МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (ДГТУ)

Газоснабжение

Методические указания
по выполнению практических работ
по дисциплине «Газоснабжение»
для обучающихся по направлению подготовки
08.03.01 «Строительство»

Ростов-на-Дону
2023

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания могут быть использованы на практических занятиях, при дипломном проектировании городских и поселковых распределительных систем газоснабжения.

Указания разработаны и предназначены для студентов бакалавриата, обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01. «Строительство» профиля «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Методические указания успешно используются для решения ряда практических задач, возникающих при проектировании газораспределительных систем.

Приведены материалы для выполнения самостоятельной работы студентов. Самостоятельная работа – часть образовательного процесса, которая является дидактическим средством развития готовности к профессиональному самообразованию, приобретения умений и навыков, соответствующих компетентностной модели выпускника, осваивающего основную профессиональную образовательную программу бакалавриата.

Представленный в методических указаниях круг проблем включает в себя как вопросы, освоение которых предусмотрено в контактной форме взаимодействия студента и преподавателя, так и вопросы, которые студенту предстоит изучать самостоятельно, без присутствия преподавателя.

Обязательная самостоятельная работа обеспечивает подготовку студента к текущим аудиторным занятиям. Результаты этой подготовки проявляются в активности студента на занятиях и качественном уровне представленных докладов, выполненных работ, тестовых заданий и других форм текущего контроля.

1. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА

Теплота сгорания газа определяется количеством тепла, выделяющимся при сжигании единицы веса или единицы объема данного вещества. Теплота сгорания газов выражается в кДж/кг и кДж/м^3 и является основным теплотехническим показателем газа. Теплота сгорания (высшая или низшая) сухого газообразного топлива (газа) определяется как сумма произве-

дений величин теплоты сгорания горючих компонентов на их объемные доли по формуле

$$Q_н^р = \frac{Q_1x_1 + Q_2x_2 + ... + Q_nx_n}{100}, \qquad (1.1)$$

где $Q_н^р$ - низшая теплота сгорания сухого газа, кДж/м^3;

Q_1, Q_2,.....Q_n - теплота сгорания горючих компонентов, составляющих газообразное топливо, кДж/м^3, определяется [1, табл. 1.3];

$x_1, x_2, ..., x_n$ - объемные доли компонентов, составляющих газообразное топливо, %, определяется по приложению 2 данного учебного пособия.

Плотность сухого газа определяют, как сумму произведений плотностей компонентов, составляющих газообразное топливо, на их объемные доли по формуле

$$\rho = \frac{\rho_1x_1 + \rho_2x_2 + ... + \rho_nx_n}{100}, \qquad (1.2)$$

где ρ - плотность сухого газа, кг/м^3;

$\rho_1, \rho_2, ...\rho_n$ - плотности компонентов, составляющих данное газообразное топливо, кг/м^3.

Относительная плотность $\rho_{отн}^с$, кг/м^3 сухого газа по воздуху определим по формуле

$$\rho_{отн}^с = \frac{\rho}{\rho_в}, \qquad (1.3)$$

где $\rho_в$ = 1,293 - плотность воздуха при нормальных условиях, кг/м^3.

Подсчет объема воздуха, необходимого для сгорания газа производят на основе уравнения горения компонентов, входящих в его состав. Для газообразного топлива, состоящего из предельных углеводородов, уравнение реакции горения представляют в виде:

$$C_mH_n + \left(m + \frac{n}{4}\right) \cdot O_2 = m \cdot CO_2 + \frac{n}{2} \cdot H_2O + Q, \qquad (1.4)$$

где m, n - число атомов углерода и водорода в углеводородных соединениях;

Q - тепловой эффект реакции горения (теплота сгорания).

Используя уравнение (1.4) можно получить:

$$V^0 = \frac{9,52x_1 + 4,76\left(m + \frac{n}{4}\right)\sum_{j=2}^{k} x_j}{100}, \qquad (1.5)$$

где V^0 - теоретически необходимое количество воздуха, м^3 возд./м^3 газа;

$x_1 = CH_4$;

x_j - j-й предельный углеводород;

k - количество компонентов (предельных углеводородов) в газообразном топливе.

В общем случае теоретическое количество воздуха необходимое для сгорания 1 м сухого газа определим по формуле

$$V^0 = 0,0476\left[0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \sum\left(m + \frac{n}{4}\right)C_mH_n - O_2\right], \qquad (1.6)$$

где CO, H_2, H_2S, C_mH_n, O_2 – содержание отдельных компонентов газообразного топлива, %.

Характеристики газа, определенные по приведенным формулам, сводим в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Характеристики газообразного топлива при нормальных условиях

Теплота сгорания, $Q_н^р$, $\frac{кДж}{м^3}$	Плотность, ρ, $\frac{кг}{м^3}$	Относительная плотность, $\rho_{отн}^с$, $\frac{кг}{м^3}$	Объем воздуха, V^0, $\frac{м^3}{м^3}$
1	2	3	4

2. ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Расчет газораспределительных систем газоснабжения населенных пунктов состоит из двух частей:

часть первая – расчет городской распределительной (уличной или межцеховой) системы газоснабжения;

часть вторая – индивидуальное задание.

Расчет городской газораспределительной сети включает следующие разделы:
1. Определение расчетного расхода газа на распределительную сеть низкого давления.

2. Расчет предварительного потокораспределения.
3. Выбор диаметров трубопроводов в сети низкой ступени давления.
4. Гидравлический расчет сети низкого давления.
5. Расчет газовых сетей средней (высокой) ступени давления.
6. Специальная часть, выполняемая по заданию преподавателя, может включать:
а) расчет экономических показателей распределительной сети с выбором экономически оптимального варианта системы, выполняемый на ЭВМ;
б) расчет газовых горелок с помощью ЭВМ;
в) углубленная разработка узла арматуры или перехода через препятствие и т.п.
Данный перечень специальной части не ограничивает свободы выбора тем для проектирования или расчета элементов сетевых систем.

2.1.1 Определение потребления газа различными категориями потребителей

По заданной плотности населения и площади жилых кварталов определяется количество жителей населенного пункта:

$$N = \sum_{j=1}^{m} P_j F_{квj}, \qquad (2.1)$$

где m – число кварталов;

P_j – плотность населения j-го жилого квартала, чел./га;

$F_{квj}$ – площадь j-го жилого квартала, га.

Все виды городского потребления газа разделены на коммунально-бытовое потребление, отопление, вентиляцию и промышленное потребление.

2.1.2 Коммунально-бытовое потребление

Расчетный расход газа, $м^3/ч$, (при 0^0C и 101.3 кПа) на хозяйственно-бытовые и коммунальные нужды по отдельным категориям потребителей:

$$Q_{кбi} = (q_i \times N \times 10^{-3} \times n_i \times x_г \times Km) / Q_H^P, \qquad (2.2)$$

для сельской местности: $Q_{кб} = \sum_{i=1}^{f} k_o q_i^* / Q_H^P$,

где q_i – норма потребления газа одной расчетной единицей (1 р.е.); кДж/р.е., [2, прил. А];

n_i – количество расчетных единиц на одну тысячу жителей, р.е./тыс. жит., [1, с. 46-47];

k_o – коэффициент одновременности [2, табл. 5];

$x_г$ – коэффициент охвата газоснабжением (см. задание);

f – число р.е. (квартир или домов) для сел;

$Km = \frac{1}{m}$ – коэффициент часового максимума, год/ ч., [2, табл. 2], [2, табл. 3];

q_i^* - суммарная тепловая нагрузка горелок 1 р.е., кДж/ ч.

Потребление газа мелкими коммунально-бытовыми потребителями (ателье, мастерскими, парикмахерскими, магазинами и др.) $Q_{ком}^м, м^3/ч$, определяется в соответствии с [1, стр. 46-48].

2.1.3 Потребление на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение

Потребление газа на отопление и вентиляцию от котельных жилых и общественных зданий $Q_{ов}^к, м^3/ч$, вычисляется по формуле

$$Q_{ов}^к = \left[24(1+0{,}25)\frac{t_в - t_{ср.о}}{t_в - t_{р.о}} + 0{,}25K_в \frac{t_в - t_{ср.о}}{t_в - t_{р.в}} z \right] \frac{qF_{жс}^к n_0}{\eta_0 Q_н^р m_к}. \qquad (2.3)$$

Потребление газа на отопление от местных отопительных систем жилых и общественных зданий $Q_{от}^{мо}, м^3/ч$, вычисляется по формуле

$$Q_{от}^{мо} = \left(24 \frac{t_в - t_{ср.о}}{t_в - t_{р.о}} \right) \frac{q F_{ж}^{мо} n_о}{\eta_о Q_Н^Р m_k}, \qquad (2.4)$$

где $t_в$ – расчетная температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, ^oC, принимаемая для жилых и общественных зданий равной 20^oC, [3]; для промышленных зданий принимается по заданию;

$t_{ср.о}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, ^oC, принимаемая в соответствии с [4, табл 1];

$n_о$ – продолжительность отопительного периода в сутках по числу дней со средней суточной температурой наружного воздуха 8^oC и ниже, принимаемая в соответствии с [4, табл. 1];

$t_{р.о}$ – расчетная температура наружного воздуха, ^oC, для проектирования отопления, принимая как средняя температура воздуха наиболее холодной пятидневки в соответствии с [3] по параметру Б;

$t_{р.в}$ – расчетная температура наружного воздуха, ^oC, для проектирования вентиляции, принимаемая в соответствии с [3] по параметру А;

$K_в$ – коэффициент, учитывающий расход теплоты на вентиляцию общественных зданий;

z – среднее число часов работы системы вентиляции общественных зданий в течение суток (при отсутствии данных принимается 16 ч);

q – укрупненный показатель максимального часового расхода тепла на отопление 1 м^2 жилой площади зданий, кДж/$(ч \cdot м^2)$, [1, табл. 5.2];

$F_{ж}^{к}$ – общая жилая площадь отапливаемых от котельных зданий, $м^2$;

$F_{ж}^{мо}$ – общая жилая площадь отапливаемых от местных систем зданий, $м^2$. Социальная норма площади на 1 человека – 18 $м^2$.

$\eta_о$ – к.п.д. отопительной системы;

Число часов использования максимума для отопительных котельных, ч/год:

$$m_k = 24 n_о \frac{t_в - t_{ср.о}}{t_в - t_{р.о}} . \qquad (2.5)$$

Потребление газа на централизованное горячее водоснабжение от котельных $Q_{гв}, м^3/ч,$:

$$Q_{гв} = 24 q_{гв} N \left[n_0 + (350 - n_0) \frac{55 - t_{хл}}{55 - t_{хз}} \beta \right] \frac{K_{цгв}}{\eta_0 Q_н^р m_к}, \qquad (2.6)$$

где $q_{гв}$ – укрупненный показатель среднечасового расхода тепла на горячее водоснабжение, кДж/(ч·чел), [1, табл. 5.3];

$t_{хл}, t_{хз}$ – температура водопроводной воды в отопительный и летний периоды, °С ($t_{хз}$ =5 °С; $t_{хл}$ =15 °С);

β – коэффициент, учитывающий снижение расхода горячей воды в летний период; при отсутствии данных принимается равным 0,8 (для курортных и южных городов 1,0);

η_o – к.п.д. отопительной системы;

$K_{цгв}$ – коэффициент охвата ЦГВ (см. задание).

Потребление газа котельными (ТЭЦ) района, $м^3/ч$:

$$Q_{кот} = Q_{ов} + Q_{гв} + Q_{п.т.}; \tag{2.7}$$

$$Q_{тэц} = K_{тэц}(Q_{ов} + Q_{гв} + Q_{п.т.}), \tag{2.8}$$

где $К_{тэц}$ – коэффициент, учитывающий выработку электроэнергии на ТЭЦ (при отсутствии данных принимается равным 2,0);

$Q_{п.т.}$ – расход газа на выработку пара для технологических нужд промышленности, $м^3/ч$:

$$Q_{п.т.} = \frac{B_{п.т.} \cdot i_п}{Q_н^р \cdot \eta_к} \cdot 10^3, \tag{2.9}$$

где $i_п$ – теплосодержание технологического пара, кДж/кг;

$B_{п.т.}$ – суммарная паропроизводительность котлоагрегатов, вырабатывающих пар для технологических нужд, т/ч.

2.1.4 Промышленное потребление

Расчетный часовой расход газа промышленным предприятием, включающий потребление на технологические нужды, отопление, вентиляцию цехов и подразделений промплощадки, $м^3/ч$:

$$Q_{ППi} = \frac{Q_{ППi}^{год}}{Q_н^р} \times Km, \tag{2.10}$$

где $Q_{ППi}^{год}$ – годовое потребление газа промпредприятием, кДж/год, принимаемое по заданию;

Km – коэффициент часового максимума промпредприятия, [1, табл. 5.11].

При проектировании внутриплощадочной сети газопроводов должно быть известно потребление газа отдельными потребителями, питаемыми от этой сети (цехами, котельными, столовыми и др.), по укрупненным показателям топливопотребления этих потребителей.

Расчетный годовой расход газа на производственные нужды сельских населенных пунктов следует принимать по данным топливопотребления. Годовые расходы теплоты на приготовление кормов и подогрев воды для животных принимается по в соответствии с техническим заданием.

2.1.5 Расчет расхода газа на распределительную сеть

Вначале определяется расчетный расход газа, $м^3/ч$, на распределительную сеть низкого давления, от которой питаются все бытовые, мелкие коммунальные и часть промышленных потребителей, которым необходим газ низкого давления.

$$Q_p^{нд} = K_{персп.}(\sum_{i=1}^{r} Q_{КБi} + Q_{ком}^{м} + Q_{ПП}^{м} + Q_{от}^{мо}), \qquad (2.11)$$

где $K_{персп.}$ – коэффициент, учитывающий перспективное развитие населенного пункта (при отсутствии данных принимается равным 1,3);

r – число бытовых и коммунальных потребителей, питающихся от сети низкого давления;

$Q_{ПП}^{м}$ – мелкие промышленные потребители, питаемые от сети низкого давления, м^3/ч.

В число r коммунально-бытовых потребителей включаются потребители жилых зданий (потребление газа на приготовление пищи, горячей воды и стирку белья в квартирах), предприятия общественного питания, учреждения здравоохранения.

Далее определяются расчетные расходы газа на распределительные сети других ступеней давления (среднего, высокого) $Q_p^{с.д.}; Q_p^{в.д.}; м^3/ч$, путем суммирования расходов всех потребителей, питающихся от сети соответствующей ступени давления (например, котельных, ТЭЦ, хлебозаводов, ГРП, банно-прачечных комбинатов) с учетом перспективного развития населенного пункта.

2.1.6 Гидравлический расчет распределительных газовых сетей низкого давления

Гидравлический расчет многокольцевых сетей включает гидравлическую увязку колец и определение давлений в узлах сети на расчетном режиме газопотребления.

Известно, что для газопроводов низкого давления перепад давления участка

$$\Delta P_{rk} = a_{rk} Q_{rk}^{1,75}, \qquad (2.12)$$

где a_{rk} – коэффициент гидравлического сопротивления участка длиной l_{rk}.

В результате увязки сети должен выполняться второй закон Кирхгофа для всех элементарных колец, а именно:

$$\sum_{\kappa=1}^{n_k} Sqn \cdot \Delta P_{rk} = \sum_{k=1}^{n_k} Sqn \cdot a_{rk} Q_{rk}^{1,75} = 0, \tag{2.13}$$

где n_k – количество участков кольца.

Знак слагаемого (2.13) принимается положительным при совпадении направления течения газа на участке с направлением обхода контура кольца по часовой стрелке, отрицательным – в противоположном случае.

После предварительного потокораспределения и выбора диаметров труб выполняется первый и остается невыполненным второй закон Кирхгофа, то есть для каждого кольца

$$\Delta P_k = \sum_{k=1}^{n_k} \pm \Delta P_{rk.ф.} = \sum_{k=1}^{n_k} \pm a_{rk} Q_{rk}^{1,75}, \tag{2.14}$$

где ΔP_k – невязка по кольцу, Па.

Для выполнения условия гидравлической увязки кольца при ручном счете допускается остаточная невязка по кольцу δP_k, не превышающая 10 %, то есть

$$\delta P_k = \frac{\Delta P_k}{0,5 \sum_{k=1}^{n_k} \left| \Delta P_{rk.ф.} \right|} \times 100\% = \pm 10\%. \tag{2.15}$$

Для увязки колец используется приближенная формула, полученная на основе формулы Лобачева-Кросса [1], позволяющая вычислить величину контурного поправочного расхода $\Delta Q_k, м^3/ч$:

$$\Delta Q_k = \frac{\Delta P_k}{1,75 \sum_{k=1}^{n_k - n_{у.в.}} \left| \frac{\Delta P_{rk.ф.}}{Q_{rk}} \right|}, \tag{2.16}$$

где $n_{у.в.}$ – число участков данного кольца, принадлежащих смежным увязанным кольцам.

Методика гидравлической увязки многокольцевой газовой сети низкого давления

1. Вычисляем кольцевые невязки для каждого кольца ΔP_k и δP_k по формулам (2.14), (2.15) по результатам предварительного потокораспределения. Кольца, для которых выполняется условие (2.15), считаются увязанными.

2. Для неувязанных колец вычисляются ΔQ_k по формуле (2.16).

3. Для увязки выбираем кольцо с наибольшим абсолютным значением ΔQ_k. Вносим поправку в расходы участков данного кольца, за исключением участков, принадлежащих смежным увязанным кольцам (для этих участков расчетный расход не меняется), по формуле

$$Q_{rk}^{(1)} = Q_{rk}^{(0)} \pm \Delta Q_k, \tag{2.17}$$

где $Q_{rk}^{(0)}$ – расчетный расход нулевого приближения (табл. 2.1, ст. 3), $м^3/ч$;

$Q_{rk}^{(1)}$ – исправленный расчетный расход участка первого приближения, $м^3/ч$.

Правило знаков в формуле (2.17) следующее: если кольцевая невязка $\Delta P_k > 0$, то для участков кольца с течением по часовой стрелке ставится знак (-), против часовой – знак (+); если $\Delta P_k < 0$, то для участков с течением по часовой стрелке ставится знак (+), против часовой стрелки – знак (-).

4. Определяем потери давления участков кольца для полученных расходов, $\Delta P_{rk.ф}^{(1)}, Па$, по формуле пересчета

$$\Delta P_{rk.ф}^{(1)} = \Delta P_{rk.ф}^{(0)} \left[\frac{Q_{rk}^{(1)}}{Q_{rk}^{(0)}} \right]^{1,75}, \tag{2.18}$$

где $\Delta P_{rk.ф}^{(0)}$ – потери давления участка, соответствующие $Q_{rk}^{(0)}$ (табл. 2.1, ст. 8), Па.

5. Вычисляем значения δP_k данного и смежных с ним колец. Кольца, для которых выполняется условие (2.15), считаются увязанными.

6. Пересчитываем значение ΔQ_k для колец, смежных с увязываемым, для которых не выполняется условие (2.15), по формуле (2.16) и из всех неувязанных колец сети выбираем для увязки то, у которого ΔQ_k наибольшее по абсолютному значению.

7. Повторяем процедуру увязки выбранного кольца, начиная с пункта 3 и так далее, вплоть до увязки последнего кольца сети. Значения остаточных невязок увязанных колец ΔP_k и δP_k записываются в столбцы 13, 14 а окончательные величины Q_{rk} и ΔP_{rk} – в столбцы 9, 11 (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Результаты гидравлического расчета распределительной сети низкого давления

Номер участков	Длина участка, м	Расчетный расход участка, м³/ч	Гидравлический уклон уч., Па/м	Диаметр участка, мм	Перепад давления уч., Па	Фактическое значение гидр. уклона, Па/м	Результат гидравлической увязки колец						
							Фактический перепад давления уч., Па	Исправленный расход уч., м³/ч	Исправленный диаметр уч., мм	Исправленный перепад давления, Па	Номер колец	Окончат. невязка кольца, Па	% окончат. невязки кольца, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

2.1.7 Расчет распределительных газовых сетей средней (высокой) ступени давления

Распределительная сеть средней (высокой) ступени давления чаще выполняется незакольцованной (тупиковой), к ней присоединяются сосредоточенные крупные потребители газа, как например котельные (ТЭЦ), промпредприятия, ГРП более низких ступеней давления, банно-прачечные комбинаты, хлебозаводы и т. д., потребляющие газ данного давления.

При трассировке сетей среднего (высокого) давления следует руководствоваться указаниями [2, п. 4.14], согласно которым допускается укладка газопроводов низкого и среднего (высокого) давлений в одной траншее.

Определение расчетных расходов участков сети (расчет потокораспределения) при одном узле писания (ГРС) производятся путем последовательного суммирования расходов потребителей, питающихся в конце участка. Так как путевая составляющая расхода равна нулю, то, следовательно, расчетный расход по длине участка не меняется.

Гидравлические потери давления участка сети:

$$\Delta P_{rk} = P_r^2 - P_k^2, \tag{2.19}$$

где P_r, P_k – абсолютное давление соответственно в начальном и конечном (по направлению движения газа) узлах участка, МПа.

Гидравлический уклон участка сети $R_{rk}, (МПа)^2 / м$, без учета местных потерь давления:

$$R_{rk} = \frac{P_r^2 - P_k^2}{1,1 l_{rk}}. \qquad (2.20)$$

При известном давлении в начале участка P_r, используя формулы (2.19), (2.20), получаем выражение для определения давления в конце участка, $P_k, МПа$:

$$P_k = \sqrt{P_r^2 - 1,1 R_{rk}\ l_{rk}}. \qquad (2.21)$$

Рассмотрим методику расчета незакольцованной распределительной сети среднего (высокого) давления.

1. При известном из задания давлении перед городом (после ГРС) принимаем (либо берем в соответствии с исходными данными на проектирование) давления газа перед потребителями.

2. Выбираем главное направление от узла питания до конечного, наиболее удаленного узла, и определяем средний гидравлический уклон по этому направлению.

3. Последовательно рассматривая каждой участок выбранного направления по формуле (2.21), вычисляем неизвестные давления в узлах. Расчет начинается с участка, начальным узлом которого является узел питания с заданным давлением $P_r = P_{ГРС}$. Начальным узлом следующего участка является конечный узел предыдущего участка, давление в котором уже определено.

4. После определения давлений при вычисленных расчетных расходах участков выбираем диаметры трубопроводов с помощью номограммы приложения для удельных потерь газопроводов среднего давления рассматриваемого участка.

5. Проводим поверочный расчет, целью которого является уточнение давлений в узлах при выбранных стандартных диаметрах труб, отличающихся от расчетных.

6. Пересчитываем значение $P_{кф}$ узла при неизменной (вычисленной из расчета предыдущего участка) величине $P_{rф}$ по формуле

$$P_{кф} = \sqrt{P_{r.ф.}^2 - \Delta P_{rk.ф.}}. \qquad (2.22)$$

Подобный пересчет производим для всех узлов сети (исключая узел питания), в том числе и для конечных узлов перед потребителями.

В случае, если давление газа перед потребителем окажется за пределами допустимого, необходимо изменить соответствующий диаметр, в чем собственно и состоит гидравлическая увязка разветвленной сети. На этом гидравлический расчет сети заканчивается. Результаты расчета записываются в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результаты гидравлического расчета распределительной сети среднего (высокого) давления

Номер участка	Длина участка $l_{rk}, м$	Расчетный расход участка $Q_{rk}, м^3/ч$	Стандартный диаметр участка $d_H x S$, *мм*	Гидравлические потери давления участка $\Delta P_{rk}, МПа^2$	Абсолютное давление в начале участка P_r, *МПа*	Абсолютное давление в конце участка P_k, *МПа*
1	2	3	4	5	6	7

2.1.8 Выбор оборудования сетевого регуляторного пункта

После расчета сетей низкой и средней (высокой) ступени давления появляется возможность уточнения типа регуляторного пункта, питающего сеть низкого давления, по величине пропускной способности регулятора давления газа.

Для регуляторных пунктов с технологической линией на базе регуляторов РД-32М и РД-50М пропускная способность Q_p , *м³/ч,* определяется по формулам:
при $(P_{вх} / P_{вых}) \le 2$

$$Q_p = \frac{Q_n}{32} 10^3 \sqrt{(P_{вх} - P_{вых}) P_{вых} / \rho_Г}; \qquad (2.23)$$

при $(P_{вх} / P_{вых}) > 2$

$$Q_p = 15{,}4 Q_n P_{вх} / \sqrt{\rho_г}\ , \qquad (2.24)$$

где $P_{вх}$ – абсолютное давление газа перед регулятором, МПа, которое приближенно можно принять равным абсолютному давлению перед регуляторным пунктом (табл. 2.2);

$P_{вых}$ – абсолютное давление газа после регулятора (приближенно можно принять равным абсолютному давлению в узле питания после ГРП), МПа;

$\rho_Г$ – плотность газа, кг/м³;

Q_n – паспортная пропускная способность регулятора, м³/ч, принимаемая по данным (табл. 2.3).

Для регуляторных пунктов с технологической линией на базе регуляторов типа РДУК и РДБК:

$$Q_p = 1595 f\ P_{вх} \varphi \alpha \sqrt{\frac{1}{\rho_Г}}, \qquad (2.25)$$

где f – площадь седла клапана, см^{2,} (табл. 2.4);

α – коэффициент расхода (табл. 2.4);

φ – коэффициент, зависящий от отношения $P_{вых}/P_{вх}$ (рис. 2.1).

Таблица 2.3

Технические данные регуляторов типа РД

Технические данные	РД-32М			РД-50М			
Диаметр клапанного отверстия, мм	4	6	10	11	15	20	25
Давление на входе, *$P_{вх}$, МПа*	1,1-1,7	0,4-1,1	0,105-0,4	0,7-1,3	0,4-0,7	0,2-0,4	0,1-0,2
Паспортная пропускная способность, *$Q_п$, м^3/ч*	4	7,8	12	30	51	78	100

Таблица 2.4

Технические данные регуляторов типа РДУК и РДБК

Параметры	РДБК1-25	РДУК2-50 РДБК1-50	РДУК2-100 РДБК1-100		РДУК2-200
	Диаметр клапана, мм				
	20	35	50	70	105
Площадь седла клапана (с учетом площади штока), *f*, см^2	3,14	9,6	19,6	38,4	86,5
Коэффициент расхода, α	0,65	0,6	0,42	0,4	0,4

Расчетная пропускная способность регуляторного пункта должна быть больше номинальной не менее, чем на 15-20 %, т.е.

$$Q_p - Q_{pn} \geq 15+20\ \%.$$

Здесь Q_{pn} – номинальная пропускная способность регуляторного пункта.

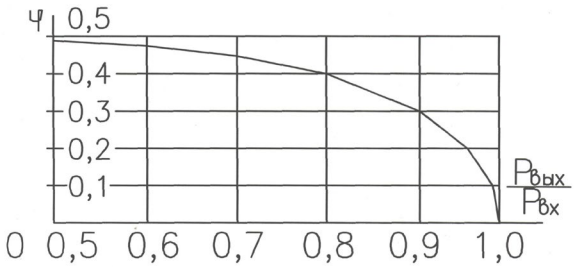

Рис. 2.1. График зависимости φ от отношения давлений $P_{вых}/P_{вх}$ для природного газа

Тип и пропускная способность фильтров могут быть определены в соответствии с рекомендациями [1, разд. 8]. При размещении регуляторных пунктов следует руководствоваться рекомендациями [2, п.п. 5.4-5.14].

2.2 Общие положения по выполнению курсовой работы

Курсовая работа предполагает расчет распределительных систем газоснабжения населенного пункта из полиэтиленовых труб. По мнению руководителя курсовой работы задания могут варьироваться в зависимости от предьявляемых требований. Пропускная способность полиэтиленовых газопроводов должна приниматься из условий создания при максимально допустимых потерях давления газа наиболее экономичной и надежной в эксплуатации системы, обеспечивающей устойчивость работы ГРП и газорегуляторных установок (ГРУ), а также работы горелок потребителей в допустимых диапазонах давления газа.

Расчет диаметра газопровода следует выполнять, как правило, на компьютере с оптимальным распределением расчетной потери давления между участками сети.

При невозможности или нецелесообразности выполнения расчета на компьютере (отсутствие соответствующей программы, отдельные участки газопроводов, и т.п.) гидравлический расчет допускается производить по приведенным ниже формулам или по номограммам.

Расчетные суммарные потери давления газа в газопроводах низкого давления (от источника газоснабжения до наиболее удаленного прибора) следует принимать не более 180 даПа, в том числе в распределительных газопроводах 120даПа, в газопроводах-вводах и внутренних газопроводах – 60 даПа.

Падение давления на участке газовой сети следует определять:

– для сетей среднего и высокого давлений по формуле

$$P_н^2 - P_k^2 = \frac{P_o}{81\pi^2}\lambda\frac{Q_o^2}{d^5}\rho_0 l = 1{,}2687\cdot 10^{-4}\lambda\frac{Q_0^2}{d^5}\rho_0 l \quad , \qquad (2.26)$$

где $P_н$ - абсолютное давление в начале газопровода, МПа;

Рк - абсолютное давление в конце газопровода, МПа;

P_0=0,101325МПа;

λ - коэффициент гидравлического трения;

l - расчетная длина газопровода постоянного диаметра, м;

d- внутренний диаметр газопровода, см;

ρ_o -плотность газа при нормальных условиях, кг/м^3;

Q_o - расход газа, м^3/ч, при нормальных условиях;

– для сетей низкого давления по формуле

$$P_н - P_к = \frac{10^6}{162\pi^2}\lambda\frac{Q_0^2}{d^5}\rho_0 l = 626{,}1\lambda\frac{Q_0^2}{d^5}\rho_0 l \quad , \qquad (2.27)$$

где $P_н$ - давление в начале газопровода, Па;

$P_к$ - давление в конце газопровода, Па;

λ , l, d, ρ_o, Q_o - обозначения те же, что и в формуле (2.26).

Коэффициент гидравлического трения λ следует определять в зависимости от режима движения газа по газопроводу, характеризуемого числом Рейнольдса:

$$\mathrm{Re} = \frac{Q_O}{9\pi d\nu} = 0{,}0354\frac{Q_O}{d\nu} \quad , \qquad (2.28)$$

где ν - коэффициент кинематической вязкости газа, $м^2/с$, при нормальных условиях,

Q_o, d - обозначения те же, что и в формуле (2.26).

$$\mathrm{Re}(\frac{n}{d}) < 23 \quad , \qquad (2.29)$$

где Re - число Рейнольдса;

n - эквивалентная абсолютная шероховатость внутренней поверхности стенки трубы, принимаемая равной для новых стальных - 0,01 см , для бывших в эксплуатации стальных - 0,1 см, для полиэтиленовых независимо от времени эксплуатации - 0,0007см.;

d - обозначения те же, что и в формуле (2.26).

В зависимости от значения Re коэффициент гидравлического трения λ, следует определять:

- для ламинарного режима движения газа Re < 2000

$$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}; \qquad (2.30)$$

- для критического режима движения газа Re = 2000-4000:

$$\lambda = 0{,}0025\ \mathrm{Re}^{0{,}333}; \qquad (2.31)$$

- при 4000 <Re< 100000 по формуле

$$\lambda = \frac{0{,}3164}{\mathrm{Re}^{0{,}25}} \quad ; \qquad (2.32)$$

- при Re>100000:

$$\lambda = \frac{1}{1{,}281\lg \mathrm{Re} - 1{,}64)^2} \quad ; \qquad (2.33)$$

- для шероховатых стенок при Re>4000

$$\lambda = 0{,}11(\frac{n}{d} + \frac{68}{\mathrm{Re}})^{0{,}25}, \qquad (2.34)$$

где n - обозначения то же что и в формуле (2.29);

d - обозначения то же, что и в формуле (2.26).

Расчетный расход газа на участках распределительных наружных газопроводов низкого давления, имеющих путевые расходы газа, следует определять, как сумму транзитного и 0,5 путевого расхода.

Падение давления в местных сопротивлениях (колена, тройники, запорная арматура и др.) допускается учитывать путем увеличения фактической длины газопровода на 5-10%.

При выполнении гидравлического расчета газопроводов приведенным по формулам (2.26)-(2.34), а также по различным методикам и программам для электронно-вычислительных машин, составленным на основе этих формул, расчетный внутренний диаметр газопровода следует предварительно определять по формуле

$$d_p = \sqrt[m1]{\frac{AB\rho_o Q_o^m}{\Delta P_{уд}}}, \qquad (2.35)$$

где dp - расчетный диаметр, см;

коэффициенты A, B, m, m1 определяются по таблицам 2.5 и 2.6 в зависимости от категории сети (по давлению) и материала газопровода;

Q_o - расчетный расход газа, $м^3$/ч. при нормальных условиях;

$\Delta P_{уд}$ -удельные потери давления, (Па/м - для сетей низкого давления, МПа/м - для сетей среднего и высокого давления) определяемые по формуле

$$\Delta P_{уд} = \frac{\Delta P_{доп}}{1{,}1L}, \qquad (2.36)$$

где $\Delta P_{доп}$ -допустимые потери давления, (Па - для сетей низкого давления, МПа/м - для сетей среднего и высокого давления);

L - расстояние до самой удаленной точки, м.

Таблица 2.5

Категория сети	А
Сети низкого давления	$10^6/(162\pi^2)=626$
Сети среднего и высокого давления	$Po/(P_т\ 162\pi^2)$; Po=0,101325МПа, $P_т$ - среднее давление газа (абсолютное) в сети, МПа;

Таблица 2.6

Материал	B	m	m1
сталь	0,022	2	5
полиэтилен	$0{,}3164(9\pi\nu)^{0{,}25}=0{,}0446$, ν - кинематическая вязкость газа при нормальных условиях	1,75	4,75

Внутренний диаметр газопровода следует принимать из стандартного ряда внутренних диаметров трубопроводов ближайший больший - для стальных газопроводов и меньший - для полиэтиленовых.

2.2.1 Пример расчета тупиковой газораспределительной сети

Приведем пример одного из вариантов расчета тупиковой газораспределительной сети. Расчет выполняется как вручную, так и на ЭВМ с помощью программы «РАСГАЗ». В качестве исходных данных используется структура сети, расчетный расход газа на сеть, длины участков, категория давления (рис. 2.2). Формулы гидравлического расчета газопроводов приведены выше и в методических указаниях по расчету газораспределительной сети [13].

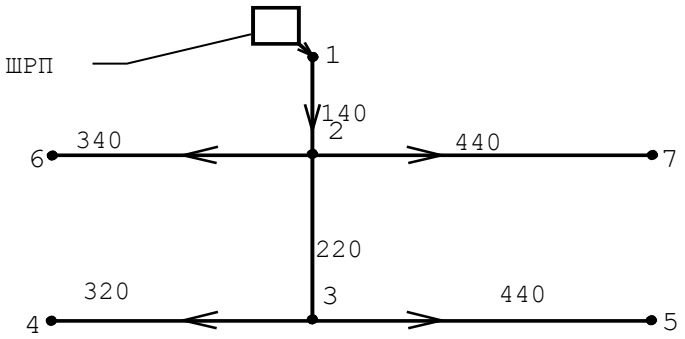

Рис. 2.2. Тупиковая газораспределительная сеть.

1. Расчетный расход газа на сеть низкого давления $Q_{ШРП}$=1377,4 нм^3/ч
2. Определение удельного путевого расхода

$q=Q_{шрп}/\sum L$=1377,4/1900=0,725 нм^3/ч·м

3. Определение путевых расходов участков

$Q_{п1\text{-}2}$=0,725·140=101,5 нм^3/ч; $Q_{п2\text{-}6}$=0,725·340=246,5 нм^3/ч
$Q_{п2\text{-}7}$=0,725·440=319,0 нм^3/ч ; $Q_{п2\text{-}3}$=0,725·220=159,5 нм^3/ч
$Q_{п3\text{-}4}$=0,725·320=232,0 нм^3/ч; $Q_{п3\text{-}5}$=0,725·440=319,0 нм^3/ч

4. Определение транзитных расходов участков

$Q_{тр3-4}$=0 нм^3/ч; $Q_{тр3-5}$=0 нм^3/ч ; $Q_{тр2-3}$= $Q_{п3-5}$+$Q_{п3-4}$ =232+319=551,0 нм^3/ч

$Q_{тр2-6}$=0 нм^3/ч; $Q_{тр2-7}$=0нм^3/ч;

$Q_{тр1-2}$= $Q_{тр2-3}$+$Q_{п2-3}$+$Q_{п2-7}$+$Q_{п2-6}$ =551,0+159,5+246,5+319,0=1276 нм^3/ч

5. Определение расчетных расходов участков

$Q_{р3-4}$=0,5·232,0=116 нм^3/ч; $Q_{тр3-5}$=0,5·319,0=159,5 нм^3/ч

$Q_{р2-3}$= 0,5$Q_{п2-3}$+$Q_{тр2-3}$ =0,5·159,5+551,0=630,75 нм^3/ч

$Q_{р2-6}$=0,5·246,5=123,25 нм^3/ч; $Q_{р2-7}$=0,5·319=159,5 нм^3/ч

$Q_{р1-2}$= 0,5$Q_{п1-2}$+$Q_{тр1-2}$=0,5·101,5+1276=1326,75 нм^3/ч

Проверка: $Q_{р1-2}$+$Q_{узл}$= $Q_{ШРП}$

1326,75+0,5·101,5=1377,5 нм^3/ч

δ=(1377,5-1377,4)/1377,5·100%=0,0007%

6. Определение гидравлического уклона

$R^{1-2-3-5}$=1080/(140+220+440)=1,35 Па/м

R^{1-2-6}=(1080-1,35·140)/340=2,62 Па/м

R^{1-2-7}=(1080-1,35·140)/440=2,025 Па/м

$R^{1-2-3-4}$=[1080-1,35·(140+220)]/320=1,856 Па/м

По расчетным расходам на участках и гидравлическим уклонам определяем стандартные диаметры участков сети с использованием номограммы (в данном случае низкого давления). Далее уточняем фактические гидравлические уклоны в соответствии с выбранными стандартными диаметрами (приведены в сортаменте на ПЭ трубы).

7. Определение потерь давления на участках сети:

Δp_{3-5}=***1,35***·440=594 Па; Δp_{2-3}=***1,35***·220=297 Па; Δp_{1-2}=***1,35***·140=189 Па

Δp_{2-6}=***2,62***·340=890,8 Па; Δp_{2-7}=***2,025***·440=891 Па; Δp_{3-4}=***1,856***·320=594 Па

8. Определение давлений в конечных точках участков:

$p_{к1-2}$=3000-189=2811 Па; $pк_{2-3}$=2811-297=2514 Па; $pк_{3-5}$=2514-594=1920 Па

$p_{к2-6}$=2811-890,8=1920,2 Па; $p_{к2-7}$=2811-891=1920 Па; $p_{к3-4}$=2514-594=1920 Па

В результате расчета при помощи номограмм [2] были подобраны диаметры на участках газораспределительной сети. Результаты расчета см. табл. 2.7.

Таблица 2.7

Результаты гидравлического расчета газораспределительной сети низкого давления с помощью ручного и машинного счета.

№ уч.	Длина, м	Qп, м^3/ч	Qтр, м^3/ч	Qр, м^3/ч	R, Па/м	Δр, Па	$p_к$, Па	СП 42-101-2003		номогр. dполиэт
								$d_{ст}$	$d_{пл}$	
1-2	140	101,5	1276	1326,8	1,35	189	2811	273	225	**225**
2-3	220	159,5	551	630,75	1,35	297	2514	194	180	**160**
3-5	440	319	0	159,5	1,35	594	1920	89	90	**75**
2-6	340	246,5	0	123,25	2,62	890,8	1920,2	76	75	**60**
2-7	440	319	0	159,5	2,03	891	1920	89	90	**75**
3-4	320	232	0	116,0	1,86	594	1920	89	90	**75**

2.1.2 Коммунально-бытовое потребление

Расчетный расход газа, $м^3/ч$, (при 0^0C и 101.3 кПа) на хозяйственно-бытовые и коммунальные нужды по отдельным категориям потребителей:

$$Q_{кбi} = (q_i \times N \times 10^{-3} \times n_i \times x_г \times Km) / Q_H^P, \qquad (2.2)$$

для сельской местности: $Q_{кб} = \sum_{i=1}^{f} k_o q_i^* / Q_H^P$,

где q_i – норма потребления газа одной расчетной единицей (1 р.е.); кДж/р.е., [2, прил. А];

n_i – количество расчетных единиц на одну тысячу жителей, р.е./тыс. жит., [1, с. 46-47];

k_o – коэффициент одновременности [2, табл. 5];

$x_г$ – коэффициент охвата газоснабжением (см. задание);

f – число р.е. (квартир или домов) для сел;

$Km = \frac{1}{m}$ – коэффициент часового максимума, год/ ч., [2, табл. 2], [2, табл. 3];

q_i^* - суммарная тепловая нагрузка горелок 1 р.е., кДж/ ч.

Потребление газа мелкими коммунально-бытовыми потребителями (ателье, мастерскими, парикмахерскими, магазинами и др.) $Q_{ком}^м, м^3/ч$, определяется в соответствии с [1, стр. 46-48].

2.1.3 Потребление на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение

Потребление газа на отопление и вентиляцию от котельных жилых и общественных зданий $Q_{ов}^к, м^3/ч$, вычисляется по формуле

$$Q_{ов}^к = \left[24(1+0{,}25)\frac{t_в - t_{ср.о}}{t_в - t_{р.о}} + 0{,}25K_в \frac{t_в - t_{ср.о}}{t_в - t_{р.в}} z \right] \frac{qF_{жс}^к n_0}{\eta_0 Q_н^р m_к}. \qquad (2.3)$$

Потребление газа на отопление от местных отопительных систем жилых и общественных зданий $Q_{от}^{мо}, м^3/ч$, вычисляется по формуле

$$Q_{от}^{мо} = \left(24 \frac{t_в - t_{ср.о}}{t_в - t_{р.о}} \right) \frac{q F_{ж}^{мо} n_о}{\eta_о Q_Н^Р m_k}, \qquad (2.4)$$

где $t_в$ – расчетная температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, ^oC, принимаемая для жилых и общественных зданий равной 20^oC, [3]; для промышленных зданий принимается по заданию;

$t_{ср.о}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, ^oC, принимаемая в соответствии с [4, табл 1];

$n_о$ – продолжительность отопительного периода в сутках по числу дней со средней суточной температурой наружного воздуха 8^oC и ниже, принимаемая в соответствии с [4, табл. 1];

$t_{р.о}$ – расчетная температура наружного воздуха, ^oC, для проектирования отопления, принимая как средняя температура воздуха наиболее холодной пятидневки в соответствии с [3] по параметру Б;

$t_{р.в}$ – расчетная температура наружного воздуха, ^oC, для проектирования вентиляции, принимаемая в соответствии с [3] по параметру А;

$K_в$ – коэффициент, учитывающий расход теплоты на вентиляцию общественных зданий;

z – среднее число часов работы системы вентиляции общественных зданий в течение суток (при отсутствии данных принимается 16 ч);

q – укрупненный показатель максимального часового расхода тепла на отопление 1 м^2 жилой площади зданий, кДж/$(ч \cdot м^2)$, [1, табл. 5.2];

$F_{ж}^{к}$ – общая жилая площадь отапливаемых от котельных зданий, $м^2$;

$F_{ж}^{мо}$ – общая жилая площадь отапливаемых от местных систем зданий, $м^2$. Социальная норма площади на 1 человека – 18 $м^2$.

$\eta_о$ – к.п.д. отопительной системы;

Число часов использования максимума для отопительных котельных, ч/год:

$$m_k = 24 n_о \frac{t_в - t_{ср.о}}{t_в - t_{р.о}} . \qquad (2.5)$$

Потребление газа на централизованное горячее водоснабжение от котельных $Q_{гв}, м^3/ч,$:

$$Q_{гв} = 24 q_{гв} N \left[n_0 + (350 - n_0) \frac{55 - t_{хл}}{55 - t_{хз}} \beta \right] \frac{K_{цгв}}{\eta_0 Q_н^р m_к}, \qquad (2.6)$$

где $q_{гв}$ – укрупненный показатель среднечасового расхода тепла на горячее водоснабжение, кДж/(ч·чел), [1, табл. 5.3];

$t_{хл}, t_{хз}$ – температура водопроводной воды в отопительный и летний периоды, °С ($t_{хз}$ =5 °С; $t_{хл}$ =15 °С);

β – коэффициент, учитывающий снижение расхода горячей воды в летний период; при отсутствии данных принимается равным 0,8 (для курортных и южных городов 1,0);

η_o – к.п.д. отопительной системы;

$K_{цгв}$ – коэффициент охвата ЦГВ (см. задание).

Потребление газа котельными (ТЭЦ) района, $м^3/ч$:

$$Q_{кот} = Q_{ов} + Q_{гв} + Q_{п.т.}; \tag{2.7}$$

$$Q_{тэц} = K_{тэц}(Q_{ов} + Q_{гв} + Q_{п.т.}), \tag{2.8}$$

где $К_{тэц}$ – коэффициент, учитывающий выработку электроэнергии на ТЭЦ (при отсутствии данных принимается равным 2,0);

$Q_{п.т.}$ – расход газа на выработку пара для технологических нужд промышленности, $м^3/ч$:

$$Q_{п.т.} = \frac{B_{п.т.} \cdot i_п}{Q_н^р \cdot \eta_к} \cdot 10^3, \tag{2.9}$$

где $i_п$ – теплосодержание технологического пара, кДж/кг;

$B_{п.т.}$ – суммарная паропроизводительность котлоагрегатов, вырабатывающих пар для технологических нужд, т/ч.

2.1.4 Промышленное потребление

Расчетный часовой расход газа промышленным предприятием, включающий потребление на технологические нужды, отопление, вентиляцию цехов и подразделений промплощадки, $м^3/ч$:

$$Q_{ППi} = \frac{Q_{ППi}^{год}}{Q_н^р} \times Km, \tag{2.10}$$

где $Q_{ППi}^{год}$ – годовое потребление газа промпредприятием, кДж/год, принимаемое по заданию;

Km – коэффициент часового максимума промпредприятия, [1, табл. 5.11].

При проектировании внутриплощадочной сети газопроводов должно быть известно потребление газа отдельными потребителями, питаемыми от этой сети (цехами, котельными, столовыми и др.), по укрупненным показателям топливопотребления этих потребителей.

Расчетный годовой расход газа на производственные нужды сельских населенных пунктов следует принимать по данным топливопотребления. Годовые расходы теплоты на приготовление кормов и подогрев воды для животных принимается по в соответствии с техническим заданием.

2.1.5 Расчет расхода газа на распределительную сеть

Вначале определяется расчетный расход газа, $м^3/ч$, на распределительную сеть низкого давления, от которой питаются все бытовые, мелкие коммунальные и часть промышленных потребителей, которым необходим газ низкого давления.

$$Q_p^{нд} = K_{персп.}(\sum_{i=1}^{r} Q_{КБi} + Q_{ком}^{м} + Q_{ПП}^{м} + Q_{от}^{мо}), \qquad (2.11)$$

где $K_{персп.}$ – коэффициент, учитывающий перспективное развитие населенного пункта (при отсутствии данных принимается равным 1,3);

r – число бытовых и коммунальных потребителей, питающихся от сети низкого давления;

$Q_{ПП}^{м}$ – мелкие промышленные потребители, питаемые от сети низкого давления, м^3/ч.

В число r коммунально-бытовых потребителей включаются потребители жилых зданий (потребление газа на приготовление пищи, горячей воды и стирку белья в квартирах), предприятия общественного питания, учреждения здравоохранения.

Далее определяются расчетные расходы газа на распределительные сети других ступеней давления (среднего, высокого) $Q_p^{с.д.}; Q_p^{в.д.}; м^3/ч$, путем суммирования расходов всех потребителей, питающихся от сети соответствующей ступени давления (например, котельных, ТЭЦ, хлебозаводов, ГРП, банно-прачечных комбинатов) с учетом перспективного развития населенного пункта.

2.1.6 Гидравлический расчет распределительных газовых сетей низкого давления

Гидравлический расчет многокольцевых сетей включает гидравлическую увязку колец и определение давлений в узлах сети на расчетном режиме газопотребления.

Известно, что для газопроводов низкого давления перепад давления участка

$$\Delta P_{rk} = a_{rk} Q_{rk}^{1,75}, \qquad (2.12)$$

где a_{rk} – коэффициент гидравлического сопротивления участка длиной l_{rk}.

В результате увязки сети должен выполняться второй закон Кирхгофа для всех элементарных колец, а именно:

$$\sum_{\kappa=1}^{n_k} Sqn \cdot \Delta P_{rk} = \sum_{k=1}^{n_k} Sqn \cdot a_{rk} Q_{rk}^{1,75} = 0, \tag{2.13}$$

где n_k – количество участков кольца.

Знак слагаемого (2.13) принимается положительным при совпадении направления течения газа на участке с направлением обхода контура кольца по часовой стрелке, отрицательным – в противоположном случае.

После предварительного потокораспределения и выбора диаметров труб выполняется первый и остается невыполненным второй закон Кирхгофа, то есть для каждого кольца

$$\Delta P_k = \sum_{k=1}^{n_k} \pm \Delta P_{rk.ф.} = \sum_{k=1}^{n_k} \pm a_{rk} Q_{rk}^{1,75}, \tag{2.14}$$

где ΔP_k – невязка по кольцу, Па.

Для выполнения условия гидравлической увязки кольца при ручном счете допускается остаточная невязка по кольцу δP_k, не превышающая 10 %, то есть

$$\delta P_k = \frac{\Delta P_k}{0,5 \sum_{k=1}^{n_k} \left| \Delta P_{rk.ф.} \right|} \times 100\% = \pm 10\%. \tag{2.15}$$

Для увязки колец используется приближенная формула, полученная на основе формулы Лобачева-Кросса [1], позволяющая вычислить величину контурного поправочного расхода $\Delta Q_k, м^3/ч$:

$$\Delta Q_k = \frac{\Delta P_k}{1,75 \sum_{k=1}^{n_k - n_{у.в.}} \left| \frac{\Delta P_{rk.ф.}}{Q_{rk}} \right|}, \tag{2.16}$$

где $n_{у.в.}$ – число участков данного кольца, принадлежащих смежным увязанным кольцам.

Методика гидравлической увязки многокольцевой газовой сети низкого давления

1. Вычисляем кольцевые невязки для каждого кольца ΔP_k и δP_k по формулам (2.14), (2.15) по результатам предварительного потокораспределения. Кольца, для которых выполняется условие (2.15), считаются увязанными.

2. Для неувязанных колец вычисляются ΔQ_k по формуле (2.16).

3. Для увязки выбираем кольцо с наибольшим абсолютным значением ΔQ_k. Вносим поправку в расходы участков данного кольца, за исключением участков, принадлежащих смежным увязанным кольцам (для этих участков расчетный расход не меняется), по формуле

$$Q_{rk}^{(1)} = Q_{rk}^{(0)} \pm \Delta Q_k, \tag{2.17}$$

где $Q_{rk}^{(0)}$ – расчетный расход нулевого приближения (табл. 2.1, ст. 3), $м^3/ч$;

$Q_{rk}^{(1)}$ – исправленный расчетный расход участка первого приближения, $м^3/ч$.

Правило знаков в формуле (2.17) следующее: если кольцевая невязка $\Delta P_k > 0$, то для участков кольца с течением по часовой стрелке ставится знак (-), против часовой – знак (+); если $\Delta P_k < 0$, то для участков с течением по часовой стрелке ставится знак (+), против часовой стрелки – знак (-).

4. Определяем потери давления участков кольца для полученных расходов, $\Delta P_{rk.ф}^{(1)}, Па$, по формуле пересчета

$$\Delta P_{rk.ф}^{(1)} = \Delta P_{rk.ф}^{(0)} \left[\frac{Q_{rk}^{(1)}}{Q_{rk}^{(0)}} \right]^{1,75}, \tag{2.18}$$

где $\Delta P_{rk.ф}^{(0)}$ – потери давления участка, соответствующие $Q_{rk}^{(0)}$ (табл. 2.1, ст. 8), Па.

5. Вычисляем значения δP_k данного и смежных с ним колец. Кольца, для которых выполняется условие (2.15), считаются увязанными.

6. Пересчитываем значение ΔQ_k для колец, смежных с увязываемым, для которых не выполняется условие (2.15), по формуле (2.16) и из всех неувязанных колец сети выбираем для увязки то, у которого ΔQ_k наибольшее по абсолютному значению.

7. Повторяем процедуру увязки выбранного кольца, начиная с пункта 3 и так далее, вплоть до увязки последнего кольца сети. Значения остаточных невязок увязанных колец ΔP_k и δP_k записываются в столбцы 13, 14 а окончательные величины Q_{rk} и ΔP_{rk} – в столбцы 9, 11 (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Результаты гидравлического расчета распределительной сети низкого давления

Номер участков	Длина участка, м	Расчетный расход участка, м³/ч	Гидравлический уклон уч., Па/м	Диаметр участка, мм	Перепад давления уч., Па	Фактическое значение гидр. уклона, Па/м	Результат гидравлической увязки колец						
							Фактический перепад давления уч., Па	Исправленный расход уч., м³/ч	Исправленный диаметр уч., мм	Исправленный перепад давления, Па	Номер колец	Окончат. невязка кольца, Па	% окончат. невязки кольца, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

2.1.7 Расчет распределительных газовых сетей средней (высокой) ступени давления

Распределительная сеть средней (высокой) ступени давления чаще выполняется незакольцованной (тупиковой), к ней присоединяются сосредоточенные крупные потребители газа, как например котельные (ТЭЦ), промпредприятия, ГРП более низких ступеней давления, банно-прачечные комбинаты, хлебозаводы и т. д., потребляющие газ данного давления.

При трассировке сетей среднего (высокого) давления следует руководствоваться указаниями [2, п. 4.14], согласно которым допускается укладка газопроводов низкого и среднего (высокого) давлений в одной траншее.

Определение расчетных расходов участков сети (расчет потокораспределения) при одном узле писания (ГРС) производятся путем последовательного суммирования расходов потребителей, питающихся в конце участка. Так как путевая составляющая расхода равна нулю, то, следовательно, расчетный расход по длине участка не меняется.

Гидравлические потери давления участка сети:

$$\Delta P_{rk} = P_r^2 - P_k^2, \tag{2.19}$$

где P_r, P_k – абсолютное давление соответственно в начальном и конечном (по направлению движения газа) узлах участка, МПа.

Гидравлический уклон участка сети $R_{rk}, (МПа)^2 / м$, без учета местных потерь давления:

$$R_{rk} = \frac{P_r^2 - P_k^2}{1,1 l_{rk}}. \qquad (2.20)$$

При известном давлении в начале участка P_r, используя формулы (2.19), (2.20), получаем выражение для определения давления в конце участка, $P_k, МПа$:

$$P_k = \sqrt{P_r^2 - 1,1 R_{rk}\ l_{rk}}. \qquad (2.21)$$

Рассмотрим методику расчета незакольцованной распределительной сети среднего (высокого) давления.

1. При известном из задания давлении перед городом (после ГРС) принимаем (либо берем в соответствии с исходными данными на проектирование) давления газа перед потребителями.

2. Выбираем главное направление от узла питания до конечного, наиболее удаленного узла, и определяем средний гидравлический уклон по этому направлению.

3. Последовательно рассматривая каждой участок выбранного направления по формуле (2.21), вычисляем неизвестные давления в узлах. Расчет начинается с участка, начальным узлом которого является узел питания с заданным давлением $P_r = P_{ГРС}$. Начальным узлом следующего участка является конечный узел предыдущего участка, давление в котором уже определено.

4. После определения давлений при вычисленных расчетных расходах участков выбираем диаметры трубопроводов с помощью номограммы приложения для удельных потерь газопроводов среднего давления рассматриваемого участка.

5. Проводим поверочный расчет, целью которого является уточнение давлений в узлах при выбранных стандартных диаметрах труб, отличающихся от расчетных.

6. Пересчитываем значение $P_{кф}$ узла при неизменной (вычисленной из расчета предыдущего участка) величине $P_{rф}$ по формуле

$$P_{кф} = \sqrt{P_{r.ф.}^2 - \Delta P_{rk.ф.}}. \qquad (2.22)$$

Подобный пересчет производим для всех узлов сети (исключая узел питания), в том числе и для конечных узлов перед потребителями.

В случае, если давление газа перед потребителем окажется за пределами допустимого, необходимо изменить соответствующий диаметр, в чем собственно и состоит гидравлическая увязка разветвленной сети. На этом гидравлический расчет сети заканчивается. Результаты расчета записываются в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результаты гидравлического расчета распределительной сети среднего (высокого) давления

Номер участка	Длина участка $l_{rk}, м$	Расчетный расход участка $Q_{rk}, м^3/ч$	Стандартный диаметр участка $d_H x S$, *мм*	Гидравлические потери давления участка $\Delta P_{rk}, МПа^2$	Абсолютное давление в начале участка P_r, *МПа*	Абсолютное давление в конце участка P_k, *МПа*
1	2	3	4	5	6	7

2.1.8 Выбор оборудования сетевого регуляторного пункта

После расчета сетей низкой и средней (высокой) ступени давления появляется возможность уточнения типа регуляторного пункта, питающего сеть низкого давления, по величине пропускной способности регулятора давления газа.

Для регуляторных пунктов с технологической линией на базе регуляторов РД-32М и РД-50М пропускная способность Q_p , *м³/ч,* определяется по формулам:
при $(P_{вх} / P_{вых}) \le 2$

$$Q_p = \frac{Q_n}{32} 10^3 \sqrt{(P_{вх} - P_{вых}) P_{вых} / \rho_Г}; \qquad (2.23)$$

при $(P_{вх} / P_{вых}) > 2$

$$Q_p = 15{,}4 Q_n P_{вх} / \sqrt{\rho_г}\ , \qquad (2.24)$$

где $P_{вх}$ – абсолютное давление газа перед регулятором, МПа, которое приближенно можно принять равным абсолютному давлению перед регуляторным пунктом (табл. 2.2);

$P_{вых}$ – абсолютное давление газа после регулятора (приближенно можно принять равным абсолютному давлению в узле питания после ГРП), МПа;

$\rho_Г$ – плотность газа, кг/м³;

Q_n – паспортная пропускная способность регулятора, м³/ч, принимаемая по данным (табл. 2.3).

Для регуляторных пунктов с технологической линией на базе регуляторов типа РДУК и РДБК:

$$Q_p = 1595 f\ P_{вх} \varphi \alpha \sqrt{\frac{1}{\rho_Г}}, \qquad (2.25)$$

где f – площадь седла клапана, см^{2,} (табл. 2.4);

α – коэффициент расхода (табл. 2.4);

φ – коэффициент, зависящий от отношения $P_{вых}/P_{вх}$ (рис. 2.1).

Таблица 2.3

Технические данные регуляторов типа РД

Технические данные	РД-32М			РД-50М			
Диаметр клапанного отверстия, мм	4	6	10	11	15	20	25
Давление на входе, *$P_{вх}$, МПа*	1,1-1,7	0,4-1,1	0,105-0,4	0,7-1,3	0,4-0,7	0,2-0,4	0,1-0,2
Паспортная пропускная способность, *$Q_п$, м^3/ч*	4	7,8	12	30	51	78	100

Таблица 2.4

Технические данные регуляторов типа РДУК и РДБК

Параметры	РДБК1-25	РДУК2-50 РДБК1-50	РДУК2-100 РДБК1-100		РДУК2-200
	Диаметр клапана, мм				
	20	35	50	70	105
Площадь седла клапана (с учетом площади штока), *f*, см^2	3,14	9,6	19,6	38,4	86,5
Коэффициент расхода, α	0,65	0,6	0,42	0,4	0,4

Расчетная пропускная способность регуляторного пункта должна быть больше номинальной не менее, чем на 15-20 %, т.е.

$$Q_p - Q_{pn} \geq 15+20\ \%.$$

Здесь Q_{pn} – номинальная пропускная способность регуляторного пункта.

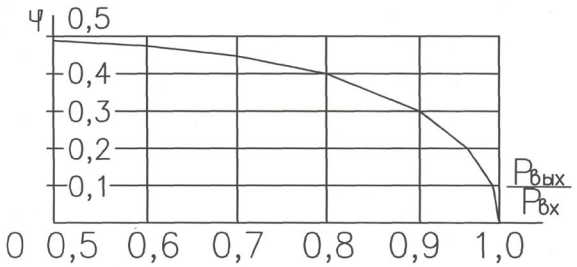

Рис. 2.1. График зависимости φ от отношения давлений $P_{вых}/P_{вх}$ для природного газа

Тип и пропускная способность фильтров могут быть определены в соответствии с рекомендациями [1, разд. 8]. При размещении регуляторных пунктов следует руководствоваться рекомендациями [2, п.п. 5.4-5.14].

2.2 Общие положения по выполнению курсовой работы

Курсовая работа предполагает расчет распределительных систем газоснабжения населенного пункта из полиэтиленовых труб. По мнению руководителя курсовой работы задания могут варьироваться в зависимости от предьявляемых требований. Пропускная способность полиэтиленовых газопроводов должна приниматься из условий создания при максимально допустимых потерях давления газа наиболее экономичной и надежной в эксплуатации системы, обеспечивающей устойчивость работы ГРП и газорегуляторных установок (ГРУ), а также работы горелок потребителей в допустимых диапазонах давления газа.

Расчет диаметра газопровода следует выполнять, как правило, на компьютере с оптимальным распределением расчетной потери давления между участками сети.

При невозможности или нецелесообразности выполнения расчета на компьютере (отсутствие соответствующей программы, отдельные участки газопроводов, и т.п.) гидравлический расчет допускается производить по приведенным ниже формулам или по номограммам.

Расчетные суммарные потери давления газа в газопроводах низкого давления (от источника газоснабжения до наиболее удаленного прибора) следует принимать не более 180 даПа, в том числе в распределительных газопроводах 120даПа, в газопроводах-вводах и внутренних газопроводах – 60 даПа.

Падение давления на участке газовой сети следует определять:

– для сетей среднего и высокого давлений по формуле

$$P_н^2 - P_k^2 = \frac{P_o}{81\pi^2}\lambda\frac{Q_o^2}{d^5}\rho_0 l = 1{,}2687\cdot 10^{-4}\lambda\frac{Q_0^2}{d^5}\rho_0 l \quad , \qquad (2.26)$$

где $P_н$ - абсолютное давление в начале газопровода, МПа;

Рк - абсолютное давление в конце газопровода, МПа;

P_0=0,101325МПа;

λ - коэффициент гидравлического трения;

l - расчетная длина газопровода постоянного диаметра, м;

d- внутренний диаметр газопровода, см;

ρ_o -плотность газа при нормальных условиях, кг/м^3;

Q_o - расход газа, м^3/ч, при нормальных условиях;

– для сетей низкого давления по формуле

$$P_н - P_к = \frac{10^6}{162\pi^2}\lambda\frac{Q_0^2}{d^5}\rho_0 l = 626{,}1\lambda\frac{Q_0^2}{d^5}\rho_0 l \quad , \qquad (2.27)$$

где $P_н$ - давление в начале газопровода, Па;

$P_к$ - давление в конце газопровода, Па;

λ , l, d, ρ_o, Q_o - обозначения те же, что и в формуле (2.26).

Коэффициент гидравлического трения λ следует определять в зависимости от режима движения газа по газопроводу, характеризуемого числом Рейнольдса:

$$\mathrm{Re} = \frac{Q_O}{9\pi d\nu} = 0{,}0354\frac{Q_O}{d\nu} \quad , \qquad (2.28)$$

где ν - коэффициент кинематической вязкости газа, $м^2/с$, при нормальных условиях,

Q_o, d - обозначения те же, что и в формуле (2.26).

$$\mathrm{Re}(\frac{n}{d}) < 23 \quad , \qquad (2.29)$$

где Re - число Рейнольдса;

n - эквивалентная абсолютная шероховатость внутренней поверхности стенки трубы, принимаемая равной для новых стальных - 0,01 см , для бывших в эксплуатации стальных - 0,1 см, для полиэтиленовых независимо от времени эксплуатации - 0,0007см.;

d - обозначения те же, что и в формуле (2.26).

В зависимости от значения Re коэффициент гидравлического трения λ, следует определять:

- для ламинарного режима движения газа Re < 2000

$$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}; \qquad (2.30)$$

- для критического режима движения газа Re = 2000-4000:

$$\lambda = 0{,}0025\ \mathrm{Re}^{0{,}333}; \qquad (2.31)$$

- при 4000 <Re< 100000 по формуле

$$\lambda = \frac{0{,}3164}{\mathrm{Re}^{0{,}25}} \quad ; \qquad (2.32)$$

- при Re>100000:

$$\lambda = \frac{1}{1{,}281\lg \mathrm{Re} - 1{,}64)^2} \quad ; \qquad (2.33)$$

- для шероховатых стенок при Re>4000

$$\lambda = 0{,}11(\frac{n}{d} + \frac{68}{\mathrm{Re}})^{0{,}25}, \qquad (2.34)$$

где n - обозначения то же что и в формуле (2.29);

d - обозначения то же, что и в формуле (2.26).

Расчетный расход газа на участках распределительных наружных газопроводов низкого давления, имеющих путевые расходы газа, следует определять, как сумму транзитного и 0,5 путевого расхода.

Падение давления в местных сопротивлениях (колена, тройники, запорная арматура и др.) допускается учитывать путем увеличения фактической длины газопровода на 5-10%.

При выполнении гидравлического расчета газопроводов приведенным по формулам (2.26)-(2.34), а также по различным методикам и программам для электронно-вычислительных машин, составленным на основе этих формул, расчетный внутренний диаметр газопровода следует предварительно определять по формуле

$$d_p = \sqrt[m1]{\frac{AB\rho_o Q_o^m}{\Delta P_{уд}}}, \qquad (2.35)$$

где dp - расчетный диаметр, см;

коэффициенты A, B, m, m1 определяются по таблицам 2.5 и 2.6 в зависимости от категории сети (по давлению) и материала газопровода;

Q_o - расчетный расход газа, $м^3$/ч. при нормальных условиях;

$\Delta P_{уд}$ -удельные потери давления, (Па/м - для сетей низкого давления, МПа/м - для сетей среднего и высокого давления) определяемые по формуле

$$\Delta P_{уд} = \frac{\Delta P_{доп}}{1{,}1L}, \qquad (2.36)$$

где $\Delta P_{доп}$ -допустимые потери давления, (Па - для сетей низкого давления, МПа/м - для сетей среднего и высокого давления);

L - расстояние до самой удаленной точки, м.

Таблица 2.5

Категория сети	А
Сети низкого давления	$10^6/(162\pi^2)=626$
Сети среднего и высокого давления	$Po/(P_т\ 162\pi^2)$; Po=0,101325МПа, $P_т$ - среднее давление газа (абсолютное) в сети, МПа;

Таблица 2.6

Материал	B	m	m1
сталь	0,022	2	5
полиэтилен	$0{,}3164(9\pi\nu)^{0{,}25}=0{,}0446$, ν - кинематическая вязкость газа при нормальных условиях	1,75	4,75

Внутренний диаметр газопровода следует принимать из стандартного ряда внутренних диаметров трубопроводов ближайший больший - для стальных газопроводов и меньший - для полиэтиленовых.

2.2.1 Пример расчета тупиковой газораспределительной сети

Приведем пример одного из вариантов расчета тупиковой газораспределительной сети. Расчет выполняется как вручную, так и на ЭВМ с помощью программы «РАСГАЗ». В качестве исходных данных используется структура сети, расчетный расход газа на сеть, длины участков, категория давления (рис. 2.2). Формулы гидравлического расчета газопроводов приведены выше и в методических указаниях по расчету газораспределительной сети [13].

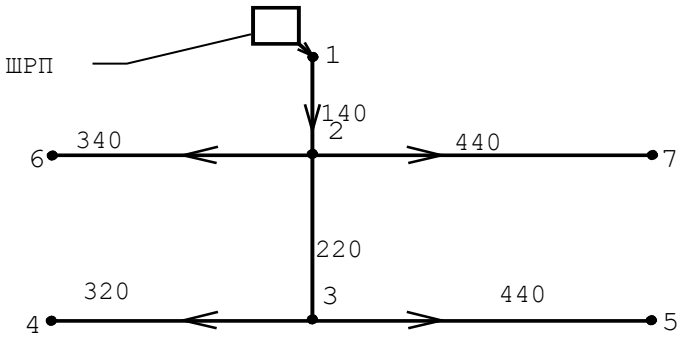

Рис. 2.2. Тупиковая газораспределительная сеть.

1. Расчетный расход газа на сеть низкого давления $Q_{ШРП}$=1377,4 нм^3/ч
2. Определение удельного путевого расхода

$q=Q_{шрп}/\sum L$=1377,4/1900=0,725 нм^3/ч·м

3. Определение путевых расходов участков

$Q_{п1\text{-}2}$=0,725·140=101,5 нм^3/ч; $Q_{п2\text{-}6}$=0,725·340=246,5 нм^3/ч
$Q_{п2\text{-}7}$=0,725·440=319,0 нм^3/ч ; $Q_{п2\text{-}3}$=0,725·220=159,5 нм^3/ч
$Q_{п3\text{-}4}$=0,725·320=232,0 нм^3/ч; $Q_{п3\text{-}5}$=0,725·440=319,0 нм^3/ч

4. Определение транзитных расходов участков

$Q_{тр3-4}$=0 нм^3/ч; $Q_{тр3-5}$=0 нм^3/ч ; $Q_{тр2-3}$= $Q_{п3-5}$+$Q_{п3-4}$ =232+319=551,0 нм^3/ч

$Q_{тр2-6}$=0 нм^3/ч; $Q_{тр2-7}$=0нм^3/ч;

$Q_{тр1-2}$= $Q_{тр2-3}$+$Q_{п2-3}$+$Q_{п2-7}$+$Q_{п2-6}$ =551,0+159,5+246,5+319,0=1276 нм^3/ч

5. Определение расчетных расходов участков

$Q_{р3-4}$=0,5·232,0=116 нм^3/ч; $Q_{тр3-5}$=0,5·319,0=159,5 нм^3/ч

$Q_{р2-3}$= 0,5$Q_{п2-3}$+$Q_{тр2-3}$ =0,5·159,5+551,0=630,75 нм^3/ч

$Q_{р2-6}$=0,5·246,5=123,25 нм^3/ч; $Q_{р2-7}$=0,5·319=159,5 нм^3/ч

$Q_{р1-2}$= 0,5$Q_{п1-2}$+$Q_{тр1-2}$=0,5·101,5+1276=1326,75 нм^3/ч

Проверка: $Q_{р1-2}$+$Q_{узл}$= $Q_{ШРП}$

1326,75+0,5·101,5=1377,5 нм^3/ч

δ=(1377,5-1377,4)/1377,5·100%=0,0007%

6. Определение гидравлического уклона

$R^{1-2-3-5}$=1080/(140+220+440)=1,35 Па/м

R^{1-2-6}=(1080-1,35·140)/340=2,62 Па/м

R^{1-2-7}=(1080-1,35·140)/440=2,025 Па/м

$R^{1-2-3-4}$=[1080-1,35·(140+220)]/320=1,856 Па/м

По расчетным расходам на участках и гидравлическим уклонам определяем стандартные диаметры участков сети с использованием номограммы (в данном случае низкого давления). Далее уточняем фактические гидравлические уклоны в соответствии с выбранными стандартными диаметрами (приведены в сортаменте на ПЭ трубы).

7. Определение потерь давления на участках сети:

Δp_{3-5}=***1,35***·440=594 Па; Δp_{2-3}=***1,35***·220=297 Па; Δp_{1-2}=***1,35***·140=189 Па

Δp_{2-6}=***2,62***·340=890,8 Па; Δp_{2-7}=***2,025***·440=891 Па; Δp_{3-4}=***1,856***·320=594 Па

8. Определение давлений в конечных точках участков:

$p_{к1-2}$=3000-189=2811 Па; $pк_{2-3}$=2811-297=2514 Па; $pк_{3-5}$=2514-594=1920 Па

$p_{к2-6}$=2811-890,8=1920,2 Па; $p_{к2-7}$=2811-891=1920 Па; $p_{к3-4}$=2514-594=1920 Па

В результате расчета при помощи номограмм [2] были подобраны диаметры на участках газораспределительной сети. Результаты расчета см. табл. 2.7.

Таблица 2.7

Результаты гидравлического расчета газораспределительной сети низкого давления с помощью ручного и машинного счета.

№ уч.	Длина, м	Qп, м^3/ч	Qтр, м^3/ч	Qр, м^3/ч	R, Па/м	Δр, Па	$p_к$, Па	СП 42-101-2003		номогр. dполиэт
								$d_{ст}$	$d_{пл}$	
1-2	140	101,5	1276	1326,8	1,35	189	2811	273	225	**225**
2-3	220	159,5	551	630,75	1,35	297	2514	194	180	**160**
3-5	440	319	0	159,5	1,35	594	1920	89	90	**75**
2-6	340	246,5	0	123,25	2,62	890,8	1920,2	76	75	**60**
2-7	440	319	0	159,5	2,03	891	1920	89	90	**75**
3-4	320	232	0	116,0	1,86	594	1920	89	90	**75**