинается следующий этап работы - изучение литературы. Только внимательно читая и конспектируя литературу, можно разобраться в основных вопросах темы и подготовиться

к самостоятельному (авторскому) изложению содержания КП (проекта). Конспектируя первоисточники, необходимо отразить основную идею автора и его позицию по исследуемому вопросу, выявить проблемы и наметить задачи для дальнейшего изучения данных проблем.

Систематизация и анализ изученной литературы по проблеме исследования позволяют написать первую (теоретическую) главу.

Выполнение КП (проекта) предполагает проведение определенного исследования. На основе разработанного плана обучающийся осуществляет сбор фактического материала, необходимых цифровых данных. Затем полученные результаты подвергаются анализу, статистической, математической обработке и представляются в виде текстового описания, таблиц, графиков, диаграмм. Программа исследования и анализ полученных результатов составляют содержание второй (аналитической) главы.

В третьей (рекомендательной) части должны быть отражены мероприятия, рекомендации по рассматриваемым проблемам.

Рабочий вариант текста КП (проекта) предоставляется руководителю на проверку. На основе рабочего варианта текста руководитель вместе со студентом обсуждает возможности доработки текста, его оформление. После доработки КП (проект) сдается на кафедру для ее оценивания руководителем.

Защита КП (проекта) обучающихся проходит в сроки, установленные графиком учебного процесса.

При подготовке к защите КП (проекта) обучающийся должен знать основные положения работы, выявленные проблемы и мероприятия по их устранению, перспективы развития рассматриваемой экономической ситуации.

Защита КП (проекта) проводится на кафедре при наличии у обучающегося КП (проекта). Оценка - дифференцирована. Преподаватель оценивает защиту КП (проекта) и заполняет графу "оценка" в ведомости и в зачетной книжке.

Не допускаются к защите варианты КП, найденные в Интернет, сканированные варианты учебников и учебных пособий, а также копии ранее написанных работ.

6.8 Выполнение курсового проекта

Расчетно-графическая работа является важным элементом учебного процесса, предусмотрена учебным планом.

Цель курсового проекта – систематизация и закрепление теоретических знаний, и развитие практических навыков по решению задач в области теплогазоснабжения и вентиляции, выработка навыков анализа данных и формулирования выводов по полученным результатам.

Задачами курсового проекта являются:

- развитие навыков самостоятельной работы в области решения практических задач;
- подбор и систематизация теоретического материала, являющегося основой для решения практической задачи, развитие навыков самостоятельной работы с учебной и методической литературой;
- проведение расчетов показателей по исходным данным и анализ полученных значений;
- формулирование выводов по полученным результатам.

Выполнение курсового проекта проводится студентом по конкретному варианту задания, который необходимо уточнить у преподавателя.

Содержанием курсового проекта является краткое изложение теоретического материала к каждой задаче, решение задачи по индивидуальному варианту, включающее в себя расчет основных показателей, анализ полученных результатов, формулирование выводов.

Расчетно-графическая работа должна содержать:

1. Титульный лист.
2. Условие задачи.
3. Теоретическая часть по каждой задаче (1-3 страницы).
4. Практическая часть и выводы по каждой задаче.
5. Библиографический список (не менее 5 источников).

Условие задачи оформляется по центру заголовком «Задача №».

Текст условия задачи должен совпадать с текстом в методических указаниях, включая таблицы, при их наличии.

Далее излагается теоретический материал, лежащий в основе решения задачи, включающий в себя основные определения, формулы расчетов показателей и др.

В практической части излагается подробное решение задачи. При необходимости результаты оформляются в виде сводной таблицы.

К каждой задаче необходимо сформулировать выводы, проанализировав полученные результаты.

Расчетно-графическая работа должна выполняться в соответствии с установленным графиком. В процессе выполнения курсового проекта допускаются консультации у преподавателя на практических занятиях.

Выполнение основных этапов контролируется преподавателем и учитывается при проведении текущего контроля по дисциплине и при оценке курсового проекта.

6.11 Подготовка к текущей и промежуточной аттестации

Система контроля включает в себя текущий и промежуточный контроль. Текущий контроль должен быть непрерывным. Формы текущего контроля устанавливаются по усмотрению преподавателя. Промежуточный контроль – это итог работы студента за семестр с учетом всех видов учебной работы.

Текущий контроль. Текущий контроль успеваемости обучающихся – это систематическая проверка учебных достижений обучающихся, проводимая в целях оценивания хода освоения дисциплин в соответствии с рабочей программой.

Текущий контроль успеваемости студентов очной формы обучения проводится по всем дисциплинам учебного плана в течение семестра:

- на лабораторных, семинарских, практических занятиях, по которым рабочими программами дисциплин предусмотрены отчетности;

- по всем формам самостоятельной работы студентов в заранее установленное время.

Текущий контроль успеваемости студентов осуществляется преподавателями кафедр, за которыми закреплены дисциплины учебного плана, и может проводиться в следующих формах:

- собеседование,
- контрольная работа,
- защита лабораторной работы,
- реферата,
- расчетно-графическая работа, и др.

Виды и сроки проведения текущего контроля успеваемости студентов устанавливаются рабочей программой дисциплины.

Текущий контроль успеваемости является элементом внутривузовской системы контроля качества подготовки обучающихся и способствует активизации познавательной деятельности студентов в ходе аудиторных занятий, при выполнении программ самостоятельной и индивидуальной работы.

Текущий контроль успеваемости должен учитывать выполнение обучающимися всех видов учебных занятий, предусмотренных учебным планом и рабочей программой дисциплины, самостоятельную, исследовательскую работу и посещаемость учебных занятий.

Анализ результатов текущего контроля студентов, обучающихся на основе рейтинговой оценки знаний, проводится 2 раза в семестр:

- в первом полугодии - на 1 ноября, на 10 декабря;
- во втором полугодии - на 1 апреля, на 20 мая.

Анализ результатов текущего контроля студентов, не участвующих в рейтинговой системе оценки знаний, проводится в институтах: к указанным выше датам итоги текущего контроля и количество пропущенных занятий (в часах) преподаватели, ведущие занятия, проставляют в листы текущего контроля успеваемости, которые анализируются и хранятся в институтах.

Промежуточная аттестация. Промежуточная аттестация призвана оценить уровень сформированности компетенций, полученных студентами в процессе изучения дисциплины, выполнение КП и обеспечить контроль качества освоения образовательных программ.

Промежуточная аттестация проводится по завершении изучения какой - либо дисциплины.

Формами промежуточной аттестации являются зачет и экзамен.

При явке на промежуточную аттестацию обучающийся обязан предъявить зачетную книжку. Фамилия обучающегося должна значиться в зачетно-экзаменационной ведомости.

Зачеты студентам по изучаемым дисциплинам выставляются преподавателем, проводившим практические, семинарские или лабораторные занятия группы (подгруппы), на последнем занятии по результатам работы в семестре. Для студентов, обучающихся на основе

рейтинговой системы оценки знаний, зачет выставляется автоматически при условии сдачи всех контрольных мероприятий, предусмотренных текущим контролем успеваемости.

7. Критерии оценки самостоятельной работы

Компетенции (знания, умения и навыки) студентов оцениваются оценками:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно»;
- «зачтено»;
- «не зачтено».

Зачеты оцениваются отметкой: «зачтено», «не зачтено».

Зачеты с оценкой оцениваются по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

Экзамены оцениваются по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

Основные критерии оценивания компетенций:

Отметка «зачтено» ставится студентам, успешно обучающимся по данной дисциплине в семестре и не имеющим задолженностей по результатам текущего контроля успеваемости.

Отметка «не зачтено» ставится студенту, имеющему задолженности по результатам текущего контроля успеваемости по данной дисциплине.

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Отметка «неудовлетворительно» выставляется также, если обучающийся после начала экзамена отказался его сдавать.

Оценка «неудовлетворительно» проставляется только в экзаменационную ведомость, в зачетную книжку студента проставлять отметку «неудовлетворительно» не разрешается.

Критерии оценки уровня обученности и уровня сформированности компетенций по дисциплине устанавливает кафедра и отражает их в рабочей программе и фондах оценочных средств дисциплины.

Ответственность за единообразие требований, предъявляемых на экзаменах, несет заведующий кафедрой. По дисциплинам, изучаемым в течение двух и более семестров, итоговой оценкой является оценка, полученная на последнем экзамене.

Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится в виде экзамена в 5 семестре.

Промежуточная аттестация в форме экзамена предусматривает проведение обязательной экзаменационной процедуры и оценивается 40 баллами из 100. Положительный ответ студента на экзамене оценивается рейтинговыми баллами в диапазоне от 20 до 40 ($20 \leq S_{\text{ЭКЗ}} \leq 40$), оценка меньше 20 баллов считается неудовлетворительной.

Вопросы к экзамену 5 семестр

1. Классификация и общие характеристики газообразного топлива
2. Природные газы и их добыча. Искусственные газы

3. Подготовка газов к использованию. Схема компрессионного разделения компонентов газовой смеси
4. Подготовка газов к использованию. Схема адсорбционного разделения компонентов газовой смеси
5. Подготовка газов к использованию. Схема абсорбционного разделения компонентов газовой смеси
6. Подготовка газов к использованию. Осушка газов. Очистка от сероводорода, одоризация газа.
7. Транспорт газа. Схема магистрального газопровода.
8. Схема компрессорной станции
9. Схема газораспределительной станции
10. Классификация газовых сетей и основные требования к системам газоснабжения
11. Краткий анализ систем газоснабжения
12. Трубы, арматура и сетевые устройства газопроводов
13. Прокладка газопроводов. Схемы переходов через препятствия
14. Химическая, электрохимическая и электрическая коррозия газопроводов. Коррозионная активность грунтов
15. Защита газопроводов от коррозии. Пассивные и активные методы защиты от коррозии
16. Регуляторы давления и их классификация
17. Дроссельные органы регуляторов давления
18. Мембранные приводы регуляторов давления
19. Газорегуляторные пункты и установки
20. Характеристика основных конструктивных элементов ГРП и принцип действия
21. Компоновка оборудования ГРП и строительная часть
22. Газопотребление в населенном пункте
23. Режим потребления газа. Графики.
24. Регулирование неравномерности потребления газа
25. Определение расчетных расходов газа
26. Определение потерь давления в газопроводах
27. Расчетная схема отдачи газа из сети. Транзитные и путевые расходы. Расчетный расход газа. Связь между ними
28. Расчет тупиковых газопроводов
29. Расчет кольцевых газопроводов
30. Аварийные гидравлические режимы газовых сетей низкого давления
31. Особенности расчета газовых сетей высокого (среднего) давления
32. Реакция горения газа. Кинетика реакций горения. Энергия активации
33. Теория цепной реакции на примере горения водорода
34. Воспламенение газа. Температура воспламенения и самовоспламенения
35. Вынужденное зажигание газозелушной смеси
36. Нормальное распространение пламени. Скорость нормального распространения пламени
37. Распространение пламени в ламинарном потоке. Схема пламени на горелке Бунзена
38. Распространение пламени в турбулентном потоке. Скорость распространения турбулентного пламени
39. Диффузионное пламя. Зависимость размеров факела от режима движения потока
40. Стабилизация пламени. Эпюра скоростей. Условия проскока и отрыва пламени
41. Образование токсичных веществ при сжигании газа
42. Основные элементы и классификация газовых горелок
43. Горелки полного предварительного смешения газа с воздухом
44. Горелки предварительного смешения с частью необходимого воздуха
45. Горелки незавершенного предварительного смешения газа с воздухом
46. Горелки без предварительного смешения газа с воздухом
47. Расчет газовых горелок на примере эжекционной горелки низкого давления
48. Устройство дворовых (внутриквартальных) и внутренних газопроводов
49. Газовые приборы. Условия для исключения недожога газа в конфорочных горелках. Требования к водонагревателям. Размещение газовых приборов
50. Отвод продуктов сгорания
51. Устройство газопроводов промышленных предприятий

52. Схема газоснабжения предприятия с центральным ГРП высокого и среднего конечных давлений
53. Схема внутрицехового газопровода с узлом замера расхода газа
54. Требования к производственным помещениям, имеющим газоиспользующие установки
55. Газооборудование промышленных предприятий. Схема установки форкамерной горелки среднего давления при переоборудовании чугунных секционных котлов
56. Обвязочные газопроводы. Схема газопроводов агрегата с эжекционными горелками среднего давления и отключающими устройствами - задвижками
57. Автоматизация газоиспользующих установок
58. Особенности газоснабжения сельских потребителей
59. Использование газа в быту, для обогрева теплиц, для обогрева ферм и сушки сельхозпродукции. Низшая и высшая теплота сгорания газовой смеси
60. Диаграмма состояния сжиженных газов
61. Расчет пропускной способности регуляторов давления
62. Абсолютная и относительная плотность газовой смеси

Заключение

Самостоятельная работа всегда завершается какими-либо результатами. Таким образом, широкое использование методов самостоятельной работы, побуждающих к мыслительной и практической деятельности, развивает столь важные интеллектуальные качества человека, обеспечивающие в дальнейшем его стремление к постоянному овладению знаниями и применению их на практике.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ Высшего профессионального образования
«Северо-Кавказский федеральный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**по выполнению расчетно-графической работы
по дисциплине**

Проектирование газопроводов

**по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»
направленность (профиль) «Теплогазоснабжение и вентиляция»**

Ставрополь

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЕКТИРОВАНИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

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

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

Газопроводы систем газоснабжения в зависимости от величины давления транспортируемого газа подразделяются на следующие группы [1]:

- 1) газопроводы низкого давления – при рабочем давлении газа до 0,005 МПа (0,05 кг/см²) включительно;
- 2) газопроводы среднего давления – при рабочем давлении газа свыше 0,005 МПа (0,05 кг/см²) до 0,3 МПа (3 кг/см²);
- 3) газопроводы высокого давления II категории - при рабочем давлении газа свыше 0,3 МПа (3 кг/см²) до 0,6 МПа (6 кг/см²);
- 4) газопроводы высокого давления I категории - при рабочем давлении газа свыше 0,6 МПа (6 кг/см²) до 1,2 МПа (12 кг/см²) включительно для природного газа и газозвоздушных смесей и до 1,6 МПа (16 кг/см²) для сжиженных и углеводородных газов (СУГ).

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

Газопроводы среднего и высокого (I категории) давления служат для питания городских распределительных сетей низкого и среднего давления через ГРП. Они также подают газ в газопроводы промышленных и коммунальных предприятий.

Городские газопроводы высокого (II категории) давления являются основными для газоснабжения крупных городов. По ним газ подают через ГРП 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. Они составляют главный стержень городской газовой сети. Сеть высокого давления должна быть 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 т.ч. и городские) можно разделить на три группы:

- 1) распределительные – для подачи газа к промышленным потребителям, коммунальным предприятиям и в районы жилых домов. Эти газопроводы могут быть высокого, среднего и низкого давлений, кольцевые и тупиковые;
- 2) абонентские ответвления, подающие газ от распределительных сетей к отдельным потребителям;
- 3) внутридомовые газопроводы.

Для поселков и небольших городов рекомендуется одноступенчатая система газоснабжения.

Для средних городов принимают двухступенчатую систему газоснабжения. Газ от ГРС по сети среднего или высокого давления подается к крупным потребителям и к газорегуляторным пунктам, а от последних – в распределительную сеть города.

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

Для крупных городов и центров промышленных районов целесообразно применять дополнительное кольцо с давлением до 2,5 МПа, которое получает газ из магистрального газопровода, распределяет его вокруг города и подает в городские сети

высокого давления и в магистрали к промышленным районам, городам-спутникам и в подземные хранилища газа.

Принципиальная схема распределительной системы газоснабжения крупного города приведена на рис.1.

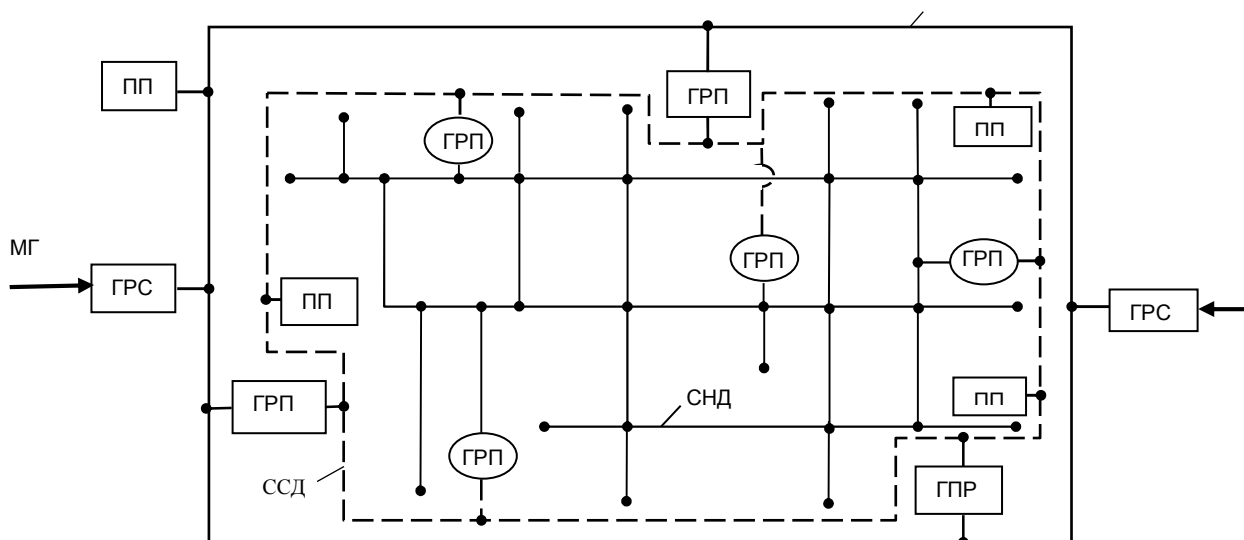


Рис.1. Многоступенчатая система газоснабжения крупного города

Из магистральных газопроводов газ через ГРС поступает в городские распределительные сети разного давления (рис.1). Крупные города имеют несколько независимых точек питания и несколько ГРС, что повышает надежность системы газоснабжения и гибкость ее в эксплуатации. Газопроводы высокого давления необходимо прокладывать по окраинам города. ГРС размещают в местах подвода магистральных газопроводов за территорией города, не подлежащей застройке.

ГРП, питающие сеть высокого и среднего давления, также стараются размещать вокруг города с разных его сторон. Местоположение этих ГРП должно выбираться таким, чтобы обеспечить после них подачу газа по кратчайшему пути к центрам нагрузок каждого района города.

ГРП, питающие сеть низкого давления, располагают в центре нагрузок (кварталов и микрорайонов). Такие ГРП имеют пропускную способность $1000...3000 \text{ м}^3/\text{ч}$, радиус действия

400...800 м. Количество ГРП и радиус действия можно определить по формулам:

$$n = 0,5 \cdot F \cdot R^{-2}; \quad R = 0,71 \cdot \sqrt{\frac{F}{n}}; \quad n = \sum \frac{Q_{\text{ГРП}}}{Q},$$

где n – число ГРП;

R – радиус действия ГРП, км;

F – газифицируемая площадь, га;

$\Sigma Q_{\text{ГРП}}$ – суммарный расход газа через ГРП, м³/ч;

Q – производительность типовой ГРП, м³/ч.

Для районов с большой газовой нагрузкой длина одной стороны кольца, как правило, равна двум кварталам; для районов с малой плотностью газовой нагрузки сторона кольца сети низкого давления может составлять 3...4 квартала. Длина ответвлений распределительной газовой сети низкого давления к потребителям не должна превышать 150...200 м.

2. ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СТАНЦИИ

Газ из магистральных газопроводов поступает в городские, поселковые и промышленные системы газоснабжения через газораспределительные станции. На ГРС давление газа снижают до величины, необходимой для потребителя и поддерживают его постоянным. Все оборудование ГРС рассчитывают на рабочее давление 7,5 МПа и 5,5 МПа, т.е. на максимально возможное давление газа в магистральном газопроводе.

ГРС характеризуется большими пропускными способностями (20...200 тыс. м³/ч и более), поэтому дросселирование газа на них осуществляется в нескольких нитках, на каждой из которых устанавливают соответствующий регулятор давления.

На ГРС газ подвергается дополнительной очистке на фильтрах и одоризации, а при необходимости и подогреву, что позволяет исключить гидратообразование при дросселировании. Температура подогрева должна быть такой, чтобы влагосодержание насыщенного газа не опускалось ниже влагосодержания газа, поступающего на ГРС.

Расход газа на ГРС определяется с помощью диафрагмы или расходомера, представляющего собой дифманометр. Кроме того, на ГРС предусматривается защитная автоматика.

На ГРС устанавливают как регуляторы прямого, так и непрямого действия, которые автоматически поддерживают постоянное давление в точках отбора независимо от интенсивности потребления газа. Эти приборы являются основными на газораспределительных станциях.

Регуляторы давления выбирают в зависимости от давления и расхода газа по величине коэффициента пропускной способности (при докритическом режиме)

$$k_v = \frac{Q}{5260 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{\Delta P \cdot P_1}{\rho_0 \cdot T_1 \cdot z_1}}},$$

где ε - коэффициент, учитывающий изменение плотности газа при движении через дроссельный орган; зависит от отношения $\Delta P/P_1$ и показателя адиабаты (рис.2);

ΔP – перепад давления на регуляторе, МПа;

P_1, T_1 – давление и температура газа перед регулятором, МПа, К;

ρ_0 – плотность газа при нормальных условиях, кг/м³;

z_1 – коэффициент сжимаемости газа при условиях входа в регулятор давления;

Q – пропускная способность ГРС, м³/ч.

При критическом или большем перепаде давлений (т.е. когда соблюдается неравенство)

$$\frac{P_2}{P_1} \leq \left(\frac{P_2}{P_1} \right)_{кр} = 0,5,$$

пропускную способность регулятора определяют по формуле

$$k_v = \frac{Q}{5260 \cdot \varepsilon_{кр} \cdot P_1 \sqrt{\frac{(\Delta P / P_1)_{кр}}{\rho_0 \cdot T_1 \cdot z_1}}},$$

где P_2 – давление после регулятора давления, МПа;

$\varepsilon_{кр}$ – значение коэффициента ε при отношении $(\Delta P/P_1)_{кр}$ (рис.2);

$$\left(\frac{\Delta P}{P_1}\right)_{кр} = 1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)_{кр} ; \quad \left(\frac{P_2}{P_1}\right)_{кр} = 0,91 \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

Для природного газа ($k=1,3$) критическое отношений давлений $\left(\frac{P_2}{P_1}\right)_{кр} = 0,5$.

Пропускную способность регулятора рекомендуется выбирать на 15...20 % больше максимальной расчетной величины.

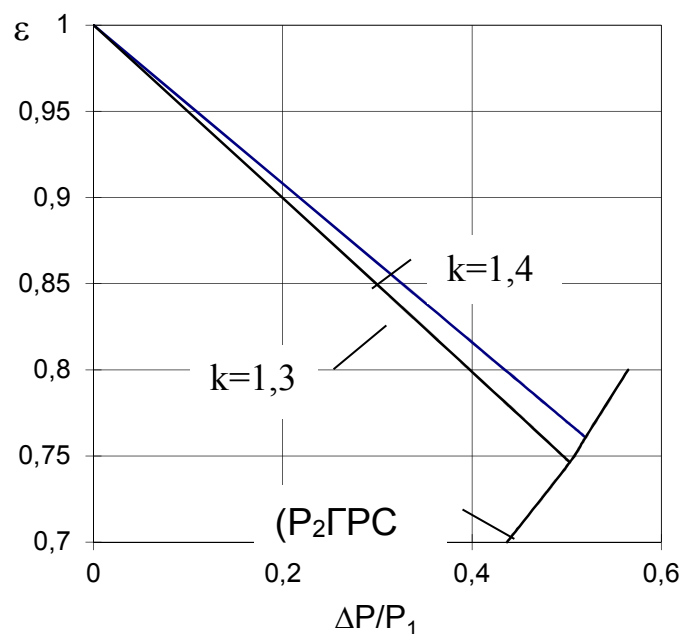


Рис.2. Значения коэффициента ε в зависимости от $\Delta P/P_1$

3. ПОДОГРЕВ ГАЗА НА ГРС

Снижение давления газа на ГРС приводит к значительному его охлаждению, что может привести к образованию гидратов, обмерзанию регулирующих клапанов, запорной арматуры, приборов и трубопроводов. Это осложняет условия эксплуатации ГРС, нарушают нормальный режим ее работы. Для предупреждения и исключения эффекта гидратообразования, при дросселировании газ подогревают в теплообменниках с необходимой поверхностью теплообмена. В качестве теплоносителя используют горячую воду и продукты сгорания газа. При расчете используют зависимость влагосодержания d насыщенного природного газа от давления и температуры. Чтобы исключить гидратообразование, газ необходимо подогреть на такую величину Δt , чтобы кривая влагосодержания насыщенного газа при дросселировании лежала выше влагосодержания насыщенного газа, поступающего на ГРС. Значение Δt определяют подбором, строя несколько кривых дросселирования для различных начальных температур и нанося их на график $d = f(T, P)$.

Температурная кривая дросселирования при нескольких начальных температурах строится по формуле

$$T_{2i} = T_1 - (P_1 - P_{2i}) \cdot D_i,$$

где T_1 – температура газа, поступающего на ГРС, К;

P_1 – давление газа на вход в ГРС, МПа;

P_{2i} – давление газа после регулятора давления, принимаемое с шагом 0,5 МПа и в пределе равное конечному давлению P_k , МПа;

D_i – коэффициент Джоуля-Томпсона. $D_i = f(P, T, \Delta)$.

Для ориентировочных расчетов можно принять $D_i = 5,5$ К/МПа.

Расчет поверхности теплообменника производится следующим образом.

Определяется количество теплоты Q (Дж/с), необходимое для нагрева газа

$$Q = Q_0 \cdot \rho_0 \cdot c_p \cdot \Delta T,$$

где Q_0 – секундный расход газа через ГРС (теплообменник), м³/с;

ρ_0 – плотность газа при нормальных условиях, кг/м³;
 c_p – удельная массовая теплоемкость газа, Дж/ (кг·К);
 $\Delta T = T_2 - T_1$

4. ОЧИСТКА ГАЗА ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ

Для очистки газа на газорегуляторных пунктах устанавливают волосяные и сетчатые фильтры. При условных диаметрах больше 50 мм применяют волосяные фильтры, а при диаметрах 50 мм и менее – сетчатые.

Волосяные фильтры выпускают двух модификаций с максимальным давлением до 0,6 МПа и до 1, МПа. Перепад давления на кассете фильтра не должен превышать 10 кПа. Если он будет больше, то необходима очистка фильтра. В условиях эксплуатации перепад давления на фильтре обычно не превышает 3000...5000 Па. Перепад давления контролируется дифманометром ДСП-780 Н.

При перепаде давления на фильтре 5000 Па, избыточном давлении перед ним 0,6 МПа и плотности газа 0,73 кг/м³ пропускная способность его в зависимости от диаметра при нормальных условиях составляет:

- 1) $D_y = 50$ мм $Q = 6000$ м³/ч;
- 2) $D_y = 100$ мм $Q = 14750$ м³/ч;
- 3) $D_y = 200$ мм $Q = 38600$ м³/ч;

Если фильтр используется в условиях, отличных от указанных, тогда его пропускную способность определяют по формуле

$$Q = Q \cdot \sqrt{\frac{\Delta P \cdot P_2 \cdot \rho_{0T}}{\Delta P_T \cdot P_{2T} \cdot \rho_0}},$$

где ΔP – перепад давления на фильтре;

P_2 – давление на входе в фильтр;

ρ_0 – плотность газа.

Параметры с индексом "Т" относятся к паспортным для данного фильтра при определенных условиях его работы.

Пропускная способность фильтров выбирается из условия, что скорость газа в корпусе не будет превышать 1 м/с.

Сетчатые фильтры применяют в шкафных газорегуляторных пунктах (ШРП) на более низкие пропускные способности.

5. ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫЕ ПУНКТЫ

Газорегуляторные пункты предназначены для снижения давления и автоматического поддержания его на заданном уровне. ГРП состоят из следующих основных узлов: узла регулирования давления газа с предохранительно-запорным клапаном и обводным газопроводом (байпасом), предохранительного сбросного клапана, контрольно-измерительных приборов, продувочных трубопроводов.

Газ высокого или среднего давления входит в ГРП и поступает в узел регулирования, в котором по ходу движения газа располагают: отключающее устройство, фильтр, предохранительный запорный клапан, регулятор давления газа, отключающее устройство.

Выходное давление из ГРП контролируется предохранительным запорным клапаном (ПЗК) и предохранительным сбросным клапаном (ПСК). ПЗК контролирует верхний и нижний предел, ПСК – только верхний. ПСК настраивается на меньшее давление, чем ПЗК, поэтому он срабатывает первым.

Если отказал регулятор давления, клапан ПСК сработал, а давление в сетях продолжает расти, то сработает ПЗК. Он перекроет газопровод перед регулятором давления и прекратит подачу газа потребителям. ПЗК сработает и при недопустимом снижении давления газа, которое может произойти при аварии на газопроводе. При устранении аварии ПЗК приводится в рабочее состояние не автоматически, а только обслуживающим персоналом.

Клапан ПСК настраивается на давление, превышающее регулируемое на 10 %. При низком выходном давлении разность между давлением настройки и регулируемым давлением должна быть не менее 500 Па.

Верхний предел настройки клапана ПЗК принимают на 20 % выше регулируемого давления после ГРП. Нижний предел – минимально допустимое давление газа в сети.

Для бесперебойного снабжения потребителей газом при выходе из строя регулятора давления, замене, осмотре или ремонте оборудования предусмотрен обводной газопровод (байпас). Регулирование давления газа на байпасе производят вручную. Для этого на байпасе устанавливают последовательно кран и задвижку.

Кран работает в положениях "открыто" – "закрыто" и не может быть использован для регулирования давления. Ручное регулирование давления осуществляется с помощью задвижки.

На ГРП может быть несколько линий редуцирования, число которых зависит от расчетного расхода газа и режима его потребления. При наличии двух и более линий байпас обычно не монтируют, а во время ремонта одной из них газ поступает через другие линии. В ГРП с входным давлением более 0,6 МПа и пропускной способностью более 5000 м³/ч устройство резервной линии редуцирования вместо байпаса обязательно.

ГРП могут быть одно или двухступенчатыми. В одноступенчатом ГРП входное давление газа редуцируют до выходного в одном регуляторе, в двухступенчатом – двумя последовательно установленными регуляторами. При этом регулятор первой ступени комплектуют с фильтром и ПЗК, регулятор второй ступени фильтра может не иметь. Одноступенчатые схемы ГРП обычно применяют при разности между входным и выходным давлением до 0,6 МПа, при большем перепаде предпочтительнее двухступенчатые схемы редуцирования.

На ГРП обычно учет газа не производится (кроме объектов).

Газорегуляторные пункты выполняются по типовым проектам. Типовые проекты выполнены на базе универсальных регуляторов давления, используемых в промышленности.

6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГАЗОВЫХ СЕТЕЙ

Системы газоснабжения городов и населенных пунктов рассчитывается на максимальный часовой расход газа ($\text{м}^3/\text{ч}$), который определяется

$$Q_d^h = K_{\max}^h \cdot Q_y,$$

где $K_{\max}^h$ – коэффициент часового максимума (коэффициент перехода от годового расхода к максимальному часовому расходу газа);

Q_y – годовой расход газа (определяется по нормам расхода теплоты), $\text{м}^3/\text{год}$.

Значение коэффициента часового максимума расхода газа на хозяйственно-бытовые нужды принимается в зависимости от численности населения, снабжаемого газом.

Для отдельных жилых домов и общественных зданий расчетный часовой расход газа определяется по сумме номинальных расходов газа газовыми приборами с учетом коэффициентов одновременности их действия

$$Q_d^h = \sum_{i=1}^m K_{\text{sim}} \cdot q_{\text{nom}} \cdot n_i,$$

где K_{sim} – коэффициент одновременности, значение которого определяется по [1] (табл. 1);

q_{nom} – номинальный расход газа прибором или группой приборов, принимаемой по паспортным данным или техническим характеристикам приборов, $\text{м}^3/\text{ч}$;

n_i – число однотипных приборов или групп приборов;

m – число приборов или групп приборов (при установке в квартирах приборов одного типа – это число квартир).

Гидравлический расчет газопроводов следует выполнять, как правило, на электронно-вычислительной машине (ЭВМ) с оптимальным распределением расчетной потери давления между участками сети.

При невозможности или нецелесообразности выполнения расчета на ЭВМ (отсутствие соответствующей программы, расчет отдельных участков газопровода и т.п.), гидравлический расчет допускается выполнять по приведенным в СНиП [1] формулам или номограммам, составленным по этим формулам.

Расчетные потери давления газа в распределительных газопроводах низкого давления принимаются не более 1800 Па и распределяются между уличными, дворовыми и внутренними газопроводами (1200 Па – для уличных и внутриквартирных и 600 Па – для дворовых и внутренних газопроводов [1]).

Потери давления в местных сопротивлениях (колена, тройники, запорная арматура и др.) учитываются путем увеличения расчетной длины газопровода на 5...10 %.

При выполнении гидравлического расчета надземных и внутренних газопроводов с учетом степени шума, создаваемого движением газа, следует принимать скорости движения газа не более 7 м/с для газопроводов низкого давления, 15 м/с для газопроводов среднего давления, 25 м/с для газопроводов высокого давления.

Таблица 1

Значение коэффициента одновременности K_{sim} для жилых домов

Число квартир	Коэффициент одновременности K_{sim} в зависимости от установки в жилых домах газового оборудования			
	Плита 4-конфорочная	Плита 2-конфорочная	Плита 4-конфорочная и газовый проточный водонагреватель	Плита 2-конфорочная и газовый проточный водонагреватель
1	1	1	0,700	0,750
2	0,650	0,840	0,560	0,640
3	0,450	0,730	0,480	0,520
4	0,350	0,590	0,430	0,390
5	0,290	0,480	0,400	0,375
6	0,280	0,410	0,392	0,360
7	0,270	0,360	0,370	0,345
8	0,265	0,320	0,360	0,335
9	0,258	0,289	0,345	0,320
10	0,254	0,263	0,340	0,315
15	0,240	0,242	0,300	0,275

20	0,235	0,230	0,280	0,260
30	0,231	0,218	0,250	0,235
40	0,227	0,213	0,230	0,205
50	0,223	0,210	0,215	0,193
60	0,220	0,207	0,203	0,186
70	0,217	0,205	0,195	0,180
80	0,214	0,204	0,192	0,175
90	0,212	0,203	0,187	0,171
100	0,210	0,202	0,185	0,163
400	0,180	0,170	0,150	0,135

Примечание:

1. Для квартир, в которых устанавливается несколько однотипных газовых приборов, коэффициент одновременности следует принимать как для такого же числа квартир с этими газовыми приборами.

2. Значения коэффициента одновременности для емкостных водонагревателей, отопительных котлов или отопительных печей рекомендуется принимать равным 0,85 независимо от числа квартир.

6.1. Расчет тупиковых разветвленных газовых сетей среднего и высокого давления

Расчет по традиционной методике сводится к определению необходимых диаметров и проверке заданных перепадов давлений. Расчет можно производить по формулам или номограммам, которые значительно упрощают все вычисления. Номограммы построены в координатах $Q_p = f(A_{cp}, D)$, где

$$A_{cp} = \frac{P_n^2 - P_k^2}{L},$$

где L – длина участка газопровода;

P_n, P_k – абсолютное начальное и конечное давление соответственно в начале и конце участка газопровода;

D – диаметр участка газопровода.

Порядок расчета

1. Начальное давление в газовой сети высокого или среднего давления определяется режимом работы газорегуляторной станции (ГРС), конечное – рабочим давлением на входе в газорегуляторные пункты (ГПР) (сетевые или объектовые).

2. Выбирается наиболее удаленная точка распределительных газопроводов и определяется общая длина по выбранному основному направлению.

3. При расчетах газораспределительных сетей по традиционному методу применяется правило постоянного перепада квадратов давления на единицу длины газопровода

$$A_{\text{ср}} = (P_{\text{Н}}^2 - P_{\text{К}}^2) / L_{\text{р}}.$$

Расчетная длина выбранного направления с учетом потерь на местные сопротивления

$$L_{\text{р}} = 1,1 \cdot \sum l_i,$$

где l_i – геометрическая длина участка газопровода.

4. Определяются расчетные расходы газа для каждого сосредоточенного отбора газа и для участков газопровода.

5. По величинам $A_{\text{ср}}$ и $Q_{\text{р}}$ по номограммам определяются диаметры отдельных участков газопровода. Диаметры округляются по ГОСТ обычно в большую сторону.

6. Для стандартных диаметров при известных расходах газа находятся действительные значения $A_{\text{ср}}$, затем разность квадратов давлений.

7. Производится расчет давлений. Так как давление на выходе из ГРС известно, то расчет можно вести с начала газораспределительной сети. При давлениях $P_{\text{К}}$ значительно больших заданных уменьшают диаметры участков, расположенных ближе к началу основного направления.

8. После расчета давлений в узлах основного направления приступают к расчету ответвлений, начиная со второго пункта рассмотренной методики. При этом за начальное давление на ответвлении принимается давление в узле, из которого оно исходит.

6.2. Расчет тупиковых разветвленных газовых сетей низкого, высокого и среднего давлений методом оптимальных диаметров

В специальной литературе нет обоснованных рекомендаций для осуществления корректировки диаметров участков как для случая превышения расчетного перепада давления, так и для случая его неполного использования (см. п. 7 предыдущего расчета). В работе [3] впервые представлен метод расчета оптимальных диаметров, основанный на оптимальном распределении перепада давления. В качестве расчетных формул для гидравлического расчета газопроводов были приняты практические зависимости, до настоящего времени используемые французской фирмой GAS de FRANCE.

В качестве целевой функции, минимум которой обеспечивает оптимальное распределение расчетного перепада давления, избрана материальная характеристика

$$M = K \sum_{i=1}^z D_i L_i ,$$

где z – количество участков газовой сети;

K – параметр, зависящий от средней толщины стенки трубы, принятой постоянной и свойств металла.

Рассмотрим разновидности тупиковых газовых сетей (рис. 3).

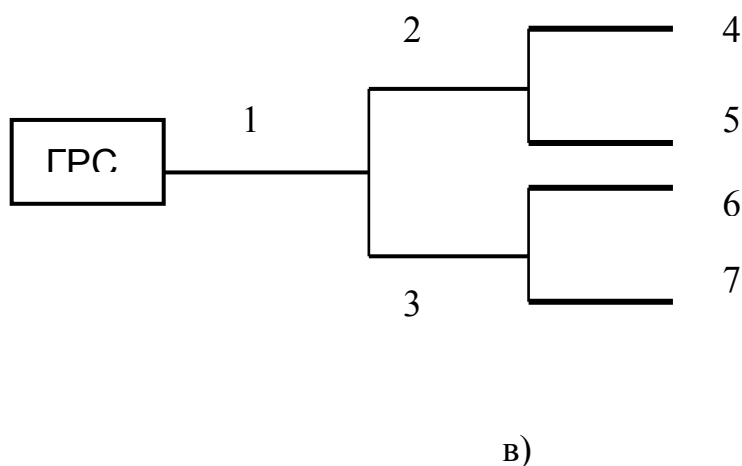
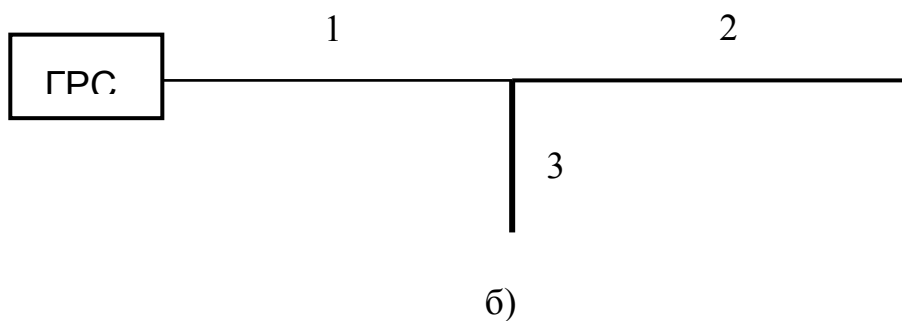
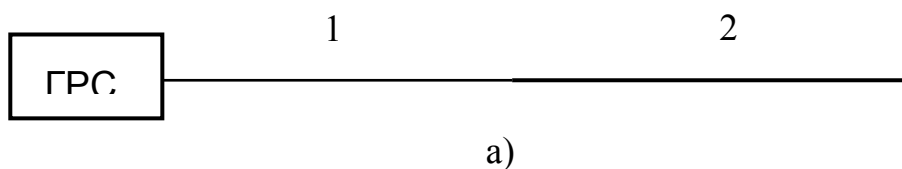


Рис. 3. Тупиковые газовые сети

В работе [3] введена некоторая функция a_i , называемая характеристикой участка

$$a_i = L_i Q_i^{1/3}.$$

В случае простой, неразветвленной сети, состоящей из последовательно соединенных участков (рис. 3 а), суммарная характеристика сети определяется по формуле

$$A = a_1 + a_2.$$

Суммарная характеристика простой разветвленной сети (рис. 3б) определяется

$$A = a_1 + (a_2^{6/5} + a_3^{6/5})^{5/6}.$$

Для расчета характеристики сложной разветвленной сети (рис. 3 в) по аналогии можно записать

$$A = a_1 + (A_2^{6/5} + A_3^{6/5})^{5/6},$$

где A_2 и A_3 – характеристики разветвлений, имеющих в качестве ствола

участки 2 и 3 соответственно.

Распределение расчетного перепада давления между участками газовой сети рассмотрим на примере сложной разветвленной сети (рис. 3 в).

$$\frac{H}{A} = \frac{H_1}{a_1} = \frac{H_{2,4,5}}{A - a_1} = \frac{H_{3,6,7}}{A - a_1},$$

где H_1 – перепад давления отводимый на первый участок;

$H_{2,4,5}$ и $H_{3,6,7}$ – перепады давления, отводимые на разветвления, состоящие из участков 2, 4, 5 и 3, 6, 7 соответственно.

Откуда можно записать

$$H_1 = H \frac{a_1}{A}; \quad H_{2,4,5} = H_{3,6,7} = H - H_1.$$

Аналогично можно продолжить

$$\frac{H_{2,4,5}}{A_2} = \frac{H_2}{a_2} = \frac{H_{2,4,5} - H_2}{A_2 - a_2} = \frac{H_4}{A_2 - a_2} = \frac{H_5}{A_2 - a_2}.$$

Откуда $H_2 = a_2 \frac{H_{2,4,5}}{A_2};$

$$H_4 = H_5 = H_{2,4,5} - H_2;$$

$$H_3 = a_3 \frac{H_{3,6,7}}{A_3};$$

$$H_6 = H_7 = H_{3,6,7} - H_3.$$

В работе [4] в качестве целевой функции используется аналогичная материальная характеристика газовой сети Φ . Условием ее минимума является система z – уравнений

$$\frac{d\Phi}{d(\Delta H_i)} = 0 \text{ при } i=1, 2, \dots, z,$$

где ΔH_i – расчетный перепад давления на i -ом расчетном участке.

Для газовых сетей низкого давления вводятся функции

$$M_i = Q_i^{0,37} l_i^{1,21};$$

$$\mu_i = M_i^{0,83} = Q_i^{0,30} l_i,$$

где μ_i имеет тот же смысл, что и Q_i .

Согласно СНиП 2.04.08-87* гидравлический расчет следует выполнять по формулам:

для газопроводов высокого и среднего давления

$$\frac{p_n^2 - p_k^2}{L} = 1,4 \cdot 10^{-5} \left(\frac{k_{\text{э}}}{D} + 1922 \frac{vD}{Q} \right)^{0,25} \frac{Q^2}{D^5} \rho;$$

для газопроводов низкого давления

$$H = 69 \left(\frac{k_{\text{э}}}{D} + 1922 \frac{vD}{Q} \right)^{0,25} \frac{Q^2}{D^5} \rho L,$$

где p_n и p_k – абсолютные давления газа в начале и конце газопровода

среднего и высокого давления, МПа;

H – потери давления в газопроводах низкого давления, Па;

L – расчетная длина газопровода постоянного диаметра, м;

$k_{\text{э}}$ – эквивалентная абсолютная шероховатость внутренней поверхности трубы (для стальных труб 0,01 см);

ρ – плотность газа, кг/м³ при $t = 0$ °С и $p = 0,1032$ МПа;

Q – расход газа, м³/ч при $t = 0$ °С и $p = 0,1032$ МПа;

D – внутренний диаметр газопровода, см;

v – коэффициент кинематической вязкости газа, м²/с при $t = 0$ °С и

$p = 0,1032$ МПа.

Для оценочных расчетов принимают, что все участки сети работают в одинаковом, наиболее распределенном режиме течения: газопроводы высокого и среднего давления – в квадратичной зоне; низкого давления – в зоне гидравлически гладких труб. С учетом этих допущений гидравлический расчет можно выполнять по формулам

$$\frac{p_n^2 - p_k^2}{L} = 1,4 \cdot 10^{-5} (k_{\text{э}})^{0,25} \rho \frac{Q^2}{D^{5,25}}$$

или с учетом $k_{\text{э}} = 0,01$ см

$$\frac{p_H^2 - p_K^2}{L} = 0,4427 \cdot 10^{-5} (k_9)^{0,25} \rho \frac{Q^2}{D^{5,25}};$$

$$H = 69 \cdot \left(1922 \frac{vD}{Q} \right)^{0,25} \frac{Q^2}{D^5} \rho L$$

или
$$H = 457,04 \cdot v^{0,25} \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \rho L.$$

Из последней формулы следует, что

$$D_i = \frac{Q_i^{0,37}}{(H_{i-1} - H_i)^{0,21}} L_i^{0,21},$$

тогда целевая функция будет иметь вид

$$\Phi = \sum_{i=1}^z \frac{Q_i^{0,37}}{(H_{i-1} - H_i)^{0,21}} L_i^{0,21} = \sum_{i=1}^z \frac{M_i}{\Delta H_i^{0,21}}.$$

Дифференцируя последнее выражение по всем значениям ΔH_i и приравнивая производную нулю, из решения системы уравнений получим

$$\Delta H_i = \frac{H - \sum H_n}{1 + \Pi_i};$$

$$\Pi_i = \left[\frac{\sum M_j (1 + \Pi_j)^{0,21}}{M_i} \right]^{0,83} = x_i^{0,83}$$

где i – рассматриваемый расчетный участок;

j – участки, питающиеся непосредственно от i – го расчетного участка;

n – участки, через которые осуществляется питание i – го расчетного участка.

n – для бестранзитных участков

$$n_i = 0; \Delta H_i = H - \sum H_n,$$

а для участков, питающих бестранзитные

$$\Pi_i = \left[\frac{\sum M_j}{M_i} \right]^{0,83}.$$

Методика распределения расчетного перепада давления в сетях высокого и среднего давления не имеет принципиального отличия от вышеизложенной.

Расчетный перепад для i – го расчетного участка определяется по формуле

$$A_i = \frac{A - \sum A_n}{1 + \Pi_i};$$

где $A = p_n^2 - p_k^2$, $A_i = p_{ni}^2 - p_{ki}^2$.

Значения параметров

$$\Pi_i = \left[\frac{\sum M_j (1 + \Pi_j)^{1,19}}{M_i} \right]^{0,84},$$

$$M_i = Q_i^{0,38} L_i^{1,19}; \quad \mu_i = Q_i^{0,32} L_i,$$

где все обозначения несут тот же смысл, что и в формулах для расчета газовых сетей низкого давления.

Порядок расчета

1. Определяются расчетные расходы газа по участкам.
2. Определяются материальные характеристики M_i для всех участков.
3. Определяются параметры участков Π_i , при этом:
 - определение параметров производится от тупиковых участков против хода газа;
 - для бестранзитных участков $\Pi_i = 0$;
 - для участков примыкающих к бестранзитным, параметр определяется по формуле

$$\Pi_i = \left(\frac{\sum M_j}{M_i} \right)^{0,84};$$

- после определения параметров Π_i определяют показатель A для каждого участка; эту операцию следует производить от точки питания к периферии;
- зная расчетные расходы газа, длину участков и значения A , подбирают диаметр этих участков по основной расчетной формуле.

6.3. Определение расчетных расходов газа на участках распределительных газопроводов

При расчете одноконтурных газопроводов под сосредоточенной нагрузкой понимают потребителей с расходом

газа больше 50 м³/ч, а также потребителей с меньшим расходом, но подключенных через отдельные отводы.

Сосредоточенных потребителей рекомендуется подключать к сети среднего и высокого давления через регулятор давления, т.к. их отключение будет оказывать значительное влияние на режим давления в сети.

Мелкие потребители принимаются равномерно распределенными по территории застройки, а отбор газа из сети принимается равномерным по всей длине.

Количество газа, которое потребляется на участке сети при равномерно распределенной нагрузке (путевой расход), определяется

$$Q_{\text{п}} = q \cdot l,$$

где q – удельный путевой расход газа, м³/ (ч·м);

l – длина участка газопровода, м.

Если известно суммарное потребление газа Q всеми равномерно распределенными потребителями, то удельный путевой расход определяется

$$q = \frac{Q}{\sum l_i},$$

где $\sum l_i$ – суммарная длина газовой сети, м.

При наличии зон с различной нагрузкой удельный расход газа для каждой зоны определяется отдельно. Необходимо учитывать возможность как одностороннего, так и двухстороннего разбора газа на рассматриваемом участке.

При равномерно распределенной нагрузке количество газа, проходящего по газопроводу, меняется по длине от нуля в конце участка до максимального, равного путевому расходу, в начале участка. Чтобы применять номограммы для гидравлического расчета газопроводов, которые составлены для постоянных расходов газа на участке, действительный переменный расход газа заменяют фиктивным расходом, постоянным по всему участку, так чтобы падение давления на участке, полученное в результате расчета, было таким же, каким оно будет при действительном переменном расходе. Тогда для одностороннего газопровода с равномерно распределенной нагрузкой расчетный расход определяется

$$Q_{\text{р}} = 0,5 \cdot Q_{\text{п}}.$$

Если нагрузка на участке смешанная, т.е. в конце участка есть сосредоточенный потребитель, то расчетный расход равен

$$Q_p = 0,5 \cdot Q_n + Q_c ,$$

где Q_c – сосредоточенный расход газа на тупиковом отводе, м³/ч.

6.4. Расчет разветвленных тупиковых сетей

Расчет разветвленных тупиковых сетей производится последовательно по расчетным участкам, т.е. участкам между двумя соседними разветвлениями (узловыми точками). Каждый участок разветвленной сети может иметь равномерно распределенную нагрузку и сосредоточенную в конце участка.

Расчетные расходы газа по участкам определяются как сумма

$$Q_p = 0,5 \cdot Q_n + Q_t ,$$

где Q_t – транзитный расход газа, проходящий через расчетный участок на все последующие участки.

Транзитный расход определяется как сумма всех путевых и сосредоточенных расходов, проходящих транзитом через рассчитываемый участок

$$Q_t = \Sigma(Q_n + Q_c).$$

Так как путевые расходы суммируются по участкам, то все расчеты для разветвленных сетей необходимо начинать с концевых участков.

6.5. Расчет кольцевых газовых сетей

Сети высокого и среднего давления обычно состоят из одного конца, нескольких отводов к газораспределительным пунктам и сосредоточенных потребителей. Такую сеть разбивают на части, которые отдельно рассчитываются как тупиковые. Расчет ведется на три режима: нормальный и два аварийных. При аварийных режимах предполагается, что выключаются поочередно крайние участки, примыкающие к точке питания, при этом движение газа происходит в одном направлении: при одном режиме – по часовой стрелке, при другом – против часовой стрелки и при уменьшенных нагрузках. Диаметры сети принимаются максимальными из двух аварийных режимов.

После этого рассчитывают сеть по полукольцам при полных расчетных нагрузках.

Потребители газа высокого и низкого давления всегда сосредоточенные, и расходы газа по участкам определяются как для обычной тупиковой сети, суммирование расходов по участкам.

Городские сети низкого давления представляют сложную по конфигурации систему сопряженных колец, которые получают газ от одной или нескольких ГРП и снабжают газом значительное количество ответвлений на отдельные кварталы и здания. При расчете такую сеть разбивают на отдельные районы по количеству точек питания, а сеть каждого района рассчитывают отдельно. Расчет сети производится в две стадии: первая – рассчитывается распределительная (уличная сеть), а затем – внутриквартальная разводка.

Основная задача при расчете сложных кольцевых сетей – правильно выбрать вариант распределения потоков движения газа по сети и так подбирать ее диаметры, чтобы добиться намеченного распределения потоков. Для этого необходимо руководствоваться следующими положениями.

Направление движения потоков газа выбирают так, чтобы газ от точки питания подавался ко всем потребителям по кратчайшему пути. При этом диаметры сети будут наименьшими. Направления движения газа выбираются начиная от точки питания к периферии. В этом случае легче избежать ошибок, т.к. проще выявляются точки встречи потоков газа (нулевые точки), идущих по различным направлениям. Транзитные потоки выбирают так, чтобы добиться как можно более равномерного распределения потоков газа по всем направлениям.

Диаметры газопроводов подбираются по расчетным расходам газа и среднему гидравлическому уклону по основному направлению для самых отдаленных точек подачи газа. Основных (главных) направлений может быть несколько. Тогда первое полученное решение является приближенным и требуется устранить невязки расчета путем введения поправок в расчетные расходы газа по контурам (кольцам).

Порядок расчета

1. При необходимости составляется схема газоснабжения. Если участки газопровода между узлами имеют большую длину по сравнению с остальными, то их разбивают на участки, чтобы более полно использовать расчетный перепад давления и тем самым сократить расход металла.

2. Вся газоснабжаемая территория разбивается на зоны, которые питаются газом от определенных контуров.

3. Определяются максимальные часовые расходы газа для каждой зоны.

4. Определяется суммарная длина каждого питающего контура.

5. Определяется удельный путевой расход газа для каждого контура.

6. Задается начальное распределение потоков газа в сети.

Для этого назначаются концевые точки в местах, наиболее удаленных от точек питания сети. Направление движения газа выбирается таким, чтобы он подавался потребителям кратчайшим путем и всегда двигался от точки питания, не возвращаясь обратно.

По главным контурам направляют транзитные потоки. По второстепенным участкам транзитные расходы не направляются. Головные участки сети, примыкающие к точкам питания, должны быть взаимозаменяемыми, а их расчетные расходы примерно одинаковыми.

Точки встречи газа (если они необходимы для более полной и равномерной загрузки сети) располагаются диаметрально противоположно точкам питания.

Движение газа в кольцах сети по часовой стрелке считается положительным, против – отрицательным.

7. Определяются путевые и транзитные расходы газа по участкам сети. Расчет ведется от конечных точек против движения газа к точке питания сети. Если газ подается в узел по двум газопроводам и идет дальше, то транзитный расход между ними распределяется пропорционально (в первом приближении можно разделить поровну).

8. Определяются расчетные расходы газа для контроля участка сети.

9. Проверяется правильность определения расходов. Сумма путевых и транзитного расходов на участках, принадлежащих точке питания, должна быть равна суммарному расходу газа в сети.

10. Определяются допустимые потери давления на трение

$$\Delta P_{\tau} = \frac{\Delta P_p}{1,1},$$

где ΔP_p – расчетные потери давления на трение в распределительных газопроводах низкого давления [1];

1,1 – коэффициент, учитывающий потери на местные сопротивления (10 % от гидравлических потерь на трение).

11. Определяются удельные потери давления по главным направлениям.

12. По расчетным расходам на участках и удельным потерям давления по номограммам определяются диаметры.

13. Определяется ошибка в распределении расходов по кольцам

$$\Delta = \frac{\sum \Delta P}{0,5 \cdot \sum |\Delta P|},$$

где $\sum \Delta P$ – сумма потерь давления на участках, принадлежащих рассматриваемому кольцу.

14. Если $\Delta > 10 \%$, то производят гидравлическую увязку колец. Сначала определяются поправочные расходы в самом кольце

$$\Delta Q_i' = - \frac{\sum \Delta P}{1,75 \cdot \sum \frac{\Delta P}{Q_p}},$$

Затем поправочные расходы, учитывающие невязку в соседних кольцах

$$\Delta Q_i'' = \frac{\sum \Delta Q_{\text{ск}}' \cdot \left(\frac{\Delta P}{Q_p} \right)_{\text{ск}}}{\sum \frac{\Delta P}{Q_p}}.$$

15. Определяется поправочный расход для кольца

$$\Delta Q_i = \Delta Q_i' + \Delta Q_i''.$$

16. Поправочные расходы вводим во все кольца с учетом их знака и производим расчет окончательного распределения потоков газа. Если после введения поправочных расходов увязку колец произвести не удалось, необходимо вычислить новые поправочные расходы и увязку повторить. Если и в этом случае ошибка в распределении расходов окажется более 10 %, то надо рассмотреть первоначальное перераспределение потоков газа и повторить расчеты.

17. Производится расчет тупиковых участков сети. При этом надо стремиться к использованию всего допустимого перепада давления. После расчета тупиковых участков проверяется степень использования допустимого перепада давления по главным направлениям. Минимальный диаметр трубопроводов должен быть не менее 50 мм.

7. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВНУТРЕННИХ ГАЗОПРОВОДОВ

Расчет внутридомовых газопроводов производится после выбора и размещения оборудования и составления схемы газопроводов. Расчетный перепад давления газа увязывается с перепадом в дворовых и внутренних газопроводах. Расчетные расходы по участкам сети определяются с учетом коэффициента одновременности.

Характерным для расчета внутридомовых газопроводов является учет гидростатического давления и местных сопротивлений. Потери на местные сопротивления учитываются коэффициентом местных сопротивлений в процентах от линейных потерь в зависимости от длины и типа внутридомовой разводки [1].

8. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1. Рассчитать тупиковую разветвленную сеть среднего давления (рис. 4). Избыточное давление в начале сети $P_n = 0,3$ МПа, перед потребителем (ГРП или ШРП предприятия-потребителя газа) не менее $P_k = 0,05$ МПа (исходя из требований устойчивой работы регуляторов давления на ГРП).

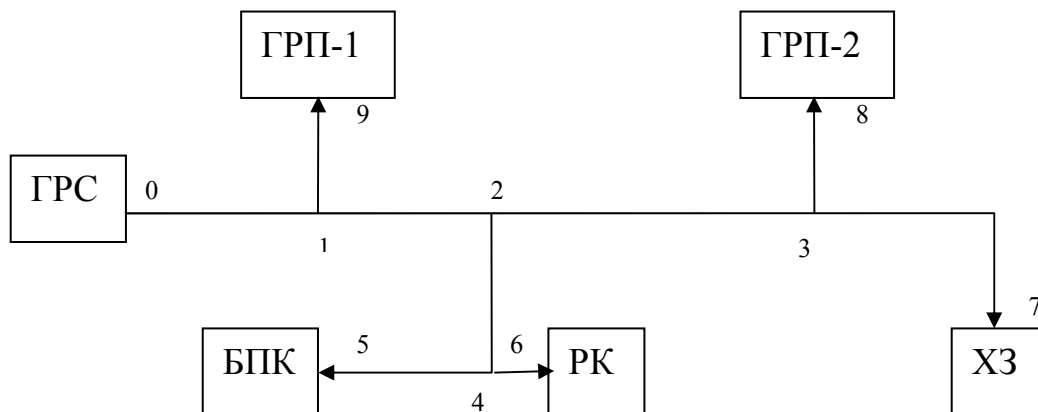


Рис. 4. Расчетная схема сети

Расходы газа потребителями известны: ХЗ (хлебзавод) – 445 м³/ч; ГРП-2 – 1700 м³/ч; РК (районная котельная) – 5900 м³/ч; БПК (банно-прачечный комбинат) – 1100 м³/ч; ГРП-1 – 1350 м³/ч.

Решение:

Определяем расчетные расходы газа по участкам сети. Значение расчетного расхода на участке 3-7 равно расходу потребителя ХЗ $Q_p = 445 \text{ м}^3/\text{ч}$, на участке 2-3 расчетный расход равен сумме расходов ГРП-2 и ХЗ, т.е. $Q_p = 1700 + 445 = 2145 \text{ м}^3/\text{ч}$ и т.д.

Расчетные расходы газа записываются в табл. 2

Геометрические размеры (длины) участков сети по плану и с учетом 10% надбавки на местные сопротивления приведены в табл. 2.

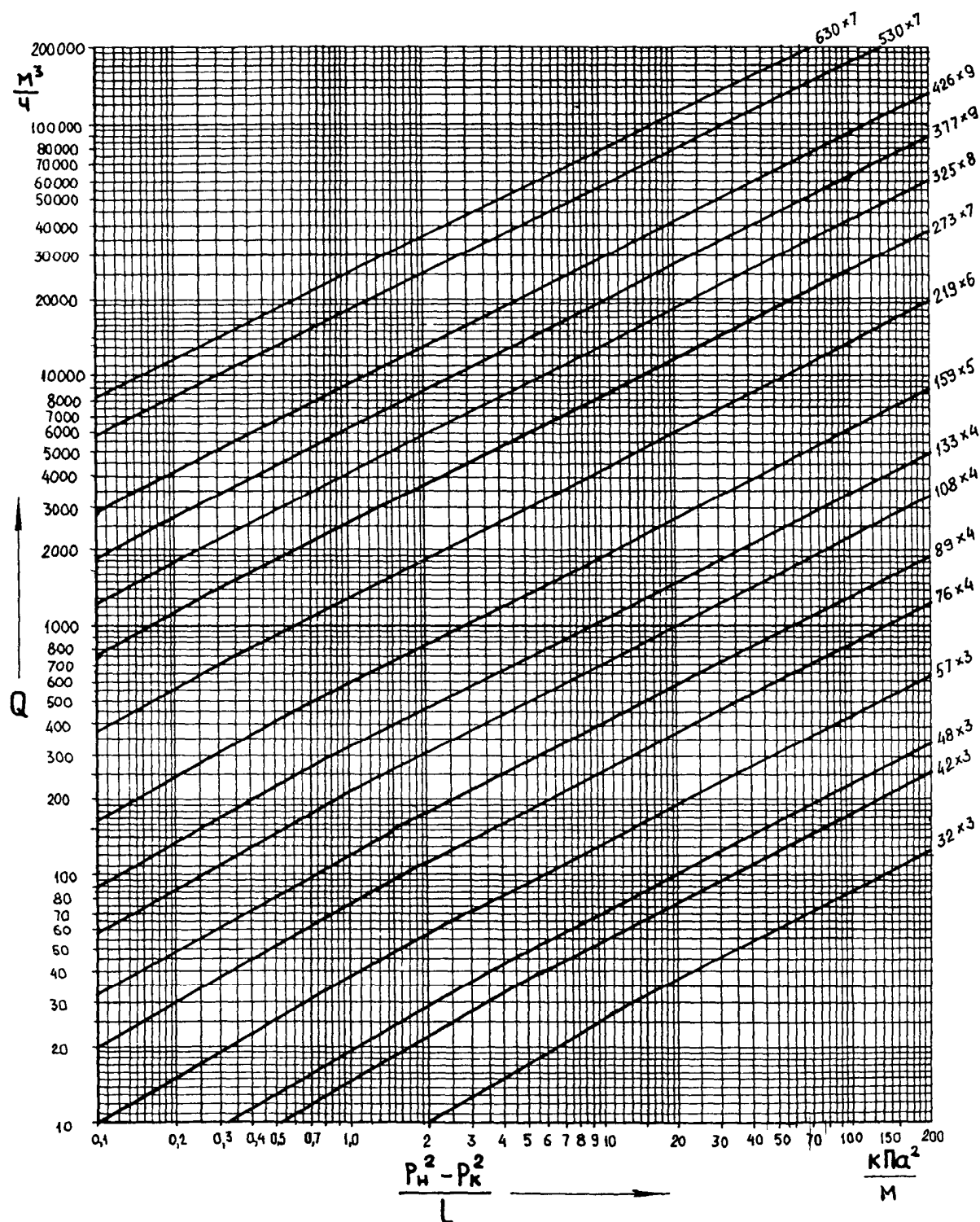


Рис. 5. Номограмма для расчета газопроводов среднего и высокого давления (природный газ $\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$; $\mu = 14,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$)

Диаметры участков определяются по номограмме для расчета газопроводов высокого и среднего давления. Номограмма (рис. 5) дает зависимость между тремя величинами: расходом газа Q , диаметром газопровода D и параметром A , из которых

нам известен только расход газа. Таким образом, имеем уравнение с двумя неизвестными. Предполагая, что располагаемый перепад давления используется равномерно и пропорционально длинам участков, вычисляем среднее значение величины $A_{\text{ср}}$

$$A_{\text{ср}} = \frac{P_{\text{Н}}^2 - P_{\text{К}}^2}{\sum L_{\text{р}}} = \frac{400^2 - 150^2}{2992} = 46 \frac{\text{кПа}^2}{\text{м}},$$

где $\sum L_{\text{р}}$ – расчетная длина главного направления 0-7.

Диаметры участков по главному направлению подбираем таким образом, чтобы полученное по номограмме значение A для каждого участка было по возможности ближе к $A_{\text{ср}} = 46 \text{ кПа}^2/\text{м}$.

После расчета главного направления производятся расчеты простых ответвлений от главного направления. Затем производятся расчеты сложных ответвлений. Таким является ответвление в узле 2 (ответвление на БПК и РК). В сложном ответвлении выбирается главное направление и производятся аналогичные расчеты.

Параметр $A_{\text{ср}}$ не всегда соответствует определенному диаметру при заданном расходе, поэтому его уточняют $A_{\text{ут}}$ и по нему находят конечное давление на рассматриваемом участке.

Так на отводе 4-6 при $A_{\text{ср}} = 177 \text{ кПа}^2/\text{м}$ и расходе $Q = 5900 \text{ м}^3/\text{ч}$ по номограмме можно найти два диаметра $D_1 = 159 \times 5$ и $D_2 = 133 \times 4$. Если принять диаметр 159×5 , то уточненное значение $A_{\text{ут}} = 87 \text{ кПа}^2/\text{м}$ и давление в конце участка $P_{\text{к}} = 206 \text{ кПа}$, что выше требуемого по условию задачи. Если принять диаметр 133×4 , то $A_{\text{ут}} = 200 \text{ кПа}^2/\text{м}$, а конечное давление будет равно $P_{\text{к}} = 132 \text{ кПа}$, что не соответствует условию задачи. Оставляем прежний диаметр и расчет считаем окончательным.

Таблица 2

Расчет сети среднего давления

Учас -ТОК	Длина участка, м		Q _р , м³/ч	D, мм	А _{ут} , кПа²/ м	Давление, кПа	
	L _Г	L _р =1,1L _Г				P _н	P _к = √P _н ² - А _{ут} · L _р
Расчет главного направления ГРС-ХЗ А _{ср} = 46 кПа²/м							
0-1	920	1012	10495	219	60	400	315
1-2	600	660	9145	219	45	315	263
2-3	500	550	2145	133	40	263	218
3-7	700	770	445	76	28	218	161
Расчет отводов а) 1-9 , А _{ср} = (315²-150²)/330 = 232,5 кПа²/м							
1-9	300	330	1350	76	200	315	182
Б) 3-8 , А _{ср} = (218²-150²)/220 = 114 кПа²/м							
3-8	200	220	1700	108	60	218	185
Расчет направления 2-5 в ответвлении А _{ср} = (263²-150²)/583 = 80 кПа²/м							
2-4	250	275	7000	219	28	263	248
4-5	280	308	1100	89	70	248	198
Расчет отвода 4-6; А _{ср} = (248²-150²)/220 = 177 кПа²/м							
4-6	200	220	5900	159	87	248	206

Пример 2. Используя данные примера 1 рассчитать тупиковую разветвленную сеть среднего давления методом оптимальных диаметров.

Решение

Расчетные расходы газа по участкам сети представлены в табл. 3.

Материальные характеристики участков M_i .

$$M_1 = Q_1^{0,38} \cdot L_1^{1,19} = 10495^{0,38} \cdot 1012^{1,19} = 127097,83;$$

$$M_2 = 9145^{0,38} \cdot 660^{1,19} = 72528,23;$$

$$M_3 = 2145^{0,38} \cdot 550^{1,19} = 33649,14;$$

$$M_4 = 7000^{0,38} \cdot 275^{1,19} = 23117,62;$$

$$M_5 = 1100^{0,38} \cdot 308^{1,19} = 13094,97;$$

$$M_6 = 5900^{0,38} \cdot 220^{1,19} = 16611,42;$$

$$M_7 = 445^{0,38} \cdot 770^{1,19} = 27624,90;$$

$$M_8 = 1700^{0,38} \cdot 220^{1,19} = 10352,70;$$

$$M_9 = 1350^{0,38} \cdot 330^{1,19} = 15365,92;$$

Параметры участков Π_i .

Для бестранзитных участков

$$\Pi_5 = \Pi_6 = \Pi_7 = \Pi_8 = \Pi_9 = 0.$$

Для участков примыкающих к бестранзитным

$$\Pi_3 = \left(\frac{M_7 + M_8}{M_3} \right)^{0,84} = \left(\frac{27624,90 + 10352,70}{33649,14} \right)^{0,84} = 1,11;$$

$$\Pi_4 = \left(\frac{M_5 + M_6}{M_4} \right)^{0,84} = \left(\frac{13094,97 + 16611,42}{23117,62} \right)^{0,84} = 1,24;$$

Для остальных участков

$$\Pi_2 = \left[\frac{M_3(1 + \Pi_3)^{1,19} + M_4(1 + \Pi_4)^{1,19}}{M_2} \right]^{0,84} =$$

$$\left[\frac{33649,14(1 + 1,11)^{1,19} + 23117,62(1 + 1,24)^{1,19}}{72528,23} \right]^{0,84} = 1,76;$$

$$\Pi_1 = \left[\frac{M_9 + M_2(1 + \Pi_2)^{1,19}}{M_1} \right]^{0,84} =$$

$$\left[\frac{15365,92 + 72528,23(1 + 1,76)^{1,19}}{127097,83} \right]^{0,84} = 1,81.$$

Показатель A_i для всех участков определяется от точки питания к периферии

$$A_i = \frac{A - \sum A_n}{1 + \Pi_i} = \frac{p_H^2 - p_K^2 - \sum A_n}{1 + \Pi_i}.$$

$$A_1 = \frac{0,4^2 - 0,15^2 - 0}{1 + 1,81} = 0,0489;$$

$$A_2 = \frac{A - A_1}{1 + \Pi_2} = \frac{0,1375 - 0,0489}{1 + 1,76} = 0,0321;$$

$$A_3 = \frac{A - A_1 - A_2}{1 + \Pi_3} = \frac{0,1375 - 0,0489 - 0,0321}{1 + 1,11} = 0,0267;$$

$$A_4 = \frac{A - A_1 - A_2}{1 + \Pi_4} = \frac{0,1375 - 0,0489 - 0,0321}{1 + 1,24} = 0,0252;$$

$$A_5 = \frac{A - A_1 - A_2 - A_4}{1 + \Pi_5} = \frac{0,1375 - 0,0489 - 0,0321 - 0,0252}{1 + 0} = 0,0313;$$

$$A_6 = \frac{A - A_1 - A_2 - A_4}{1 + \Pi_6} = |\Pi_5 - \Pi_6| = 0,0313;$$

$$A_7 = A_8 = A - A_1 - A_2 - A_3 = 0,1375 - 0,0489 - 0,0321 - 0,0267 = 0,0298$$

;

$$A_9 = \frac{A - A_1}{1 + \Pi_9} = \frac{0,1375 - 0,0489}{1 + 0} = 0,0886.$$

Диаметры участков определяются из формулы

$$\frac{p_H^2 - p_K^2}{L} = 0,4427 \cdot 10^{-5} \rho \frac{Q^2}{D^{5,25}}.$$

Откуда для i -го участка

$$D_i = \sqrt[5,25]{\frac{0,4427 \cdot 10^{-5} \rho Q_i^2 L_i}{p_{Hi}^2 - p_{Ki}^2}} = \left(\frac{0,4427 \cdot 10^{-5} \rho Q_i^2 L_i}{A_i} \right),$$

где $\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$ – плотность газа.

$$D_1 = \left(\frac{0,4427 \cdot 10^{-5} \cdot 0,73 \cdot 10495^2 \cdot 1012}{0,0489} \right)^{0,19} = 20,3 \text{ см},$$

принимая диаметр 219×6.

$$D_2 = \left(\frac{0,4427 \cdot 10^{-5} \cdot 0,73 \cdot 9145^2 \cdot 660}{0,0321} \right)^{0,19} = 19,3 \text{ см},$$

принимаем диаметр 219×6.

$$D_3 = \left(\frac{0,4427 \cdot 10^{-5} \cdot 0,73 \cdot 2145^2 \cdot 550}{0,0267} \right)^{0,19} = 11,1 \text{ см},$$

принимаем диаметр 108×4.

$$D_4 = \left(\frac{0,4427 \cdot 10^{-5} \cdot 0,73 \cdot 7000^2 \cdot 275}{0,0252} \right)^{0,19} = 15,4 \text{ см},$$

принимаем диаметр 159×4,5.

$$D_5 = \left(\frac{0,4427 \cdot 10^{-5} \cdot 0,73 \cdot 1100^2 \cdot 308}{0,0313} \right)^{0,19} = 7,5 \text{ см},$$

принимаем диаметр 76×4.

$$D_6 = \left(\frac{0,4427 \cdot 10^{-5} \cdot 0,73 \cdot 5900^2 \cdot 220}{0,0313} \right)^{0,19} = 13,2 \text{ см},$$

принимаем диаметр 133×4.

$$D_7 = \left(\frac{0,4427 \cdot 10^{-5} \cdot 0,73 \cdot 445^2 \cdot 770}{0,0298} \right)^{0,19} = 6,4 \text{ см},$$

принимаем диаметр 76×4.

$$D_8 = \left(\frac{0,4427 \cdot 10^{-5} \cdot 0,73 \cdot 1700^2 \cdot 220}{0,0298} \right)^{0,19} = 8,4 \text{ см},$$

принимаем диаметр 89×4.

$$D_9 = \left(\frac{0,4427 \cdot 10^{-5} \cdot 0,73 \cdot 1350^2 \cdot 330}{0,0886} \right)^{0,19} = 6,7 \text{ см},$$

принимаем диаметр 76×3,5.

Гидравлический расчет разветвленной тупиковой газовой сети среднего давления методом оптимальных диаметров можно произвести и на ЭВМ. Его результаты представлены в табл. 3. Программа SETI_OR3.BAS находится в пакете учебных программ в а. 2-210.

Таблица 3

Результаты гидравлического расчета разветвленной газовой сети

Участок	L, м	Q, м ³ /ч	D×δ, мм×мм	Перепад, МПа
1	1012	10495,0	219×6	0,0456
2	660	9145,0	219×6	0,0227
3	550	2145,0	108×4	0,0474
4	275	7000,0	159×4,5	0,0298
5	308	1100,0	89×3,5	0,0199
6	220	5900,0	159×4,5	0,0170
7	770	445,0	76×3,5	0,0270
8	220	1700,0	108×4	0,0120
9	330	1350,0	76×3,5	0,0784

Конечное давление по направлению 1 = 0,1538 МПа

Конечное давление по направлению 2 = 0,1799 МПа

Конечное давление по направлению 3 = 0,2050 МПа

Конечное давление по направлению 4 = 0,2121 МПа

Конечное давление по направлению 5 = 0,1896 МПа

Начальное давление в сети $p_1 = 0,4000$ МПа

Требуемое конечное давление $p_2 = 0,1500$ МПа

Расчетный перепад давления $H_0 = 0,1375$ МПа

Массив направлений по приоритету:

1	7	3	2	1
2	8	3	2	1
3	5	4	2	1
4	6	4	2	1
5	9	1		

Пример 3. Рассчитать кольцевую газовую сеть низкого давления (рис. 6). Плотность населения $N = 420$ чел/га, удельный расход газа $q_0 = 0,09$ м³/ч·чел. Сеть питается природным газом плотностью $\rho = 0,73$ кг/м³. Длины сторон колец и площади застройки жилых кварталов приведены на рис. 7. Сеть имеет две сосредоточенные нагрузки $q_1 = 85$ м³/ч и $q_2 = 70$ м³/ч.

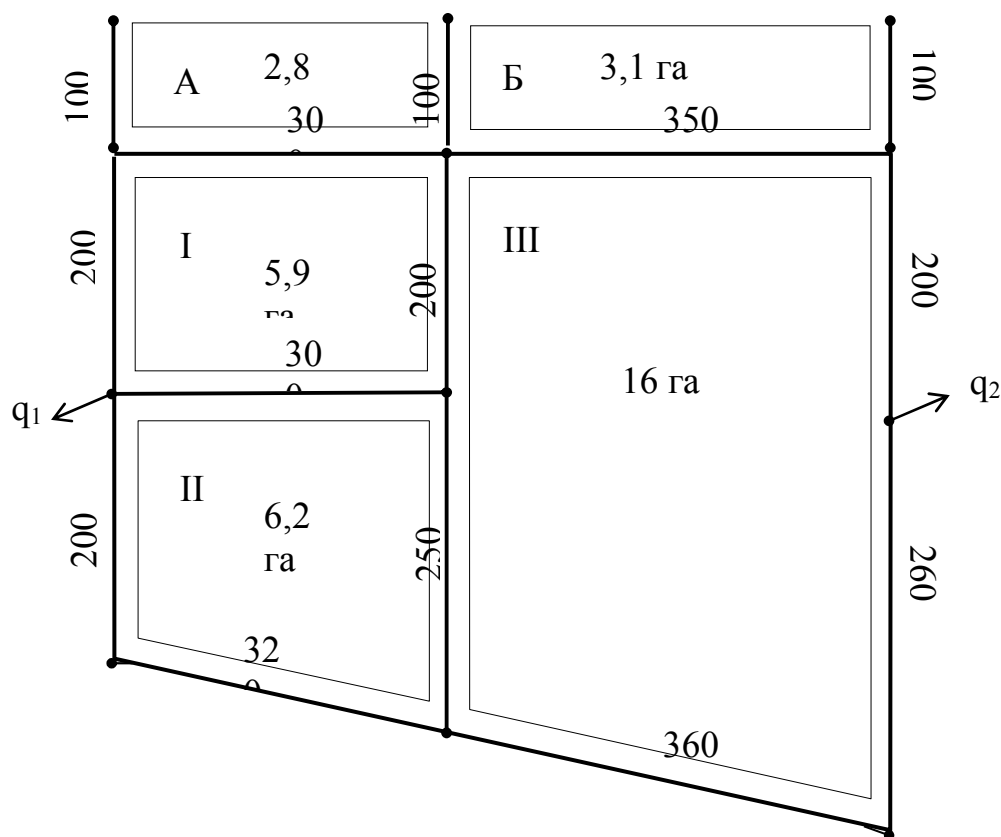


Рис.6. Схема газоснабжения

Расчетный перепад давления в сети согласно [1] равен $\Delta P_p = 1200$ Па.

Решение:

Вся территория разбивается на зоны А, Б, I, II, III, которые питаются газом от определенных контуров. Определяем максимальные часовые расходы газа для каждой зоны, перемножая площадь зоны, плотность населения и удельный расход газа на человека. Определяем суммарную геометрическую длину каждого питающего контура I, II, III и полуконтуров А, Б. Определяем удельные путевые расходы в каждом контуре и полуконтуре путем деления максимального часового расхода на длину контура. Все расчеты сводим в табл.4.

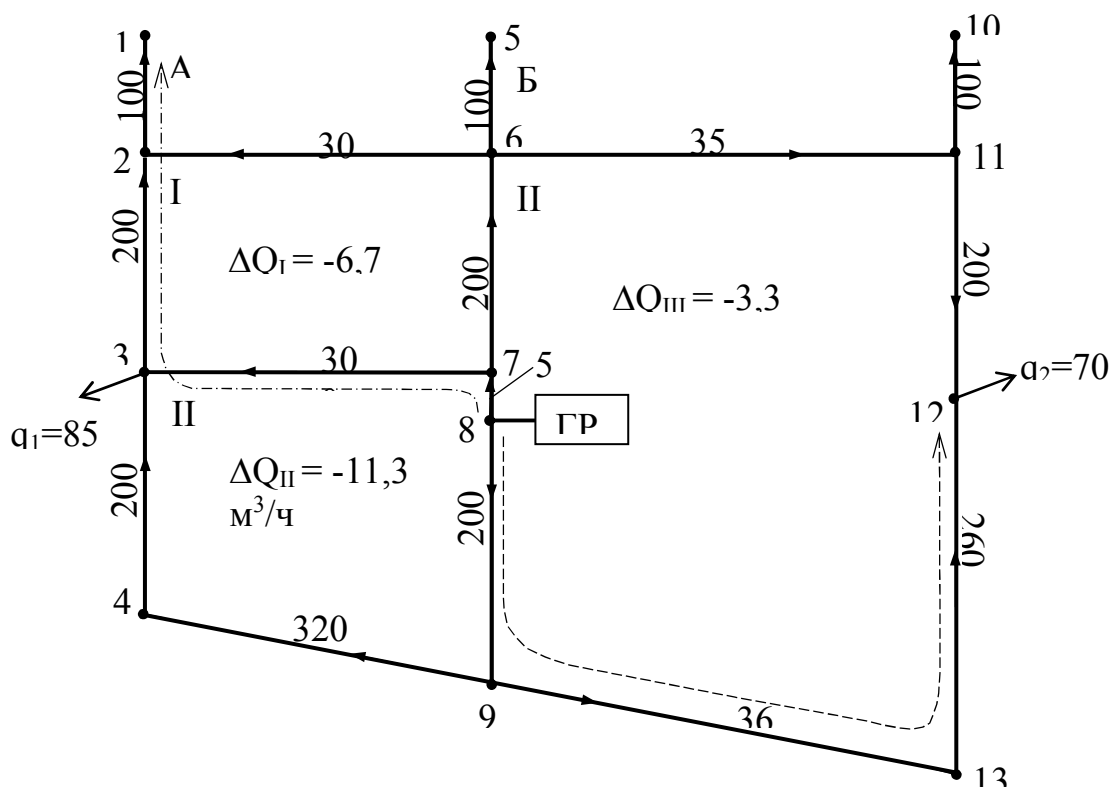
Таблица 4

Удельные путевые расходы

Номер зоны	Площадь зоны, га	Население, чел.	Расход газа, м ³ /ч	Длина контура, м	Удельный путевой расход, м ³ /ч·м
I	5,9	2478	223,0	1000	0,223
II	6,2	2604	234,4	1070	0,219
III	16,0	6720	604,8	1620	0,373
A	2,8	1176	105,8	500	0,212
Б	3,1	1302	117,2	550	0,213
Итого	34,0	14280	1285,2	-	-

Суммарное потребление газа с учетом сосредоточенных отборов составляет

$$\Sigma Q = 1285,2 + 155 = 1440,2 \text{ м}^3/\text{ч}$$

**Рис.7. Расчетная схема кольцевой сети низкого давления**

Далее сеть разбивается на участки и нумеруются все узлы. Назначаются концевые точки в местах, наиболее удаленных от точки питания сети. Направление движения газа указано на рис. 7. Направление движения газа по часовой стрелке будем считать положительным, против часовой – отрицательным. Определяем путевые, транзитные и расчетные расходы газа на участках сети и заносим в табл. 5.

Проверяем правильность определения транзитных расходов. На участках 7-8 и 8-9, принадлежащих точке питания, расход газа равен

$$\sum(Q_T + Q_{\Pi}) = 29,6 + 861,6 + 118,4 + 430,2 = 1439,8 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Полученная величина практически совпадает с расходом газа на всю газоснабжаемую территорию, равным 1440,2 м³/ч (табл. 4).

Производим предварительный расчет газовой сети, т.е. подбираем диаметры всех участков, исходя из средних гидравлических уклонов (удельных потерь давления по главным направлениям). Результаты расчетов сводим в табл. 6. Потери на местные сопротивления принимаем в размере 10 % от линейных, тогда допустимые потери давления на трение составят

$$\Delta P_T = 1200/1,1 = 1091 \text{ Па}.$$

Для сети примем два главных направления. Для колец I и II - первое главное направление от точки питания 8 до точки 1, т.е. 8-7-3-2-1. Для III кольца - второе главное направление 8-9-13-12. Общая длина первого направления

$$L_1 = 50 + 300 + 200 + 100 = 650 \text{ м},$$

второго главного направления

$$L_2 = 200 + 360 + 260 = 820 \text{ м}.$$

Таблица 5

Расчетные расходы газа

№ уч-ка	Дли на уч- ка, м	Уд. путево й расход q, м ³ /ч·м	Расходы газа, м ³ /ч			
			Q _п	0,5Q _п	Q _т	Q _р
1-2	100	0,212	21,2	10,6	0	10,6
5-6	100	0,425	42,5	21,3	0	21,3
10-11	100	0,213	21,3	10,6	0	10,6
2-3	200	0,223	44,6	22,3	10,6 - половина Q _п ¹⁻²	32,9
3-7	300	0,442	132,6	66,3	90,2 = 35+44,6+10,6	156, 5
7-6	200	0,596	119,2	59,6	519,6	579, 2
6-2	300	0,435	130,5	65,3	10,6 - половина Q _п ¹⁻²	75,9
3-4	200	0,219	43,8	21,9	50 – от сосред. расхода q ₁	71,9
4-9	320	0,219	70,1	35,0	93,8	128, 8
9-8	200	0,592	118,4	59,2	430,2= 93,8+132+70,1+134,3	489, 4
8-7	50	0,592	29,6	14,8	861,6=132,6+90,2+119,2 +519,6	876, 4
6-11	350	0,586	205,1	102,6	130,9	233, 5
11-12	200	0,373	74,6	37,3	35 - от сосред. расхода q ₁	72,3
12-13	260	0,373	97,0	48,5	35 – от сосред. расхода q ₁	83,5
13-9	360	0,373	134,3	67,2	132	199, 2
Итого			1284, 8			

Удельные потери давления по главным направлениям соответственно

$$\frac{\Delta P_{\tau}}{L_1} = \frac{1091}{650} = 1,678 \text{ Па / м}$$

$$\frac{\Delta P_{\tau}}{L_2} = \frac{1091}{820} = 1,330 \text{ Па / м}$$

По полученным значениям удельных потерь давления и расчетных расходов соответствующих участков по номограмме (рис. 8) определяем их диаметры. Все результаты сводим в табл. 6. Например, для участка 7-3 первого кольца с расчетным расходом $Q_p = 156,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ и удельными потерями давления $1,678 \text{ Па/м}$ по номограмме подбираем ближайший диаметр $133 \times 4 \text{ мм}$ и для него уточняем удельные потери на трение $0,9 \text{ Па/м}$. Умножая $0,9 \text{ Па/м}$ на длину участка 7-3, получаем падение давления на нем $\Delta P = 270 \text{ Па}$. Аналогично рассчитываем остальные участки сети.

Далее определяем ошибку Δ в распределении расходов по кольцам. Ошибка считается допустимой, если она будет меньше или равна 10% . В нашем случае ошибка в I и II кольцах превышает допустимую и равна соответственно $\Delta_1 = 25,3 \%$ и $\Delta_2 = 23,1 \%$. В таком случае необходимо произвести гидравлическую увязку сети.

Определим поправочные расходы в кольцах. Поправочный расход без учета соседних колец

а) в первом кольце

$$\Delta Q_1' = - \frac{\sum P}{1,75 \sum \frac{\Delta P}{Q_p}} = - \frac{110}{1,75 \cdot 11,816} = -5,3 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

б) во втором кольце

$$\Delta Q_{II}' = \frac{-93}{1,75 \cdot 5,588} = -9,5 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

в) в третьем кольце

$$\Delta Q_{III}' = \frac{-67}{1,75 \cdot 12,607} = -3,0 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

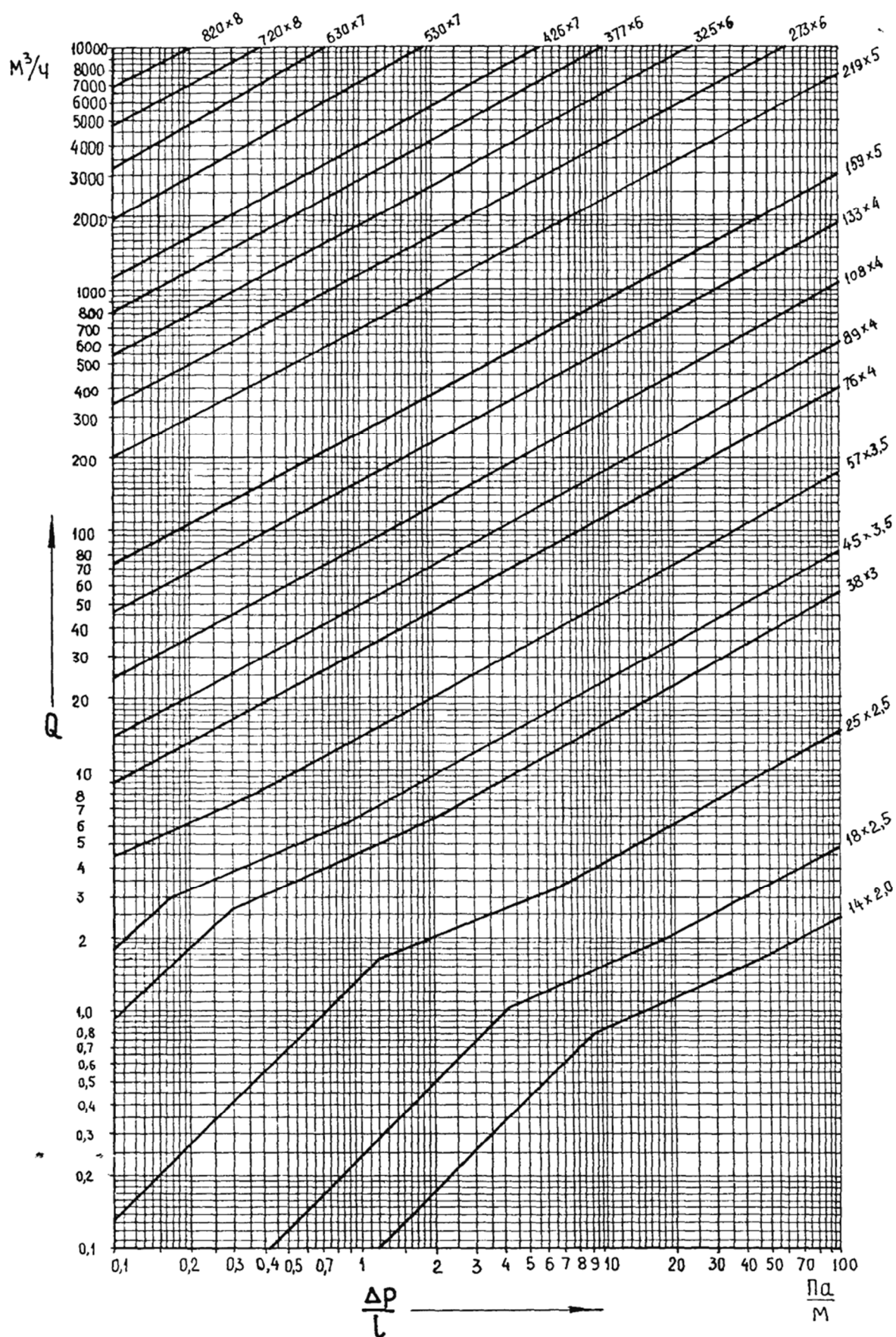


Рис. 8. Номограмма для расчета газопроводов низкого давления (природный газ $\rho = 0,73 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\nu = 14,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$)

Таблица 6

Гидравлический расчет участков кольцевой сети

№ коль- ца	Участки			Предварительное распределение расходов					Поправ. расход ΔQ	Окончательное распределение расходов				
	$N_{уч}$	$N_{ск}$	L, м	$Q_p, \text{м}^3/\text{ч}$	$D \times \delta, \text{мм}$	$\Delta P/l, \text{Па/м}$	$\Delta P, \text{Па}$	$\Delta P/Q_p$		$\Delta Q_y, \text{м}^3/\text{ч}$	$Q_p, \text{м}^3/\text{ч}$	$\Delta P/l, \text{Па/м}$	$\Delta P, \text{Па}$	$1,1 \Delta P, \text{Па}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I	7-3	II	300	156,5	133x4	0,9	270	1,725	-6,7	4,6	161,1	1,00	300	330
	3-2	-	200	32,9	76x4	1,1	220	6,687		-6,7	26,2	0,71	142	156
	2-6	-	300	-75,9	108x4	-0,8	-240	3,162		-6,7	-82,6	-0,87	-261	287
	6-7	III	200	-579,2	219x5	-0,7	-140	0,242		-3,4	-582,6	-0,74	-148	163
$\Delta = \frac{\sum \Delta P \cdot 100}{0,5 \cdot \sum \Delta P } = \frac{110 \cdot 100}{0,5 \cdot 870} = 25,3 \%$							$\Sigma \Delta P = 110$ $\Sigma \Delta P = 870$	$\Sigma \Delta P/Q_p = 11,816$	$\Delta = \frac{\sum \Delta P \cdot 100}{0,5 \cdot \sum \Delta P } = \frac{33 \cdot 100}{0,5 \cdot 851} = 7,75 \%$					
II	7-3	I	300	-156,5	133x4	-0,9	-270	1,725	-11,3	-4,6	-161,1	-1,00	-300	330
	3-4	-	200	71,9	108x4	0,7	140	1,947		-11,3	60,6	0,51	102	112
	4-9	-	320	128,8	133x4	0,65	208	1,615		-11,3	117,5	0,54	173	190
	9-8	III	200	489,4	219x5	0,5	100	0,204		-8,0	481,4	0,48	96	106
	8-7	III	50	-876,4	219x5	-1,7	-85	0,097		-8,0	-884,4	-1,72	-86	95
$\Delta = \frac{\sum \Delta P \cdot 100}{0,5 \cdot \sum \Delta P } = \frac{93 \cdot 100}{0,5 \cdot 803} = 23,1 \%$							$\Sigma \Delta P = 93$ $\Sigma \Delta P = 803$	$\Sigma \Delta P/Q_p = 5,588$	$\Delta = \frac{\sum \Delta P \cdot 100}{0,5 \cdot \sum \Delta P } = \frac{-15 \cdot 100}{0,5 \cdot 757} = -3,96 \%$					

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
III	8-7	II	50	876,4	219x5	1,7	85	0,097		8,0	884,4	1,72	86	95
	7-6	I	200	579,2	219x5	0,7	140	0,242		3,4	582,6	0,74	148	163
	6-11	-	350	233,5	159x5	0,8	280	1,199		-3,3	230,2	0,78	273	300
	11-12	-	200	72,3	89x4	2,0	400	5,533	-3,3	-3,3	69,0	1,94	388	427
	12-13	-	260	-83,5	108x4	-0,9	-234	2,802		-3,3	-86,8	-1,00	-260	286
	13-9	-	360	-199,2	133x4	-1,4	-504	2,530		-3,3	-202,5	-1,60	-576	634
	9-8	II	200	-489,4	219x5	-0,5	-100	0,204		8,0	-481,4	-0,48	-96	106
$\Delta = \frac{\sum \Delta P \cdot 100}{0,5 \cdot \sum \Delta P } = \frac{67 \cdot 100}{0,5 \cdot 1743} = 7,7 \%$							$\frac{\sum \Delta P = 67}{\sum \Delta P = 1743}$	$\frac{\sum \Delta P}{Q_p} = 12,607$	$\Delta = \frac{\sum \Delta P \cdot 100}{0,5 \cdot \sum \Delta P } = \frac{-37 \cdot 100}{0,5 \cdot 1827} = -4,05 \%$					

Вычисляем поправочные расходы, учитывающие невязки в соседних кольцах

а) в первом кольце

$$\Delta Q_I'' = \frac{\sum \Delta Q_{CK}' \cdot \left(\frac{\Delta P}{Q_P} \right)_{CK}}{\sum \frac{\Delta P}{Q_P}} = \frac{-9,5 \cdot 1,725 + (-3,0) \cdot 0,242}{11,816} = -1,448 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

б) во втором кольце

$$\Delta Q_{II}'' = \frac{-5,3 \cdot 1,725 + (-3,0) \cdot 0,097 + (-3,0) \cdot 0,204}{5,588} = -1,798 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

в) в третьем кольце

$$\Delta Q_{III}'' = \frac{-5,3 \cdot 0,242 + (-9,5) \cdot 0,097 + (-9,5) \cdot 0,204}{12,607} = -0,328 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Поправочные расходы в кольцах ΔQ будут равны

$$\Delta Q_I = \Delta Q_I' + \Delta Q_I'' = -5,3 - 1,448 = -6,7 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

$$\Delta Q_{II} = -9,5 - 1,798 = -11,3 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

$$\Delta Q_{III} = -3,0 - 0,328 = -3,3 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Вводим поправочные расходы во все кольца, для этого определяем поправочные расходы на всех участках (с учетом знака) и просуммируем их с предварительными значениями расчетных расходов. Результат суммирования занесем в колонку № 12 табл. 6. По уточненным расчетным расходам по номограмме найдем удельные потери давления при уже известных диаметрах на всех участках. И заканчиваем заполнение табл. 6 определением потерь давления по участкам колец с учетом местных сопротивлений. Например, в кольцах I и II, граничащих по участку 3-7, поправочные расходы $\Delta Q_I = -6,7 \text{ м}^3 / \text{ч}$ и $\Delta Q_{II} = -11,3 \text{ м}^3 / \text{ч}$, тогда поправочный расход для I кольца на участке 3-7 составит

$$\Delta Q_{уч I}^{3-7} = -6,7 - (-11,3) = 4,6 \text{ м}^3 / \text{ч},$$

а на этом же участке для II кольца

$$\Delta Q_{уч II}^{3-7} = -11,3 - (-6,7) = -4,6 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Расчетные расходы на участке 3-7 для первого и второго кольца соответственно

$$Q_{p I} = 156,5 + 4,6 = 161,1 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

$$Q_{p II} = -156,5 + (-4,6) = -161,1 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Удельные потери давления на участке 3-7 при диаметре 133х4 и расходе 161,1 м³/ч равны

$$\Delta P/l = 1,0 \text{ Па/м.}$$

Потери давления на этом участке составляют

$$\Delta P = \frac{\Delta P}{l} \cdot l_{3-7} = 1,0 \cdot 300 = 300 \text{ Па.}$$

Аналогичные расчеты проводятся для всех участков и опять определяется ошибка в распределении расходов по кольцам. Расчеты показывают, что ошибка составляет меньше 10 %. Если бы после введения поправочных расходов увязку колец произвести не удалось, необходимо вычислить новые поправочные расходы и увязку повторить.

Далее производим расчет тупиковых участков. При этом необходимо стремиться использовать весь расчетный перепад давления. Все расчеты сводятся в табл. 7.

Располагаемый перепад давления на участке 1-2 определим, исходя из потерь давления на главном направлении 8-7-3-2-1, которые берем из колонки № 15 табл. 6.

$$\Delta P_{p(1-2)} = 1200 - \Delta P_{8-7-3-2} = 1200 - 95 - 330 - 156 = 619 \text{ Па.}$$

На участке 5-6

$$\Delta P_{p(5-6)} = 1200 - 95 - 163 = 942 \text{ Па.}$$

На участке 10-11

$$\Delta P_{p(10-11)} = 1200 - 95 - 163 - 300 = 642 \text{ Па.}$$

Диаметры газопроводов принимаем не менее 50 мм.

Таблица 7

Гидравлический расчет тупиковых газопроводов

Учас-ток	l, м	Q _p , м³/ч	ΔP _p , Па	ΔP _p /l, Па/м	Dxδ, мм	ΔP/l, Па/м	ΔP, Па	1,1ΔP, Па
1-2	100	10,6	619	6,19	57х3,5	0,55	55	60,5
5-6	100	21,3	942	9,42	57х3,5	2,1	210	231
10-11	100	10,6	642	6,42	57х3,5	0,55	55	60,5

Степень использования располагаемого перепада давления в правой части сети высока и составляет более 90 %. В левой части сети нагрузка оказалась ниже, чем в правой, да и суммарная длина участков от точки питания до конечных точек меньше. Кроме того, диаметры участков были приняты с округлениями в большую сторону, что позволяет увеличить надежность поставок газа потребителям при аварийной ситуации в правой части сети. Эти предпосылки привели к недоиспользованию располагаемого перепада по коротким направлениям.

Пример 4. Подобрать оборудование для ГРП производительностью $980 \text{ м}^3/\text{ч}$ при избыточном давлении на входе 95 кПа и давлении на выходе 3 кПа . Плотность газа $0,73 \text{ кг/м}^3$, температура газа $T = 276 \text{ К}$.

Решение:

Предварительно задаемся потерями в газопроводах ГРП, кранах 1,5, предохранительном запорном клапане 3 и фильтре 2 (рис.9) в размере 4 кПа . В этом случае перепад давления на клапане регулятора 4 давления буде равен

$$\Delta P = 95 - 4 - 3 = 88 \text{ кПа}.$$

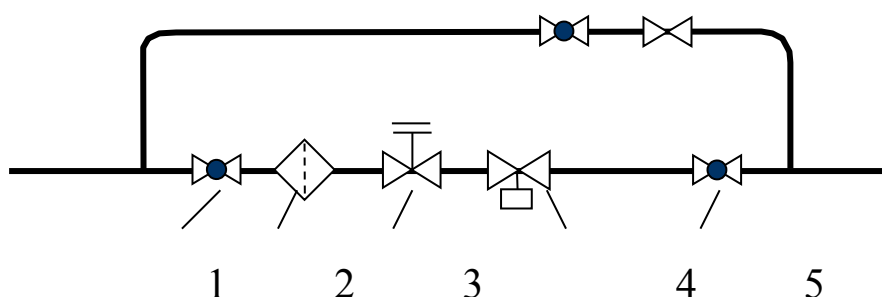


Рис. 9. Расчетная схема ГРП

Абсолютное давление газа на входе и выходе регулятора давления (РД)

$$P_1 = P_{\text{и}} + P_{\text{а}} = 95 + 100 = 195 \text{ кПа},$$

$$P_2 = 3 + 100 = 103 \text{ кПа}.$$

Режим течения газа через клапан РД

$$\Delta P/P_1 = 88/195 = 0,45 < 0,5,$$

что говорит о докритическом течении газа через РД.

По полученному значению $\Delta P/P_1 = 0,45$ из графика (рис. 2) находим значение поправки на изменение плотности газа $\varepsilon = 0,77$ при коэффициенте адиабаты для природного газа $k = 1,3$.

Определяем коэффициент пропускной способности РД

$$k_v = \frac{Q}{5260 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{\Delta P \cdot P_1}{\rho \cdot T_1 \cdot z_1}}} = \frac{980}{5260 \cdot 0,77 \cdot \sqrt{\frac{0,088 \cdot 0,195}{0,73 \cdot 276 \cdot 1}}} = 26,2.$$

По табл. 8 подбираем регулятор давления с коэффициентом пропускной способности близким к расчетному $k_v = 26,2$. Для $k_v = 27$ соответствует регулятор давления РДУК 2-50/35.

Таблица 8

Коэффициент пропускной способности k_v регуляторов давления

Тип регулятора	Коэффициент k_v	Тип регулятора	Коэффициент k_v
РД-20-5	0,52	РДУК-2-50/35	27
РД-25-6,5	0,9	РДУК-2-100/50	38
РД-32-5	0,52	РДУК-2-100-70	108
РД-32-6,5	0,9	РДУК-2-200/105	200
РД-32-9,5	1,9	РДУК-2-200/140	300
РД-50-13	3,7	РД-50-64	22
РД-50-19	7,9	РД-80-64	66
РД-50-25	13,7	РД-100-64	110
РД-32-М-10	1,4	РД-150-64	314
Р-32М-6	0,8	РД-200-64	424
РД-32М-4	0,52		
РД-50М-25	11		
РД-50М-20	9		
РД-50М-15	5,8		
РД-50М-11	3,3		
РД-50М-8	1,7		

Определяем запас его пропускной способности

$$Q = 5260 \cdot \varepsilon \cdot k_v \cdot \sqrt{\frac{\Delta P \cdot P_1}{\rho \cdot T_1 \cdot z_1}} = 5260 \cdot 0,77 \cdot 27 \cdot \sqrt{\frac{0,088 \cdot 0,195}{0,73 \cdot 276 \cdot 1}} = 1009 \text{ м}^3 / \text{ч},$$

т.е. пропускная способность несколько больше необходимой, что удовлетворяем требованиям.

Для очистки газа примем к установке волосяной фильтр с $D = 50$ мм. Его пропускная способность при абсолютном давлении на входе $P_1^T = 0,7$ МПа, перепаде давления $\Delta P^T = 5$ кПа и плотности газа $\rho^T = 0,73$ кг/м³ составит $Q^T = 6000$ м³/ч.

Потери давления на фильтре при заданной пропускной способности ГРП

$$\Delta P_\phi = \Delta P^T \cdot \left(\frac{Q}{Q^T} \right)^2 \cdot \frac{\rho}{\rho^T} \cdot \frac{P_2^T}{P_2} = 5 \cdot \left(\frac{980}{6000} \right)^2 \cdot \frac{0,73}{0,73} \cdot \frac{0,695}{0,195} = 0,475 \text{ кПа},$$

где $P_2 = 195$ кПа – давление на выходе из фильтра или давление на входе в РД.

Скорость движения газа в линиях редуцирования

а) до регулятора давления

$$w_1 = \frac{4 \cdot Q \cdot P_a}{3600 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot P_1} = \frac{4 \cdot 980 \cdot 0,1}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,05^2 \cdot 0,195} = 71 \text{ м/с};$$

б) после регулятора давления

$$w_2 = \frac{4 \cdot Q \cdot P_a}{3600 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot P_2} = \frac{4 \cdot 980 \cdot 0,1}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,05^2 \cdot 0,103} = 134 \text{ м/с},$$

где D – внутренний диаметр трубопровода.

Полученные скорости высоки, т.к. при движении газа по трубам они вызывают большой шум, что недопустимо при эксплуатации. Для снижения скорости и уменьшения шума примем диаметры трубопроводов до и после регулятора давления равными 125 мм, тогда скорости составят $w_1 \cong 11$ м/с и $w_2 \cong 21,5$ м/с.

Определяем потери давления в кранах, местных сопротивлениях и в клапане ПЗК линии редуцирования.

Принимаем следующие значения коэффициентов местных сопротивлений:

Сопротивления	До регулятора	После регулятора
Кран ($\xi = 2$)	2	2
ПЗК ($\xi = 5$)	5	-
Переход на D = 125 мм	0,55	0,55
Итого	7,55	2,55

Гидравлические потери составляют

а) до регулятора давления

$$\Delta P_{1\text{мс}} = \sum \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \cdot \frac{P_1}{P_a} = 7,55 \cdot \frac{11^2}{2} \cdot 0,73 \cdot \frac{0,195}{0,1} = 650 \text{ Па};$$

б) после регулятора давления

$$\Delta P_{2\text{мс}} = 2,55 \cdot \frac{21,5^2}{2} \cdot 0,73 \cdot \frac{0,103}{0,1} = 443 \text{ Па}.$$

Суммарные потери давления в линии редуцирования составят

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ф}} + \Delta P_{1\text{мс}} + \Delta P_{2\text{мс}} = 475 + 650 + 443 = 1568 \text{ Па}.$$

Эта величина меньше предварительно принятой 4 кПа, что приводит к увеличению запаса пропускной способности регулятора давления.

Пример 5. Рассчитать газовую сеть пятиэтажного жилого дома. Квартиры оборудованы четырех – и двухконфорочными плитами и проточными водонагревателями.

Решение:

Внутридомовая газовая сеть (рис.10) жилого дома состоит из четырех стояков, геометрические размеры которых известны. Ассортимент приборов, установленных в квартирах, условно обозначен:

П4 – плита четырехконфорочная;

П2 – плита двухконфорочная;

ГК – газовый проточный водонагреватель.

Расчет начинаем от самого верхнего и самого дальнего прибора в здании для стояка Ст.1. На расчетной схеме проставлены номера узловых точек и указаны номера стояков.

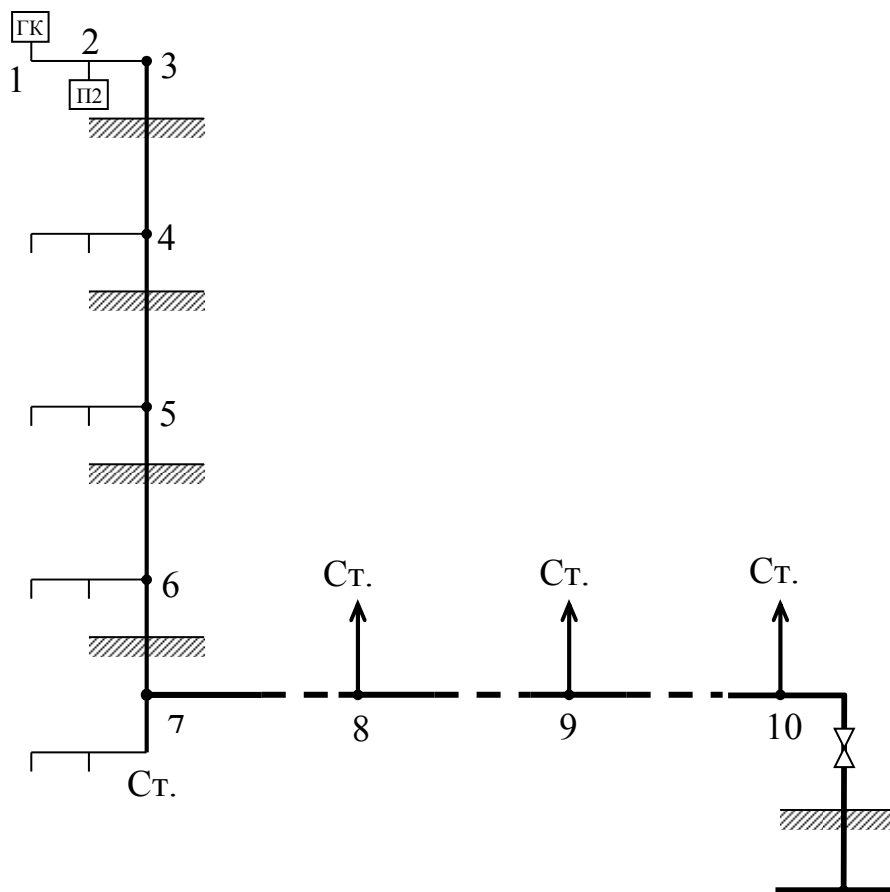


Рис.10. Расчетная схема

Если в квартирах установлены различные приборы, то каждый такой ассортимент указывается отдельно (участки 9-10 и 10-11).

Определяются расчетные расходы газа по участкам внутридомовой сети и заносятся в табл. 9. Значение коэффициента одновременности K_{sim} определяется в зависимости от ассортимента установленных приборов (табл. 1) [1].

Так как участок 9-10 питает 10 квартир с ассортиментом П2+ГК и 5 квартир с ассортиментом П4+ГК, коэффициент одновременности принимается для каждой группы квартир отдельно, но по суммарному количеству квартир – по 15 для каждой группы.

Таблица 9

Расчетные расходы газа

Номер участка	Ассортимент приборов	Кол-во квартир, n	Коэффициент одновременности, K_{sim}	Расход газа, м ³ /ч	
				На все квартиры	Расчетный, Q_p
1-2	ГК	-	1	2,70	2,70
2-3	П2+ГК	1	0,750	2,62	2,62
3-4	П2+ГК	1	0,750	2,62	2,62
4-5	П2+ГК	2	0,640	4,48	4,48
5-6	П2+ГК	3	0,520	5,46	5,46
6-7	П2+ГК	4	0,390	5,46	5,46
7-8	П2+ГК	5	0,375	6,56	6,56
8-9	П2+ГК	10	0,315	11,02	11,02
9-10	П2+ГК	10	0,275	9,62	15,47
	П4+ГК	5	0,300	5,85	
10-11	П2+ГК	15	0,260	13,65	19,11
	П4+ГК	5	0,280	5,46	

Расчетный расход газа на участке 1-2 равен

$$Q_p = q \cdot K_{sim} \cdot n = 2,7 \cdot 1 \cdot 1 = 2,7 \text{ м}^3 / \text{ч},$$

где $q = 2,7 \text{ м}^3/\text{ч}$ – часовое потребление газа водонагревателем.

Расчетный расход газа на участке 2-3 и 3-4, питающем одну квартиру с ассортиментом П2+ГК

$$Q_p = (q_{\text{п}} + q_{\text{гк}}) \cdot K_{sim} \cdot n = (0,8 + 2,7) \cdot 0,75 \cdot 1 = 2,62 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Участок 4-5 питает газом две квартиры с ассортиментом П2+ГК, тогда расчетный расход на участке

$$Q_p = (0,8 + 2,7) \cdot 0,64 \cdot 2 = 4,48 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Аналогично определяются расчетные расходы на участках 5-6, 6-7, 7-8, 8-9 и заносятся в табл. 9.

Участки 9-10 и 10-11 питают квартиры с приборами двух ассортиментов. Поэтому расход газа для 10 квартир с ассортиментом П2+ГК

$$Q_{p1} = (0,8 + 2,7) \cdot 0,275 \cdot 10 = 9,62 \text{ м}^3/\text{ч},$$

Для 5 квартир с ассортиментом П4+ГК

$$Q_{p2} = (1,2+2,7) \cdot 0,3 \cdot 5 = 5,85 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где K_{sim} в обоих случаях принят для 15 квартир, но при разном ассортименте приборов в квартирах.

Суммарный расход на участке 9-10 составляет

$$Q_p = 9,62+5,85 = 15,47 \text{ м}^3/\text{ч},$$

На участке 10-11 соответственно

$$Q_{p1} = (0,8+2,7) \cdot 0,26 \cdot 15 = 13,65 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$Q_{p2} = (1,2+2,7) \cdot 0,28 \cdot 5 = 5,46 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$Q_p = 13,65+5,46 = 19,11 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Определив все расчетные расходы по участкам внутридомовой газовой сети, переходим к гидравлическому расчету газопровода (табл. 10).

На дворовые и внутренние газопроводы расчетные потери давления составляют 600 Па [1]. Примем на внутридомовую сеть 250 Па. Длина участков сети известна, т.к. для этого расчета необходимы чертежи газифицируемого здания. При расчете внутренних газопроводов жилых домов учитываются потери на местные сопротивления (табл. 11) [1].

Например, расчетная длина участка 1-2 равна

$$l_p = l_r \cdot \left(1 + \frac{a}{100}\right) = 1,5 \cdot \left(1 + \frac{450}{100}\right) = 8,25 \text{ м},$$

для участка 2-4

$$l_p = 3,15 \cdot \left(1 + \frac{20}{100}\right) = 3,78 \text{ м и т.д.},$$

Таблица 10

Гидравлический расчет внутридомового газопровода

№ уч-ка	Q_p , $\text{м}^3/\text{ч}$	l_r , м	a , %	l_p , м	D , мм	$\Delta P/l$, Па/м	ΔP_p , Па	P_r , Па	$\Delta P_p + P_r$, Па
1-2	2,70	1,50	450	8,25	25	4,37	36,05	0	36,05
2-4	2,62	3,15	20	3,78	25	4,00	15,12	- 16,29	-1,17
4-5	4,48	3,00	20	3,60	25	10,80	38,88	- 16,57	22,31
5-6	5,46	3,00	20	3,60	25	17,00	61,20	- 16,57	44,63

6-7	5,46	3,00	20	3,60	25	17,00	61,20	- 16,57	44,63
7-8	6,56	12,50	25	15,62	38	2,12	33,11	0	33,11
8-9	11,02	5,00	25	6,25	38	5,58	34,87	0	34,87
9-10	15,47	2,00	25	2,50	45	4,75	11,87	0	11,87
10-11	19,11	8,00	25	10,00	57	1,81	18,10	- 17,67	0,43
Итого				57,20			310,4	- 83,67	226,73

где a – процентная надбавка на местное сопротивление.

Таблица 11

Надбавки на местные сопротивления при расчете внутренних газопроводов низкого давления для жилых домов

№	Тип местного сопротивления	a , % от линейных потерь
1	На газопроводах от ввода в здание: - до стояка - на стояках	25 20
2	На внутриквартирной разводке: - при длине разводки 1...2 м - при длине разводки 3...4 м - при длине разводки 5...7 м - при длине разводки 8...12 м	450 300 120 50

Суммарная расчетная длина от точки питания 11 до самой дальней точки 1 равна 57,2 м.

Среднее удельное падение давления составляет

$$\frac{\sum P}{\sum l_p} = \frac{250}{57,2} = 4,37 \text{ Па / м.}$$

Зная расход на участках и среднее удельное падение давления, по номограмме определяем диаметры участков. На участках 1-2 и 2-3 диаметры газопроводов не должны быть меньше присоединительных диаметров и приборов.

На вертикальных участках 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 10-11 внутридомового газопровода определяются гидростатические давления.

На участке 3-4 гидростатическое давление

$$\Delta P_r = z \cdot g \cdot (1,293 - \rho_r) = 2,95 \cdot 9,81 \cdot (1,293 - 0,73) = 16,29 \text{ Па};$$

На участке 10-11

$$\Delta P_r = 3,2 \cdot 9,81 \cdot (1,293 - 0,73) = 11,67 \text{ Па},$$

где z – разность абсолютных отметок начальных и конечных точек участка газопровода;

ρ_r – плотность газа.

Для горизонтальных участков $\Delta P_r = 0$.

Суммарная величина падения давления на всех последовательно соединенных участках от точки 11 до точки 1 составляет 226,73 Па, что не превышает предварительно принятого значения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.0408-87*. Газоснабжение/ Минстрой России. – Москва: ГПЦПП Минстроя России, 1995. – 68 с.
2. Ионин А. А. Газоснабжение. – Москва: Стройиздат, 1989. – 439 с.
3. Manuel pour le transport et la distribution du gaz. – Paris.: Soc. Usines GAS, (Assjc. techn. Gaz France), т. 1. 1968, 926 p.; т. 2. 1968, 580 p. (927 – 1507 p.p.).
4. Торчинский Я.Н. Оптимизация проектируемых и эксплуатируемых газораспределительных систем. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1988. – 229 с.