

Введение

Развитие газовой промышленности и газоснабжения населенных пунктов на базе природных газов в республике Беларусь началось в 1960г. с города Минска. Широкая газификация началась в 76–80 гг. Для повышения надежности систем газоснабжения минского промышленного узла в 1976 г. было введено в эксплуатации подземное хранилище газа в Осиповичах. В 1999 году ведено в эксплуатацию Прибугское подземное газовое хранилище, а в настоящее время проектируется Мозырское ПХГ (хранение газа в выработанных соляных кавернах).

Современные городские распределительные системы газоснабжения представляют собой сложный комплекс сооружений, состоящий из следующих основных элементов газовых сетей низкого, среднего и высокого давления, газораспределительных станций (ГРС), газорегуляторных пунктов (ГРП) и установок (ГРУ). Для управления этой системой имеется специальная служба с соответствующими средствами, обеспечивающими возможность бесперебойного газоснабжения.

Система газоснабжения должна обеспечивать бесперебойную подачу газа потребителям, быть безопасной в эксплуатации, простой и удобной в обслуживании, должна предусматривать возможность отключения отдельных элементов или участков газопровода для производства ремонтных и аварийных работ.

Достоинства газового топлива:

1 низкая себестоимость и, как следствие, высокий экономический эффект замены других видов топлива газом;

2 универсальность – удовлетворяет все виды потребления;

3 использование газа в народном хозяйстве позволяет интенсифицировать и автоматизировать производственные процессы в промышленности и сельском хозяйстве, улучшить качество продукции;

4 позволяет улучшить санитарно-гигиенические условия труда на предприятиях и быта населения;

5 природный газ – ценное сырье в химической продукции для получения спирта, каучука, пластмасс;

6 по сравнению с твердым топливом газ лучше: простота транспортировки, быстрота зажигания и прекращение горения, возможность полного сжигания при незначительном избытке воздуха с получением высоких температур в топке.

Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подп.	Дата

1 Характеристика города и потребителей газа

Город Островец, для которого проектируется система газоснабжения, находится в Гродненской области, $t_{н.о} = -22^{\circ}\text{C}$, преобладающее направление ветра – восточное и северо-восточное.

Так как город средних размеров и в нем имеются потребители, которые требуют различных давлений, то принимаем двухступенчатую схему газоснабжения с газопроводом высокого давления (0,3 МПа...0,6 МПа) и низкого (до 5 кПа) давления. В данном случае газопровод высокого давления проектируется кольцевым, т.к. он является основной артерией, питающей газом город. К сети среднего давления присоединяются крупные потребители газа: больница, хлебозавод, 2 районные котельные, банно-прачечный комбинат, квартальная котельная, сетевые ГРП.

Газораспределительная станция находится на восточной окраине города на расстоянии 500 м от линии застройки.

В городе 27 жилых кварталов, жители которых используют основную часть газа на коммунально-бытовые нужды.

Кварталы имеют среднюю и высокую градостроительную ценность. В пятиэтажных и шестиэтажных домах установлены газовые плиты и водоподогреватели, в 7-10-этажных домах только газовые плиты.

Районные котельные расположены на восточной и юго-восточной окраинах города, что вызвано преобладающим направлением ветра.

2 Определение свойств газа

Плотность газового топлива в нормальных условиях $\rho_{осм}$, кг/м³, находится по формуле 2.1:

$$\rho_{осм} = 0,01 \sum_{i=1}^n \rho_{oi} * y_i; \quad (2.1)$$

где y_i – объемное процентное содержание i -го компонента в газовой смеси, %;

ρ_{oi} – плотность i -го компонента смеси при нормальных условиях, кг/м³.

Подставляем все данные в формулу 2.1:

$$\begin{aligned} \rho_{осм} &= 0,01 * (98,3 * 16,043 / 22,38 + 0,45 * 30,068 / 22,174 + 0,25 * 44,097 / 21,997 + \\ &+ 0,3 * 58,124 / 21,5 + 0 * 72,146 / 20,87 + 0,1 * 44,097 / 22,27 + 0,6 * 28,04 / 22,39) = \\ &= 0,733 \text{ кг/м}^3. \end{aligned}$$

Низшая объемная теплота сгорания сложных газов $Q_{нсм}$, кДж/м³, рассчитывается по составу газообразного топлива и теплоте сгорания компонентов по формуле 2.2:

$$Q_{нсм} = 0,01 \sum_{i=1}^n y_i * Q_{ни}; \quad (2.2)$$

где $Q_{ни}$ – объемная низшая теплота i -го компонента, входящего в смесь, кДж/м³. Принимаем по [таблице 9.1].

Подставляем все данные в формулу 2.2:

$$\begin{aligned} Q_{нсм} &= 0,01 * (98,3 * 35760 + 0,45 * 63650 + 0,25 * 91140 + 0,3 * 118530 + 0 * 146180) = \\ &= 36021,945 \text{ кДж/м}^3; \end{aligned}$$

Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подп.	Дата

Концентрационные пределы воспламенения для смесей горючих газов, не содержащих балластных примесей, определяются по правилу аддитивности по формуле 2.3:

$$L_{\text{см}}^{\Gamma} = \frac{100-B}{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{L_i}}; \quad (2.3)$$

где $L_{\text{см}}^{\Gamma}$ – нижний или верхний предел воспламенения смеси горючих газов в газовой среде, об. %;

L_i – нижний или верхний предел воспламенения i -го компонента в газовой смеси, об. %.

Используя данные [таблицы 9.1], находим нижний и верхний пределы воспламенения горючей части газа по формуле 2.3:

$$L_{\text{смн}}^{\Gamma} = \frac{100-4}{\frac{98,3}{5} + \frac{0,45}{3} + \frac{0,25}{2} + \frac{0,3}{1,7} + \frac{0}{1,35}} = 4,94 \text{ об. \%};$$

$$L_{\text{смв}}^{\Gamma} = \frac{100-4}{\frac{98,3}{15} + \frac{0,45}{12,5} + \frac{0,25}{9,5} + \frac{0,3}{8,5} + \frac{0}{8}} = 14,93 \text{ об. \%}.$$

Теоретическое количество сухого воздуха, необходимое для полного сгорания 1 м³ природного газа, V_o , м³/м³, определяем по формуле 2.4:

$$V_o = 0,0476 * \left[\sum \left(n + \frac{m}{4} \right) * C_n H_m + 1,5 H_2 S \right]; \quad (2.4)$$

где $C_n H_m$ – объемное процентное содержание углеводородов, входящих в состав газовой смеси, %;

n и m – соответственно число атомов углерода и водорода в каждом углеводороде;

$H_2 S$ – объемное процентное содержание сероводорода в газовом топливе, %.

$$V_o = 0,0476 * (2 * 98,3 + 3,5 * 0,45 + 5 * 0,25 + 6,5 * 0,3 + 8 * 0) = 9,64 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Теоретический расход влажного воздуха $V_o^{\text{вл}}$, м³/м³, больше подсчитанного по формуле 2.4 на объем содержащихся в нем водяных паров определяем по формуле 2.5:

$$V_o^{\text{вл}} = V_o + 0,00124 * d_v * V_o; \quad (2.5)$$

где d_v – влагосодержание воздуха, г/м³ ($d_v = 10,43$, г/м³);

0,00124 – объем 1 гр. водяного пара, м³/г;

$$V_o^{\text{вл}} = 9,64 + 0,00124 * 5,62 * 9,64 = 9,703 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Вследствие несовершенства смешения горючих компонентов с окислителем в процессе горения топочные процессы ведутся с некоторым избытком воздуха (для исключения химической неполноты сгорания), поэтому действительное количество воздуха V_d , м³/м³, необходимого, для сжигания газа, определяется по формуле 2.6:

$$V_d = \alpha * V_o^{\text{вл}}; \quad (2.6)$$

где α – коэффициент избытка воздуха. Его величина зависит от условий смесеобразования газа и воздуха и обычно принимается в пределах 1,0...1,2.

Находим V_d :

						2-70 04 02 2.2.8 01 02 ПЗ		Лист
Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подп.	Дата			6

$$V_d = 1,1 * 9,703 = 10,67 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

В состав продуктов сгорания входят углекислый газ, водяные пары, азот, кислород, а иногда и сернистый ангидрид.

Количество углекислого газа, образующегося при сгорании 1 м³ газообразного топлива V_{CO_2} , м³/м³, находим по формуле 2.7:

$$V_{CO_2} = 0,01 * (\sum n C_n H_m + CO_2); \quad (2.7)$$

где CO_2 – объемное процентное содержание углекислого газа в составе смеси, %.

$$V_{CO_2} = 0,01 * (1 * 98,3 + 2 * 0,45 + 3 * 0,25 + 4 * 0,3 + 5 * 0 + 0,1) = 1,01 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Количество образующихся водяных паров V_{H_2O} , м³/м³, находим по формуле 2.8:

$$V_{H_2O} = 0,01 * \left(\sum \frac{m}{2} C_n H_m + H_2S + 0,00124(d_r + \alpha d_b V_o) \right); \quad (2.8)$$

где d_r – влагосодержание газа, г/м³;

H_2S – объемное процентное содержание сероводорода в газовой смеси, %.

Находим объем водяных паров в продуктах сгорания по формуле 2.8:

$$V_{H_2O} = 0,01 * (2 * 98,3 + 3 * 0,45 + 4 * 0,25 + 5 * 0,3 + 6 * 0 + 0,00124(0 + 1,1 * 5,62 * 9,64)) = 2,00 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Количество кислорода в продуктах сгорания V_{O_2} , м³/м³, определяем по формуле 2.9:

$$V_{O_2} = 0,21 * (\alpha - 1) V_o; \quad (2.9)$$

$$V_{O_2} = 0,21 * (1,1 - 1) * 9,64 = 0,202 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Содержание азота в продуктах сгорания V_{N_2} , м³/м³, определяем по формуле 2.10:

$$V_{N_2} = 0,79 * \alpha * V_o + 0,01 N_2; \quad (2.10)$$

где N_2 – объемное процентное содержание азота в газовой смеси, %.

$$V_{N_2} = 0,79 * 1,1 * 9,64 + 0,01 * 0,6 = 8,38 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Полный объем продуктов сгорания 1 м³ газообразного топлива $V_{\text{пр.сг.}}$, м³/м³, определяем по формуле 2.11:

$$V_{\text{пр.сг.}} = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{O_2} + V_{N_2}; \quad (2.11)$$

$$V_{\text{пр.сг.}} = 1,01 + 2,00 + 0,202 + 8,38 = 11,60 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

3 Определение количества сетевых ГРП, выявление зон их действия и расчет количества жителей в этих зонах

Количество ГРП, питающих сети низкого давления для бытовых и мелких коммунальных потребителей, может быть определено по формуле 3.1:

$$n = F / (2 * R_{\text{опт}}^2); \quad (3.1)$$

где F – газифицируемая площадь, включая площадь проездов, м²;

$R_{\text{опт}}$ – оптимальный радиус действия ГРП, 800м.

Определим количество ГРП для газоснабжения бытовых и мелко коммунальных потребителей:

$$n = 2340000 / (2 * 800^2) = 1,83 \approx 2.$$

Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подп.	Дата

Принимаем 2 ГРП.

ГРП1 обслуживает кварталы: 1,2,3,4,5,12,13,14,15,16,17,18,19,25,26,27 с общим числом жителей 44271 (расчет представлен ниже).

ГРП2 обслуживает кварталы: 6,7,8,9,10,11,20,21,22,23,24 с общим числом жителей 35261.

Каждый ГРП размещается в центре зоны его действия, и для каждой зоны определяют расчетные расходы газа. При этом необходимо учитывать, что оптимальная производительность ГРП, питающих сети низкого давления $V_{\text{опт}}=1,0...2,5$ тыс. м³/ч.

Количество жителей в зоне действия каждого ГРП определяют по формуле 3.2:

$$N = F \cdot P; \quad (3.2)$$

где F – площадь квартала в красных линиях застройки (селитебная территория), га, определяется по генплану города без учета площади улиц, проспектов, площадей, парков, скверов;

P – нормативная плотность населения, чел/га, определяется в зависимости от зоны различной степени градостроительной ценности территории [таблица 9.2]. Расчет количества жителей сводится в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Расчет количества жителей в городе

№ квартала	Этажность	Площадь квартала F, га	Расчетная плотность населения P, чел/га	Количество жителей N, чел
1	2	3	4	5
1	5	3.9	230	897
2	8	4.77	350	1670
3	9	4.52	420	1899
4	8	10.59	350	3707
5	9	11.98	420	5032
6	7	16.64	350	5824
7	8	7.98	350	2793
8	7	9.93	350	3476
9	5	5.86	230	1348
10	7	12.99	350	4547
11	6	5.85	350	2048
12	6	9.08	350	3178
13	5	7.85	230	1806
14	9	4.41	420	1853
15	7	3.02	350	1057
16	8	5.02	350	1757
17	6	6.08	350	2128
18	7	12.87	350	4505
19	5	14.47	230	3329
20	5	9.37	230	2156
21	8	4.7	350	1645

Окончание таблицы 3.1

1	2	3	4	5
22	6	4.43	350	1551
23	7	13.76	350	4816
24	9	12.04	420	5057
25	8	12.81	350	4484
26	6	9.96	350	3486
27	7	9.95	350	3483

4 Определение расчетных расходов газа сетевыми ГРП

Необходимо определить нагрузку сетевых ГРП, которые обслуживает жилой район, застроенный 5,6,7,8,9-ти этажными зданиями.

ГРП1: В зоне 5-этажной застройки проживает 6032 человек, 6–9-этажной – 38239 человек.

ГРП2: В зоне 5-этажной застройки проживает 3504 человек, 6–9-этажной – 31757 человек.

В квартирах 5-этажных жилых домов установлены газовые плиты и проточные газовые водонагреватели, в квартирах 6–10-этажных зданий – газовые плиты. В районе имеются столовые, которые получают газ из сетей низкого давления. Используется природный газ с $Q_n = 36021,95$ кДж/м³.

Расчетный расход газа V_p , м³/ч, находим как долю годового расхода по формуле 4.1:

$$V_p = K_m * V_{год}; \quad (4.1)$$

где K_m – коэффициент часового максимума.

Годовой расход газа V , м³/год, на хозяйственно-бытовые и коммунальные нужды равномерно распределенными потребителями определяем по выражению 4.2:

$$V_{год} = N * n * x * \frac{Q_{год}}{Q_n}. \quad (4.2)$$

где N – численность населения, чел.;

n – число расчетных потребителей на 1 тыс. жителей;

x – степень охвата газоснабжением в долях единицы;

$Q_{год}$ – нормативный расход газа в тепловых единицах на хозяйственно бытовые и коммунальные нужды, кДж/год.

Для удобства расчет сводим в таблицу 4.1.

Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подп.	Дата

Таблица 4.1 – Расчет расхода газа равномерно распределенными потребителями

№ квартала	Назначение расходуемого газа	Показатель потребления газа	Охват газоснабжени ем, %	Число единиц потребления N	Годовая норма		Годовой расход газа V _{год} , м³/год	Коэффициент часового максимума K _m	Расчетный расход газа V _p , м³/ч
					Q _{год} , кДж /год	Q _{год} / Q _н , м³/год			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ГРП1									
Зона пятиэтажной застройки									
1	Приготовление пищи и горячей воды в квартирах при наличии газовой плиты и газового водонагревателя	1 чел.	100	6032	8000000	222.09	1339627.83	$\frac{1}{2350}$	570,05
Зона шести – десятиэтажной застройки									
2	Приготовление пищи в квартирах при наличии газовой плиты и централизованном горячем водоснабжении	1 чел.	100	38239	2800000	77.73	2972332.56	$\frac{1}{2350}$	1264,822
Σ 1834,88									
ГРП2									
Зона пятиэтажной застройки									
1	Приготовление пищи и горячей воды в квартирах при наличии газовой плиты и газового водонагревателя	1 чел.	100	3504	8000000	222,09	778192.29	$\frac{1}{2350}$	331,15
Зона шести – десятиэтажной застройки									
2	Приготовление пищи в квартирах при наличии газовой плиты и централизованном горячем водоснабжении	1 чел.	100	31757	2800000	77,73	2468484,14	$\frac{1}{2350}$	1050,4
Σ 1381,56									

5 Определение расхода газа сосредоточенными потребителями

Необходимо определить расчетный расход газа для сосредоточенных потребителей больницы, хлебозавода, банно-прачечного комбината, 2-х районных и квартальной котельной расположенных в городе с населением 79532 человека. Город Островец находится в Гродненской области. Используется газ с $Q_H = 36021,95 \text{ кДж/м}^3$. В больнице газ расходуется на приготовление пищи, горячей воды для хозяйственно-бытовых нужд и на лечебные процедуры, на стирку белья в механизированной прачечной, а также для покрытия расходов теплоты на отопление и вентиляцию больницы.

Число мест в больнице определяется органами здравоохранения. По существующим рекомендациям в городе с населением 79532 человек больница должна иметь $0,012 \cdot N = 0,012 \cdot 79532 = 955$ коек. При определении расчётных расходов газа на приготовление пищи и горячей воды K_m принимаем для числа коек 955 $K_m = 1/1800$ [2, таблица 4].

Количество стираемого белья в механизированной прачечной больницы находим из условия стирки 0,48 т. белья в год на одну койку, т. е.:

$$G = 0,48 \cdot 955 = 459 \text{ т/год.}$$

Определяем нормативные значения расходов газа и находим по формулам (5.1) и (5.2) годовые и расчётные расходы газа для больницы. Значение K_m для прачечной больницы принимаем по [2, таблица 5] $K_m = 1/2900$

Расчетный расход газа на отопление и вентиляцию больницы находим по формулам 5.1–5.2:

$$V_0 = \frac{3,6 \cdot 1,1 \cdot q_0 \cdot (t_B - t_H) \cdot (1 + \varepsilon \cdot \beta_1)}{\eta \cdot Q_H}; \quad (5.1)$$

$$V_B = \frac{3,6 \cdot q_B \cdot V_H \cdot (t_B - t_H)}{\eta \cdot Q_H}. \quad (5.2)$$

где 1,1 – коэффициент, учитывающий дополнительные потери теплоты в системе отопления;

q_0 , q_B – соответственно удельные отопительная и вентиляционная характеристики здания, Вт/(м³·°C), по принимаем $q_0 = 0,4 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°C)}$ и $q_B = 0,3 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°C)}$;

V_H – объем здания по наружному обмеру, м³, по примем удельную кубатуру 160 м³ на одну койку, тогда:

$$V_H = 160 \cdot 955 = 152800 \text{ м}^3.$$

t_B , t_H – соответственно расчетные температуры внутреннего воздуха в помещении и наружного воздуха для проектирования отопления и вентиляции (для Минской области $t_H = -22^\circ\text{C}$; $t_B = 18^\circ\text{C}$);

ε – коэффициент, учитывающий затраты теплоты на подогрев инфильтрационного воздуха, в зданиях с приточной вентиляцией $\varepsilon = 0$;

η – КПД котельной установки, принимаем $\eta = 0,8$;

β – температурный коэффициент, определяемый по формуле 5.3:

$$\beta_t \approx 1 + 0,6 \cdot \frac{30 + t_H}{t_H - t_B}; \quad (5.3)$$

Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подп.	Дата

$$\beta_t = 1 + 0,6 * \frac{30-22}{18+22} = 1,12;$$

$$V_0 = \frac{3,6*1,1*0,4*(18+22)*(1+0)*1,12}{0,8*36021,95} = 376,27 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_B = \frac{3,6*0,3*152800*(18+22)}{0,8*36021,95} = 229,06 \text{ м}^3/\text{ч};$$

На хлебозаводе газ используется для выпечки хлебобулочных и кондитерских изделий. Производительность хлебозавода определяем из условия выпечки в сутки на 1000 жителей 0,6...0,8 т, т.е. в год на 1000 жителей 219 т хлебобулочных изделий и 36,5 г кондитерских изделий. Нормативный расход газа на выпечку 1 т. изделия зависит от вида изделия. Принимаем, что выпечка хлеба формового составляет 20%, подового – 30%, батонов, булок, сдобы – 50% от общего количества хлебобулочных изделий. Коэффициент часового максимума для хлебозавода $K_m = 1/6000$ [2, таблица 5].

В банно–прачечном комбинате газ расходуется на приготовление горячей воды для мытья в бане (в ваннах и без ванн) и для стирки белья в механизированной прачечной. Количество помывок в бане определяем из расчета 52 помывки в год одним человеком. Считаем, что баней пользуются 10% от общего числа жителей города, причем для половины из них учитываем расход газа на мытье без ванн, для остальных – мытье в ваннах. Значение K_m для бани принимаем по [2, таблица 5]. $K_m = 1/2700$

В прачечную белье для стирки поступает от жителей города, от предприятий общественного питания, поликлиник, бани, гостиницы, детских учреждений (в больнице имеется собственная прачечная). Расчетные показатели для определения количества стираемого белья приведены в [9, приложение 1].

Принимаем, что 50% от общего, числа жителей сдают белье в прачечную. При норме 75 кг на одного человека в год количество белья, поступающего от населения, составит:

$$G_1 = (75/1000) * 0,5 * 79532 = 2983 \text{ т/год};$$

Количество белья, сдаваемого в прачечную предприятиями общественного питания, зависит от числа единиц потребления в столовых (от количества обедов, завтраков, ужинов). При норме 0,01 кг на один обед, завтрак или ужин [приложение 1, раздел 5]:

$$G_2 = (0,01/1000) * (360 * 0,25 * 1 * 79532) * 2 = 144 \text{ т/год};$$

Множитель 2 учитывает количество завтраков (или ужинов) и обедов на 1 человека.

Количество белья, поступающего в прачечную из поликлиник, бани и гостиницы, соответственно равно:

$$G_3 = (0,125/1000) * 30 * (79532/1000) * 310 = 93 \text{ т/год};$$

$$G_4 = 0,075 * 206,78 = 16 \text{ т/год};$$

$$G_5 = 0,3 * 6 * (79532/1000) = 143 \text{ т/год}.$$

В этих выражениях 0,125 кг; 0,075 кг; 0,3 т – расчетные показатели стираемого белья на одно посещение поликлиники, бани и на одно место в гостинице; 30 – количество посещений поликлиники в день, приходящееся на 1000 жителей;

Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подп.	Дата

310 – число дней работы поликлиники в году; 6 – количество мест в гостинице на 1000 жителей; 206784 – число помывок в бане в год (графа 5, таблица 5.1).

При расчете количества белья, поступающего в прачечную из детских учреждений, принимаем, что число детей ясельного возраста составляет 8%, в возрасте от 4 до 7 лет – 10% от общего числа жителей, а охват обслуживанием детскими учреждениями 85%. При норме 0,48 т белья в год на одного ребенка в яслях и 0,36 т в детских садах количество сдаваемого белья соответственно равно:

$$G_6 = 0,48 * 0,08 * 0,85 * 79532 = 2596 \text{ т/год};$$

$$G_7 = 0,36 * 0,10 * 0,85 * 79532 = 2434 \text{ т/год};$$

Суммарное количество белья, стираемого в прачечной, составит:

$$G_{\text{прач}} = 2983 + 144 + 93 + 16 + 143 + 2596 + 2434 = 8409 \text{ т/год}.$$

Нагрузку ГРП банно-прачечного комбината определяем как сумму расчетных расходов на баню и прачечную.

Для удобства расчет расхода газа больницей, хлебозаводом и БПК в таблицу 5.1.

Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подп.	Дата

Таблица 5.1 – Расчет расхода газа сосредоточенными потребителями

№ квартала	Назначение расходуемого газа	Показатель потребления газа	Охват газоснабжени ем, %	Число единиц потребления N	Годовая норма		Годовой расход газа V _{год} , м³/год	Коэффициент часового максимума	Расчетный расход газа V _p , м³/ч	
					Q _{год} , кДж /год	Q _{год} / Q _н , м³/год				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Больница										
1	Приготовление пищи	1 койка в год	100	955	3200000	88,83	84837,2	$\frac{1}{1800}$	47,13	
2	Приготовление горячей воды для хозяйственно- бытовых нужд и лечебных процедур (без стирки белья)	1 койка в год	100	955	9200000	255,39	243906,9	$\frac{1}{1800}$	135,50	
3	Стирка белья в механизирован ной прачечной, включая сушку и глажение	1 т сухог о белья	100	459	18800000	521,90	239554	$\frac{1}{2900}$	82,61	
4	Отопление и вентиляция больницы	376,27+229,06							605,33	
Нагрузка ГРП больницы									Σ870,78	
Хлебозавод										
1	Выпечка хлеба формового	1 т изделий		3484	2500000	69,4	241797	$\frac{1}{6000}$	40,29	
2	Выпечка хлеба подового, батонров, булок, сдобы	1 т изделий		13935	545000	151,29	2108319	$\frac{1}{6000}$	351,39	
Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подп.	Дата	2-70 04 02 2.2.8 01 02 ПЗ				Лист
										14

Окончание таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Выпечка кондитерских изделий	1 т изделий	2903	7750000	215,15	624570,7	$\frac{1}{6000}$	104,09
Нагрузка ГРП хлебозавода								Σ495,78

Банно-прачечный комбинат

1	Мытье в бане без ванн	1 ПОМЫВ ка	5	206784	40000	1,11	229619,1	$\frac{1}{2700}$	85,04
2	Мытье в бане в ваннах	1 ПОМЫВ ка	5	206784	50000	1,39	287023,9	$\frac{1}{2700}$	106,31
3	Стирка белья в механизированной прачечной, включая сушку и глажение белья	1 т сухого белья	50	8410	18800000	499,69	4202438	$\frac{1}{2900}$	1449,12
Нагрузка ГРП БПК									Σ1640,47

Районная котельная 1 (РК-1) обслуживает кварталы 1,2,3,4,5,12,13,14,15,16,17,18,19,25,26,27 с общим числом жителей 44271. В зоне 5-этажной застройки проживают 6032 чел.; 6–9-этажной застройки – 38239 чел. В квартирах 5-этажных жилых домов установлены проточные газовые водонагреватели.

Расход газа котельными определяем по выявленным расходам теплоты (кВт) на отопление жилых и общественных зданий Q_o , вентиляцию общественных зданий Q_v и горячее водоснабжение жилых и общественных зданий $Q_{гв}$. Расходы теплоты находим по укрупненным показателям. На отопление жилых и общественных зданий определяется по формуле 5.4:

$$Q_o = q_o * A * (1 + K_I). \quad (5.4)$$

где q_o – укрупненный показатель максимального часового расхода теплоты на отопление жилых зданий, Вт/м². Для Гродненской области $q_o=84,6$ Вт/м²;

A – общая площадь жилых зданий, м². Определяется по формуле 5.5:

$$A = N * f. \quad (5.5)$$

где f – норма общей площади на 1 человека, $f=18$ м²/чел;

N – количество жителей в обслуживаемой зоне;

K_1 – коэффициент, учитывающий расход теплоты на отопление общественных зданий, $K_1 = 0,25$.

$$Q_{oPK1} = 84,6 \cdot 18 \cdot 44271 \cdot (1 + 0,25) \cdot 10^{-3} = 84269,85 \text{ кВт.}$$

Расход теплоты на вентиляцию общественных зданий определяем по формуле 5.6:

$$Q_v = K_1 \cdot K_2 \cdot q_o \cdot A; \quad (5.6)$$

где K_2 – коэффициент, учитывающий расход теплоты на вентиляцию общественных зданий, $K_2 = 0,6$.

Для РК1:

$$Q_{vPK1} = 0,25 \cdot 0,6 \cdot 84,6 \cdot 18 \cdot 44271 \cdot 10^{-3} = 10112,38 \text{ кВт.}$$

Среднечасовой расход теплоты на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий в зоне 6–9–этажной застройки определяем по формуле 5.7:

$$Q_{гв} = q_{гв} \cdot N. \quad (5.7)$$

где $q_{гв}$ – укрупненный показатель среднего расхода теплоты на горячее водоснабжение на 1 человека, Вт/чел; $q_{гв} = 376$ Вт/чел при норме расхода воды на горячее водоснабжение для одного человека $a = 105$ л/(чел.сут.);

N – число жителей, пользующихся централизованным горячим водоснабжением.

$$Q_{гвPK1} = 376 \cdot 44271 \cdot 10^{-3} = 16645,89 \text{ кВт;}$$

Расход газа районной котельной 1 V_{PK1} , м³/ч, найдем по формуле 5.8:

$$V_{PK1} = (3600 \cdot (Q_{oPK1} + Q_{vPK1} + Q_{гвPK1})) / (\eta \cdot Q_n); \quad (5.8)$$

$$V_{PK1} = 3600 \cdot (84269,85 + 10112,38 + 16645,89) / (0,8 \cdot 36021,945) = 13870,06 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

На территории больницы расположена отдельная котельная, покрывающая все ее расходы теплоты на горячее водоснабжение, отопление и вентиляцию.

Районная котельная 2 (РК-2) обслуживает кварталы 6,7,8,9,10,11,20,21,22,23,24 с общим числом жителей 35261. В зоне 5–этажной застройки проживают 3504 чел.; 6–9–этажной застройки – 31757 чел.

Расчет ведется аналогично расчету районной котельной 1:

$$Q_{oPK2} = 84,6 \cdot 18 \cdot 35261 \cdot (1 + 0,25) \cdot 10^{-3} = 67119,31 \text{ кВт;}$$

$$Q_{vPK2} = 0,25 \cdot 0,6 \cdot 84,6 \cdot 18 \cdot 35261 \cdot 10^{-3} = 8054,32 \text{ кВт;}$$

$$Q_{гвPK2} = 376 \cdot 35261 \cdot 10^{-3} = 13258,14 \text{ кВт;}$$

$$V_{PK2} = 3600 \cdot (67119,31 + 8054,32 + 13258,14) / (0,8 \cdot 36021,945) = 11047,24 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

6 Выбор схемы газоснабжения города

Для выбора системы газоснабжения используем данные, полученные ранее: количество жителей – 79532 чел., расход газа равномерно распределенными потребителями – 3216,44 м³/ч, сосредоточенными потребителями – 27924,12 м³/ч, всего – 31143,3 м³/ч.

Так как численность населения немногим менее 100000 чел. и плотность нагрузки сравнительно невелика принимаем двухступенчатую систему газоснабжения с давлением в 1-ой ступени 0,3 МПа, во 2-ой – 3кПа.

Запроектированная кольцевая сеть с магистралью среднего давления достаточно надежна. Трассу кольца прокладываем по проездам и нежилым территориям таким образом, чтобы общая длина кольца была минимальной. Так как потребность в газе относительно невелика принимаем 1 ГРС со стороны подхода магистрального газопровода на расстоянии 500 м от линии застройки.

7 Гидравлический расчет кольцевой сети высокого давления для трех режимов эксплуатации сети

Сосредоточенные потребители и сетевые ГРП присоединяются к сети среднего давления.

Давление на выходе из ГРС – $P_H = 0,6$ МПа (абс.), перед конечным потребителем $P_K = 0,25$ МПа (абс.).

Составляем расчетную схему сети (рисунок 7.1). На схеме указываем все газопроводы среднего давления, ГРП, ГРС и сосредоточенных потребителей. Намечаем направление движения газа по сети и выбираем резервную перемычку – участок 3–4. Нумеруем на расчетной схеме все узлы кольца и проставляем длины участков сети.

Расчет кольцевой системы выполняем для трех режимов ее работы:

- 1 аварийного режима I - при отключенном участке 5–1;
- 2 аварийного режима II - при отключенном участке 1-2;
- 3 нормального (расчетного) режима.

Определяем и проставляем на схеме расчетные расходы газа на участках сети. Предварительный выбор диаметров кольцевой сети по расчетному (эквивалентному по создаваемой потере давления) расходу газа определяем по формуле 7.1:

$$V_P^{\text{ЭКВ}} 0,59 \sum_{i=1}^n K_{06} \cdot V_i; \quad (7.1)$$

где K_{06} – коэффициент обеспеченности при аварийной ситуации (таблица 7.1). и среднеквадратичному перепаду давления A , МПа²/км, для рассматриваемого направления газового потока.

Среднеквадратичный перепад давления A , МПа²/км определяем по формуле 7.2:

$$A = \frac{P_H^2 - P_K^2}{1,1 \sum L}; \quad (7.2)$$

где P_H – начальное давление в кольцевой сети – 0,6 МПа (абс.);

P_K – давление перед наиболее удаленным потребителем не менее – 0,23 МПа (абс.).

Таблица 7.1 - Сводная таблица часовых расходов потребителей газа

№	Наименование потребителя	Часовой расход, м ³ /ч	Коэффициент обеспеченности при аварии	Часовой расход при аварии, м ³ /ч
1	2	3	4	5
1	ГРП -1	1834,88	0,8	1467,90
2	ГРП -2	1381,56	0,8	1105,25

Окончание таблицы 7.1

1	2	3	4	5
3	Больница	870,78	0,85	739,99
4	Хлебозавод	495,78	0,7	347,05
5	БПК	1640,47	0,6	984,28
6	РК №1	13870,06	0,75	10402,55
7	РК №2	11047,24	0,75	8285,43
Сумма		31143,30		23334,09

В ГРП1 включен расход газа на хлебозавод. Итого расход газа на ГРП1 составит 16202,72 м³/ч

В ГРП2 включен расход газа на больницу и банно-прачечный комбинат. Итого расход газа на ГРП2 составит 14939,84 м³/ч

В аварийном режиме 1 газ к потребителям поступает по направлению ГРС–1–8–7–6–5–4–3–2–ГРП1. Отключен участок 1–2. Общая протяженность газопроводов этого направления $\sum L=9,554$ км.

Потери давления в местных сопротивлениях учитываем путем увеличения фактической длины расчетных участков газопроводов на 10%.

$$V_{\text{рэкв}}=0,59 \cdot 23334,09 = 13766,14 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$A_{\text{ср}} = (0,6^2 - 0,25^2) / (1,1 \cdot 11,936) = 0,032 \text{ МПа}^2/\text{км}.$$

Линии расхода $V_{\text{рэкв}} = 13766,14$ м³/ч и среднеквадратичного перепада давления $A = 0,032$ (МПа)²/км пересекаются в точке, лежащей между диаметрами газопроводов 325х8 мм и 108х4мм.

Такие диаметры участков газопроводов кольцевой сети назначаем, выполняя гидравлический расчет; при этом больший (325х8) принимаем на участках кольца, ближайших к ГРС, а меньший (108х4) – на участках, расположенных диаметрально противоположно точке питания сети газом (ГРС). Площадь поперечного сечения газопровода с наименьшим диаметром должна составлять не менее 0,75 площади поперечного сечения газопровода с наибольшим диаметром.

Расчет системы сводим в таблицу 7.1, в соответствующие графы которой записываем номера участков, фактические и расчетные длины участков, расходы газа.

По номограмме для принятого диаметра и известного расхода находим действительные значения среднеквадратичного перепада давления на 1км газопровода (графа 6), а затем рассчитываем перепад давления для известной расчетной длины участка (графа 8). Давление газа в начале участка задано – $P_n = 0,4$ МПа, давление газа в конце участка, т.е. в точке 1, определяем по формуле 7.3:

$$P_k = \sqrt{P_n^2 - A \cdot L_p}; \quad (7.3)$$

Полученное давление P_k на участке ГРС-1 является начальным для последующего участка 1–2, давление в конце участка 2–3 является начальным P_n для участка 3–4 и т.д. Последним участком в рассматриваемом аварийном режиме является участок 5 – ГРП2, диаметр которого принят 159х4,5 мм. Диаметры ответвлений принимают меньше диаметров участков кольцевой

Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подп.	Дата

сети. Расчет в аварийном режиме 1 следует считать правильным, если использован располагаемый перепад давления и величина давления в конце участка 5 – ГРП2 будет равна принятой $P_k = 0,23$ МПа или заданной.

Аналогичным образом выполняется расчет газопроводов для аварийного режима II с направлением газового потока ГРС–1–2–3–4–5–6–7–8–ГРП2 (отключен участок 1-8).

В выполненных гидравлических расчетах газопроводов для двух аварийных режимов использован располагаемый перепад давления, диаметры кольцевой сети назначены в соответствии с рекомендациями. Для каждого аварийного режима составляется расчетная схема газопроводов, которые приведены далее.

Расчет сети при нормальном (расчетном) режиме ее работы сводится к следующему:

1 выбираем расчетные направления потоков газа от ГРС к потребителям, из условия подачи газа к каждому из них по кратчайшему пути; составляем расчетную схему;

2 принимаем диаметры газопроводов по участкам – наибольшие из двух вариантов выполненных расчетов сети для аварийных режимов;

3 для расчетных расходов газа и принятых диаметров газопроводов определяем потери давления на участках расчетных направлений и величины давления газа в точках врезки ответвлений.

Как следует из расчетов, давления в точках врезки ответвлений при аварийных режимах меньше давлений в этих точках при работе сети в нормальном режиме. Расчет ответвлений производим для наименьших (из трех известных величин) давлений в точках врезки их в сеть при соответствующих расходах газа.

В настоящем примере величины давлений газа в точках врезки ответвлений в сеть при нормальном режиме значительно превышают их значения в аварийных режимах, т. е. устойчивая работа системы в нормальном режиме с подачей потребителям расчетного расхода газа обеспечена (выполненная проверка подтвердила это; расчет не приводится).

Т.к. номограмма для расчета газопроводов среднего и высокого давлений составлена для природного газа с плотностью $\rho_0 = 0,73$ кг/м³, а у нас газ с плотностью $\rho_0 = 0,733$ кг/м³ вносим соответствующую поправку на величину А.

Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подп.	Дата

Таблица 7.1 – Гидравлический расчет кольцевой сети среднего давления

№ участка	Длина участка, км		Расчетный расход газа на участке V_p , m^3/q	Диаметр газопровода $D_n \times \delta$, мм	Среднеквадратичное падение давления A , MPa^2/km	Фактическое среднеквадратичное падение давления A_f , MPa^2/km	Среднеквадратичные потери давления $A_f \times L_p$, MPa^2	Давление газа, МПа	
	по плану, км	расчетная $L_p=1.1L$						в начале участка P_n	в конце участка P_k
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Аварийный режим 1									
ГРС-1	0.5	0.55	23334.09	325×8	0.035	0.036	0.0198	0.6	0.580
1-8	0.951	1.0461	23334.09	325×8	0.035	0.036	0.0377	0.580	0.543
8-7	0.672	0.7392	22228.84	325×8	0.034	0.035	0.0259	0.542	0.517
7-6	1.224	1.3464	21242.91	325×8	0.033	0.034	0.0458	0.517	0.471
6-5	1.42	1.562	20502.92	325×8	0.032	0.033	0.0515	0.471	0.419
5-4	1.379	1.5169	12217.49	325×8	0.0085	0.0086	0.0130	0.419	0.406
4-3	2.047	2.2517	1814.95	325×8	0.00024	0.000241	0.0005	0.406	0.406
3-2	1.311	1.4421	1467.9	325×8	0.00022	0.000226	0.0002	0.406	0.406
2-ГРП1	1.032	1.1352	1467.9	108×4	0.042	0.043	0.0488	0.406	0.357
Аварийный режим 2									
ГРС-1	0.5	0.55	23334.09	325×8	0.035	0.036	0.0198	0.6	0.580
1-2	1.08	1.188	23334.09	325×8	0.035	0.036	0.0428	0.580	0.537
2-3	1.311	1.4421	21866.19	325×8	0.026	0.027	0.0389	0.537	0.498
3-4	2.047	2.2517	21519.14	325×8	0.025	0.026	0.0585	0.498	0.440
4-5	1.379	1.5169	11116.6	325×8	0.007	0.0071	0.0108	0.440	0.429
5-6	1.42	1.562	2831.17	325×8	0.00048	0.000486	0.0008	0.429	0.428
6-7	1.224	1.3464	2091.18	325×8	0.00029	0.000294	0.0004	0.428	0.428
7-8	0.672	0.7392	1105.25	325×8	0.00011	0.000118	0.0001	0.428	0.428
8-ГРП2	0.564	0.6204	1105.25	108×4	0.021	0.022	0.0136	0.428	0.414
Нормальный режим									
Полукольцо ГРС-1–2–3–4–РК1									
ГРС-1	0.5	0.55	31143.3	325×8	0.052	0.0526	0.0289	0.6	0.571
1-2	1.08	1.188	16200.71	325×8	0.016	0.0167	0.0198	0.571	0.551
2-3	1.311	1.4421	14365.84	325×8	0.013	0.02	0.0288	0.551	0.522
3-4	2.047	2.2517	13870.06	325×8	0.011	0.013	0.0293	0.522	0.493
4-РК1	0.079	0.0869	13870.06	108×4	0.026	0.027	0.0023	0.493	0.491
					2-70 04 02 2.2.8 01 02 ПЗ				Лист
Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подп.					Дата

Окончание таблицы 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Полукольцо ГРС-1–8–7–6–5–РК2									
ГРС-1	0.5	0.55	31143.3	325×8	0.052	0.053	0.0292	0.6	0.571
1-8	0.951	1.0461	14942.59	325×8	0.012	0.013	0.0136	0.571	0.557
8-7	0.672	0.7392	13561.03	325×8	0.011	0.012	0.0089	0.557	0.548
7-6	1.224	1.3464	11917.81	325×8	0.007	0.0075	0.0101	0.548	0.538
6-5	1.42	1.562	11047.24	325×8	0.0065	0.007	0.0109	0.538	0.527
5-РК2	0.269	0.2959	11047.24	108×4	0.055	0.06	0.0178	0.538	0.521
Расчет ответвлений									
2-ГРП1	1.032	1.1352	1834.87	108×4	0.075	0.08	0.0908	0.600	0.509
3-ХЗ	0.41	0.451	495.78	76×3	0.035	0.038	0.0171	0.509	0.492
4-РК1	0.079	0.0869	13870.06	108×4	0.026	0.027	0.0023	0.492	0.490
5-РК2	0.269	0.2959	11047.24	108×4	0.055	0.06	0.0178	0.490	0.472
6-Б	0.298	0.3278	870.57	108×4	0.015	0.018	0.0059	0.472	0.466
7-БПК	0.079	0.0869	1643.22	108×4	0.048	0.05	0.0043	0.466	0.462
8-ГРП2	0.564	0.6204	1381.56	108×4	0.036	0.038	0.0236	0.462	0.438

8 Внутридомовое газоснабжение, подбор газовых приборов, счетчиков и определение расходов газа, выбор схемы газоснабжения секции жилого дома и ее расчет

Необходимо рассчитать внутридомовую систему газоснабжения для секции 10–этажного жилого дома. Используется природный газ с плотностью $\rho_0 = 0,733 \text{ кг/м}^3$ и теплотой сгорания $Q_H = 36021,945 \text{ кДж/м}^3$.

Так как здание имеет 10 этажей, то на кухнях устанавливаются газовые плиты, газовые счетчики.

Предварительно в кухнях назначаем места установки газовых приборов и счетчиков. На плане выполняем разводку газопроводов, составляем аксонометрическую схему внутридомовых газопроводов.

В квартирах устанавливаем газовые плиты ПГ4-ВК, т.к. объем кухонь более 15 м³. Ввод газопроводов производится в лестничную клетку, стояки размещаются в кухнях. Горизонтальная разводка газопроводов выполняем на высоте 2,2 м от пола, подключение плиты осуществляем на отметке 0,75 м от пола. Плита имеет следующие конструктивные размеры 0,5х0,5 м, Н=0,85 м. Наибольшее распространение в данный момент имеют счетчики СГМ G1,6 ($Q_{\max} = 2,5 \text{ м}^3/\text{ч}$; $Q_{\min} = 0,016 \text{ м}^3/\text{ч}$). Счетчики должны размещаться, как правило, на капитальных стенах на высоте 1,6 м от пола до низа счетчика. При установке счетчика расстояние по горизонтали от края счетчика до центра крайней горелки должно составлять не менее 0,8 м. Счетчик имеет следующие конструктивные размеры 110х90х100 мм, присоединительные патрубки: 20х2,5 мм.

Отключающие устройства устанавливаем на вводе, перед газовыми счетчиками, на подводках к газовым плитам и водонагревателям.

						2-70 04 02 2.2.8 01 02 ПЗ				Лист
Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подп.	Дата					21

Расчетные расходы газа V м³/ч на участках определяем по формуле 8.1:

$$V = \sum_{i=1}^m K_o * V_{\text{ном}} * n; \quad (8.1)$$

где $V_{\text{ном}}$ – расход газа плитой, определяемый по формуле 8.2:

$$V_{\text{ном}} = 3,6 \cdot Q_{\text{ном}} / Q_n; \quad (8.2)$$

где $Q_{\text{ном}}$ – номинальная тепловая нагрузка плиты ПГ 4-ВК, по паспортным данным, составляет 11200 Вт,

$$V_{\text{ном}} = 3,6 \cdot 11200 / 36021,945 = 1,12 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

где n – число однотипных приборов;

K_o – коэффициенты одновременности действия приборов, принимаем для каждого участка по известному числу и типу приборов [10, приложение В].

Расчет начинаем с самого отдаленного от ввода участка 1 подводки газовой плиты. Расчетный перепад давления от врезки внутридомовой сети в квартальный газопровод до плиты с учетом потерь в ней 40...60 Па составляет $P=600$ Па. Диаметры ввода, стояков и квартирных разводов должны быть рассчитаны на располагаемое давление $P_p=550 - 50 = 500$ Па.

Для удобства расчет газопроводов сводим в таблицу 8.1.

Вначале заполняем графы 1...5 известными для каждого расчетного участка значениями. Затем назначаем диаметры участков. Участок 1 является подводкой к плите, и диаметр его должен быть равен диаметру соединительного штуцера прибора, для ПГ 4-ВК $D_y=15$, мм (гр.6). Значения коэффициентов местных сопротивлений на участках принимаем по таблицам. Удельные потери давления на трение R_t , Па/м и эквивалентные длины L_z , принимаем по номограммам.

Таблицы и номограммы составлены для газа $\rho_t=0,73$ кг/м³ поэтому следует вносить поправку на табличную величину удельных потерь давления по формуле 8.3:

$$R = R_m \cdot \rho_o / \rho; \quad (8.3)$$

Далее находим эквивалентную длину по формуле 8.4:

$$L_z = L_z' \cdot \Sigma \xi; \quad (8.4)$$

расчетную длину по формуле 8.5:

$$L_p = L_{\phi} + L_z; \quad (8.5)$$

На вертикальных и наклонных участках газопроводов высотой H , м учитываем гидростатическое давление P , Па, возникающее за счет разности плотностей воздуха ρ_v и газа ρ_o кг/м³ по формуле 8.6:

$$P = \pm 9,81 \cdot h \cdot (\rho_v - \rho_o). \quad (8.6)$$

Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подп.	Дата

10 Подбор и расчет оборудования ГРП-2

Необходимо произвести подбор и расчет оборудования для газорегуляторной установки (ГРУ) квартальной котельной при известном расчетном расходе газа $V_p = 352 \text{ м}^3/\text{ч}$, давлении газа на вводе в ГРУ $P_{\text{вх}} = 0,3309 \text{ МПа}$ (известно из расчета газопроводов среднего давления), плотности газа $\rho_0 = 0,733 \text{ кг/м}^3$. Диаметр газопровода 57х3 мм. От ГРП газ поступает по газопроводам к потребителям газа в жилых кварталах.

1 Фильтр

Принимаем к установке чугунный волосяной фильтр Ду 80. Потери давления в чистом фильтре $\Delta P_{\text{ф}}$, Па, определяем по формуле 10.1:

$$\Delta P_{\text{ф}} = \Delta P_{\text{гр}} * \left(\frac{V_p}{V_{\text{гр}}} \right)^2 * \frac{\rho_0}{\rho_{\text{гр}}} * \frac{P_0}{P_{\text{вх}}}; \quad (10.1)$$

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

$V_{\text{гр}}$ – расход газа по графику, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$\Delta P_{\text{гр}}$ – потери давления в чистом фильтре, определяемые по графику [1, рисунок 9.16], при $V_{\text{гр}} = 352$ $\Delta P_{\text{гр}} = 4250 \text{ Па}$;

$P_{\text{вх}}$ – давление газа на вводе в ГРУ, МПа;

P_0 – нормальное атмосферное давление, равное 0,101 МПа;

$\rho_{\text{гр}}$ – плотность газа по графику, кг/м^3 ;

ρ_0 – плотность газа, $\rho_0 = 0,82 \text{ кг/м}^3$.

$$\Delta P_{\text{ф}} = 4250 * \left(\frac{352}{352} \right)^2 * \frac{0,733}{1} * \frac{0,101}{0,33} = 1066 \text{ Па}.$$

Расчет показывает, что фильтр Ду 80 подходит к установке ($\Delta P_{\text{ф}}$ чистого фильтра не должен быть более 4000 Па).

2 Счетчик

Расход газа при нормальных условиях определяется по формуле 10.2:

$$V_d = \frac{V_p * P_0 * (273 + t_d)}{293 * P_{\text{сч}}}; \quad (10.2)$$

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

V_d – действительный объем газа при рабочих условиях, м^3 ;

P_n – нормальное атмосферное давление, равное 0,101 МПа;

$P_{\text{сч}}$ – рабочее давление перед счетчиком, МПа;

t_d – среднее значение рабочей температуры газа, $^{\circ}\text{C}$;

$$V_d = \frac{352 * 0,101 * (273 + 5)}{293 * (0,33 - 0,0011)} = 102,6 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Принимаем к установке счетчик СГ 16-160 с характеристиками: Ду=80 мм; $P_{\text{макс}} = 1,6 \text{ МПа}$, $V_{\text{мин}} = 8 \text{ м}^3/\text{ч}$; $V_{\text{макс}} = 160 \text{ м}^3/\text{ч}$.

При загрузке счетчика $(102,6/160) * 100 = 64,1$

По графику определяем потери давления в счетчике в зависимости от процента загрузки – $\Delta P_{\text{сч}}^B = 290 \text{ Па}$.

Потери по газу определяем по формуле 10.3:

$$\Delta P_{\text{сч}} = \Delta P_{\text{сч}}^B * \frac{\rho_0}{\rho_B} \text{ Па}; \quad (10.3)$$

где ρ_B – плотность воздуха, $\rho_B = 1,293 \text{ кг/м}^3$;

$\Delta P_{\text{сч}}$ – потери давления в счетчике, Па;

$\Delta P_{\text{сч}}^B$ – принимается с учетом действительной загрузки счетчика, Па.

Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подп.	Дата

$$\Delta P_{сч} = 290 * \frac{0,733}{1,293} = 183,9 \text{ Па.}$$

3 Предохранительный запорный клапан

Давление на выходе из ГРУ определяется по формуле 10.4:

$$P_{вых} = P_{гор} + 0,3P_{гор}; \quad (10.4)$$

$$P_{вых} = 35378,51 + 0,3 * 35378,51 = 45992,1 \text{ Па.}$$

Принимаем к установке клапан ПКН – 50 с верхним пределом настройки от 0,001 до 0,06 МПа, нижним – от 0,0003 до 0,003 МПа.

Давление газа на входе в ПЗК:

$$\Delta P_{пзк} = 0,33 - 0,0011 - 0,0001 = 0,32872 \text{ МПа.}$$

Потери давления в предохранительном клапане определяются по формуле 10.5:

$$\Delta P_{пзк} = \xi \frac{W^2}{2} * \rho_d; \quad (10.5)$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления ПЗК [1, таблица 9.19], равный 5;

W – скорость газа на входе в ПЗК;

ρ_d – плотность газа при рабочих условиях, кг/м³, определяем по формуле 10.6:

$$\rho_d = \rho_0 * \frac{P_{пзк} * T_0}{P_0 * T_{пзк}}; \quad (10.6)$$

где $T_{пзк}$ – температура газа на входе в клапан, К, $T_{пзк} = 278 \text{ К}$.

$$\rho_d = 0,733 * \frac{0,3287 * 273}{0,101 * 278} = 2,62 \text{ кг/м}^3.$$

Скорость газа на входе в ПЗК определяем по формуле 10.7:

$$W = \frac{V_p}{3600 * \left(\frac{\pi}{4}\right) * D^2} * \frac{P_0}{P_{пзк}} * \frac{T_{пзк}}{T_0}; \quad (10.7)$$

$$W = \frac{352}{3600 * \left(\frac{3,14}{4}\right) * 0,05^2} * \frac{0,101}{0,3287} * \frac{278}{273} = 15,6 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\Delta P_{пзк} = 5 \frac{15,6^2}{2} * 2,62 = 1594 \text{ Па.}$$

Давление газа во входном сечении регулятора давления:

$$P_1 = 0,33 - 0,0011 - 0,0001 - 0,0016 = 0,3272 \text{ МПа.}$$

Давление газа в выходном сечении:

$$P_2 = 35378,51 + 0,3 * 35378,51 + 0,101 = 0,1469 \text{ МПа.}$$

4 Регулятор давления

Принимаем к установке регулятор давления РДБК 1-50 с характеристиками $f_c = 8,5 \text{ см}^2$, $\alpha = 0,6$.

Пропускная способность регулятора давления определяется по формуле 10.8:

$$V = 1595 * f * \alpha * P_1 * \varphi * \sqrt{\frac{1}{\rho_0}}; \quad (10.8)$$

где f – площадь седла клапана, см²;

α – коэффициент расхода;

Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подп.	Дата

φ – коэффициент, зависящий от отношения давлений P_2/P_1 , определяемый по формуле 10.9:

$$\varphi = \sqrt{\frac{k}{k-1} * \left(\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right)}; \quad (10.9)$$

где k – показатель адиабаты, для природного газа $k=1,32$;

P_1 и P_2 – давление газа на входе и выходе регулятора давления, МПа.

$$\varphi = \sqrt{\frac{1,32}{1,32-1} * \left(\left(\frac{0,1469}{0,3272} \right)^{\frac{2}{1,32}} - \left(\frac{0,1469}{0,3272} \right)^{\frac{1,32+1}{1,32}} \right)} = 0,469.$$

Пропускная способность регулятора давления:

$$V = 1595 * 8,5 * 0,6 * 0,3272 * 0,469 * \sqrt{\frac{1}{0,733}} = 1378,5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Пределы устойчивой работы регулятора определяются:

$$V_y = (0,2 \dots 0,8) \cdot V = (0,2 \dots 0,8) \cdot 1378,5 = 275 \dots 1102,8 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Принятый к установке в ГРУ регулятор давления РДБК 1-50 будет работать устойчиво при расчетном расходе газа $V_p = 352 \text{ м}^3/\text{ч}$.

5 Предохранительный сбросной клапан

Необходимая пропускная способность ПСК в ГРУ при наличии перед регулятором давления ПЗК определяется по формуле 10.10:

$$V_{\text{ПСК}} \geq 0,0005 * V = 0,0005 * 1378,5 = 0,69 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (10.10)$$

Принимаем к установке в ГРУ ПСК-50.

Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подп.	Дата

