

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

В. В. Артихович  
Е. А. Волчек  
А. С. Шибeko

# РАСЧЕТ ГАЗОПРОВОДОВ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ

Учебно-методическое пособие  
по курсовому и дипломному проектированию для студентов  
специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение,  
вентиляция и охрана воздушного бассейна»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
по образованию в области строительства и архитектуры*

Минск  
БНТУ  
2019

УДК 696.2(075.8)

ББК 38.763я7

А86

**Р е ц е н з е н т ы:**

кафедра «Энергетика» Белорусского государственного  
аграрного технического университета  
(зав. кафедрой канд. техн. наук, доц. *В. А. Коротинский*);  
*Е. Н. Тишкова*

**Артихович, В. В.**

А86 Расчет газопроводов из полиэтиленовых труб : учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 1-70 04 02 «Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» / В. В. Артихович, Е. А. Волчек, А. С. Шибeko. – Минск: БНТУ, 2019. – 115 с.  
ISBN 978-985-550-990-6.

Издание предназначено для студентов специальности 1-70 04 02 дневной и заочной формы получения образования и рекомендуется к использованию при выполнении курсового и дипломного проектов по газоснабжению. В учебно-методическом пособии рассматриваются вопросы использования полиэтиленовых труб для строительства распределительных газопроводов. Приводятся формулы для определения потерь давления в полиэтиленовых газопроводах низкого, среднего и высокого давления, а также таблицы и номограммы, построенные по этим формулам. Излагается методика расчета разветвленных и кольцевых газовых сетей различного давления с путевыми и сосредоточенными расходами, приводятся примеры расчета таких сетей в соответствии с программой дисциплины «Газоснабжение», утвержденной Учебно-методическим объединением вузов Республики Беларусь по образованию в области строительства и архитектуры.

Учебно-методическое пособие может быть полезным для работников газовых проектных организаций.

УДК 696.2(075.8)

ББК 38.763я7

ISBN 978-985-550-990-6

© Артихович В. В., Волчек Е. А.,  
Шибeko А. С., 2019

© Белорусский национальный  
технический университет, 2019

## Глава 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Длительный опыт эксплуатации стальных газопроводов показал, что в большинстве случаев нормативный срок их службы, составляющий 40 лет, не выдерживается.

Альтернативой стальным трубам стали трубы из полимерных материалов. Наиболее широкое применение в строительстве распределительных газопроводов из неметаллических труб получили полиэтиленовые, которые обладают рядом *положительных качеств* по сравнению со стальными:

- высокой коррозионной стойкостью к внешней среде и транспортируемому газу;
- незначительным весом и легкой обработкой труб;
- повышенной пропускной способностью (приблизительно на 20 %) благодаря гладкой поверхности (эквивалентная шероховатость стенки стальной трубы  $k_s = 0,01$  см, полиэтиленовой –  $k_s = 0,002$  или  $0,0007$  см);
- достаточно высокой прочностью при эластичности и гибкости;
- низкой газопроницаемостью;
- простотой и надежностью соединения;
- легкостью монтажа.

*К недостаткам* полиэтиленовых труб следует отнести:

- горючесть;
- изменение свойств под воздействием прямых солнечных лучей;
- деструкцию материала при температуре выше  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- повышенную окисляемость при нагревании;
- высокий коэффициент линейного расширения (в интервале температур  $20\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- усталостные процессы.

В последние годы в Республике Беларусь наблюдается устойчивая тенденция к перераспределению объемов строящихся газопроводов в пользу полиэтиленовых труб.

Полиэтилен производится методом полимеризации углеводородного газа этилена.

В зависимости от плотности различают полиэтилен низкой, средней и высокой плотности (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Значения плотности полиэтиленового сырья

Градация полиэтилена по плотности	Международное обозначение	Значение плотности исходного сырья, г/см <sup>3</sup>
Низкая	<i>PELD</i>	0,910–0,925
Средняя	<i>PEMD</i>	0,926–0,940
Высокая	<i>PEHD</i>	0,941–0,965

Для газопроводов используются полиэтилены средней и высокой плотности.

Квалификация трубных марок полиэтилена осуществляется в соответствии с международными стандартами ISO 12162 и ISO 9080 и определяет минимальную длительную прочность полиэтиленовых труб *MRS* (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Длительная прочность полиэтилена по классификации *MRS*

Классификация полиэтилена	<i>MSR</i> , МПа	Длительная прочность, МПа	Максимальное давление ( <i>MOP</i> ) в трубах <i>SDR</i> 11 при коэффициенте запаса прочности $C = 2,0$
ПЭ 63	6,3	6,3–7,99	0,63
ПЭ 80	8,0	8,0–9,99	0,80
ПЭ 100	10,0	10,0–11,19	1,00

Значение *MSR* используется для определения максимального рабочего давления в трубопроводе *MOP* (МПа), допускаемого для постоянной эксплуатации. Величина этого давления для конкретной марки полиэтилена при принятых при проектировании коэффициенте запаса прочности *C*, номинальном наружном диаметре *d* (мм), и толщине стенки трубы  $\delta$  (мм), рассчитывается по формуле

$$MOP = \frac{2MRS}{C(SDR-1)},$$

где  $MOP$  – максимальное рабочее давление для полиэтиленовых трубопроводов, МПа;

$MRS$  – минимальная длительная прочность, МПа;

$SDR$  – стандартное размерное отношение – отношение номинального наружного диаметра трубы  $d$  (мм) к номинальной толщине стенки  $\delta$ , мм;

$C$  – коэффициент запаса прочности, зависящий от назначения трубопровода и условий эксплуатации.

Для строительства подземных газопроводов должны применяться трубы, соответствующие требованиям СТБ ГОСТ Р 50838. Трубы для газопроводов изготавливаются из полиэтилена с минимальной длительной прочностью  $MRS$  8,0 МПа (ПЭ 80) и  $MRS$  10,0 МПа (ПЭ 100). Трубы ПЭ 63 для строительства новых газопроводов не применяются.

Тип полиэтилена и  $SDR$  трубы принимаются по табл. 1.3 в зависимости от максимального рабочего давления в газопроводе, условий эксплуатации и принятого с их учетом расчетного значения коэффициента запаса прочности  $C$ .

Таблица 1.3

Марка полиэтилена и  $SDR$  трубы в зависимости от максимального рабочего давления и коэффициента запаса прочности  $C$

Максимальное рабочее давление $MOP$ , МПа	Расчетное значение коэффициента запаса прочности $C$ для максимального рабочего давления $MOP$									
	Трубы из ПЭ 80 с $SDR$					Трубы из ПЭ 100 с $SDR$				
	17,6	17	13,6	11	9	17,6	17	13,6	11	9
0,3	3,2	3,3	4,2	5,3	6,7	4,0	4,2	5,3	6,7	8,3
0,4	2,4	2,5	3,2	4,0	5,0	3,0	3,1	4,0	5,0	6,2
0,6	–	–	2,1	2,7	3,3	2,0	2,1	2,6	3,3	4,2
0,8	–	–	–	2,0	2,5	–	–	–	2,5	3,1
1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,5
1,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,1

- Полиэтиленовые трубы следует применять при строительстве:
- межпоселковых газопроводов давлением не более 1,2 МПа;
  - газопроводов от газораспределительных станций (ГРС) до линии перспективной застройки населенного пункта давлением не более 1,2 МПа;
  - распределительных газопроводов давлением не более 0,6 МПа на территории населенного пункта;
  - вводов в жилые дома давлением не более 0,6 МПа при газификации кварталов и районов индивидуального жилищного строительства, жилого фонда в городах, поселках городского типа и сельских населенных пунктах.

Область применения полиэтиленовых труб для прокладки газопроводов в зависимости от состава и давления газа следует принимать в соответствии с табл. 1.4.

Таблица 1.4

Область применения полиэтиленовых труб  
при строительстве газопроводов

Давление газа (МПа) не более, для труб		Область применения полиэтиленовых труб	Газы, допустимые для транспортирования
ПЭ 80	ПЭ 100		
0,3	0,6	Газопроводы на территории городов и других населенных пунктов, в том числе для реконструкции подземных стальных газопроводов	Природные газы по ГОСТ 5542, а также газовоздушные смеси, не содержащие ароматических и хлорированных углеводородов
0,6	1,2	Газопроводы между населенными пунктами, в том числе для реконструкции подземных стальных газопроводов	Природные газы по ГОСТ 5542, а также газовоздушные смеси, не содержащие ароматических и хлорированных углеводородов

Типоразмеры труб, применяемые для строительства газопроводов, приведены в табл. 1.5.

Трубы больших диаметров (355, 400 мм и т. д.) и других значений *SDR* могут использоваться только при наличии специального разрешения Госпромнадзора Республики Беларусь.

Таблица 1.5

Стандартные условные и наружные диаметры  
полиэтиленовых труб в соответствии с СТБ ГОСТ Р 50838

Наружный диаметр, мм		<i>SDR</i> 17,6		<i>SDR</i> 17		<i>SDR</i> 13,6		<i>SDR</i> 11		<i>SDR</i> 9		Овальность после экструзии, не более
Номинальный	Предельное отклонение среднего наружного диаметра	Толщина стенки, мм										
		Номинальная	Предельное отклонение	Номинальная	Предельное отклонение	Номинальная	Предельное отклонение	Номинальная	Предельное отклонение	Номинальная	Предельное отклонение	
20	+0,3	-	-	-	-	-	-	2,3*	+0,4	3,0*	+0,4	1,2
25	+0,3	-	-	-	-	-	-	2,3	+0,4	3,0*	+0,4	1,2
32	+0,3	-	-	-	-	2,4	+0,4	3,0	+0,4	3,6	+0,5	1,3
40	+0,4	2,3	+0,4	2,4	+0,4	3,0	+0,4	3,7	+0,5	4,5	+0,6	1,4
50	+0,4	2,9	+0,4	3,0	+0,4	3,7	+0,5	4,6	+0,6	5,6	+0,7	1,4
63	+0,4	3,6	+0,5	3,8	+0,5	4,7	+0,6	5,8	+0,7	7,1	+0,8	1,5
75	+0,5	4,3	+0,6	4,5	+0,6	5,6	+0,7	6,8	+0,8	8,4	+1,0	1,6
90	+0,6	5,2	+0,7	5,4	+0,7	6,7	+0,8	8,2	+1,0	10,1	+1,2	1,8
110	+0,7	6,3	+0,8	6,6	+0,8	8,1	+1,0	10,0	+1,1	12,3	+1,4	2,2
125	+0,8	7,1	+0,9	7,4	+0,9	9,2	+1,1	11,4	+1,3	14,0	+1,5	2,5
140	+0,9	8,0	+0,9	8,3	+1,0	10,3	+1,2	12,7	+1,4	15,7	+1,7	2,8
160	+1,0	9,1	+1,1	9,5	+1,1	11,8	+1,3	14,6	+1,6	17,9	+1,9	3,2
180	+1,1	10,3	+1,2	10,7	+1,2	13,3	+1,5	16,4	+1,8	20,1	+2,2	3,6
200	+1,2	11,4	+1,3	11,9	+1,3	14,7	+1,6	18,2	+2,0	22,4	+2,4	4,0
225	+1,4	12,8	+1,4	13,4	+1,5	16,6	+1,8	20,5	+2,2	25,2	+2,7	4,5
250	+1,5	14,2	+1,6	14,8	+1,6	18,4	+2,0	22,7	+2,4	27,9	+2,9	5,0
280	+1,7	15,9	+1,7	16,6	+1,8	20,6	+2,2	25,4	+2,7	31,3	+3,3	9,8
315	+1,9	17,9	+1,9	18,7	+2,0	23,2	+2,5	28,6	+3,0	35,2	+3,7	11,1

Примечания.

1. Для значений, отмеченных знаком \*, расчетная толщина стенки округлена до 2,3 мм для *SDR* 11 и до 3,0 мм – для *SDR* 9.

2. Номинальный наружный диаметр соответствует минимальному среднему наружному диаметру.

## Глава 2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГАЗОПРОВОДОВ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ

Распределительные газопроводы низкого, среднего и высокого давления работают в турбулентном режиме.

Газопроводы низкого давления работают в области гидравлически гладких труб. Для определения потерь давления в полиэтиленовых газопроводах низкого давления с абсолютной эквивалентной шероховатостью внутренней поверхности стенки трубы  $k_s = 0,002$  см может быть использована следующая формула:

$$\Delta P = 43,39 \frac{V_p^{1,75}}{d^{4,75}} \rho_0 v^{0,25} L_p, \text{ Па}, \quad (2.1)$$

где  $\Delta P$  – потери давления на участке газопровода, Па;

$V_p$  – расчетный расход газа, м<sup>3</sup>/ч;

$d$  – внутренний диаметр газопровода, см;

$\rho_0$  – плотность газа при нормальных условиях, кг/м<sup>3</sup>;

$v$  – коэффициент кинематической вязкости газа, м<sup>2</sup>/с;

$L_p$  – расчетная длина участка газопровода, м.

Распределительные газопроводы среднего и высокого давления работают в режиме гидравлически шероховатых труб. Для расчета потерь давления в газопроводах среднего и высокого давления из полиэтиленовых труб с  $k_s = 0,002$  см может использоваться выражение

$$P_n^2 - P_k^2 = 2,97 \cdot 10^{-3} \frac{V_p^2}{d^{5,25}} \rho_0 L_p, \text{ Па}, \quad (2.2)$$

где  $P_n$  и  $P_k$  – соответственно начальное и конечное абсолютные давления на участке газопровода, МПа;

$L_p$  – расчетная длина участка, км.

По выражениям (2.1) и (2.2) определены удельные  $R = \Delta P/L_p$  (Па/м) и среднеквадратичные  $A = (P_n^2 - P_k^2) / L_p$  (МПа<sup>2</sup>/км) потери давления для полиэтиленовых газопроводов с  $k_s = 0,002$  см диаметром от 20 до 400 мм при различных расходах газа. По результатам расчетов составлены таблицы (прил. А–Г) и построены номограммы для гидравлического расчета полиэтиленовых газопроводов всех давлений с эквивалентной абсолютной шероховатостью внутренней поверхности стенки трубы  $k_s = 0,002$  см (рис. 2.1–2.4).



При расчете газопроводов из полиэтиленовых труб диаметром до 225 мм (*SDR 11*) с  $k_s = 0,0007$  см могут быть использованы номограммы, приведенные в российском «Своде правил по проектированию и строительству распределительных систем» [6] и прил. Д.

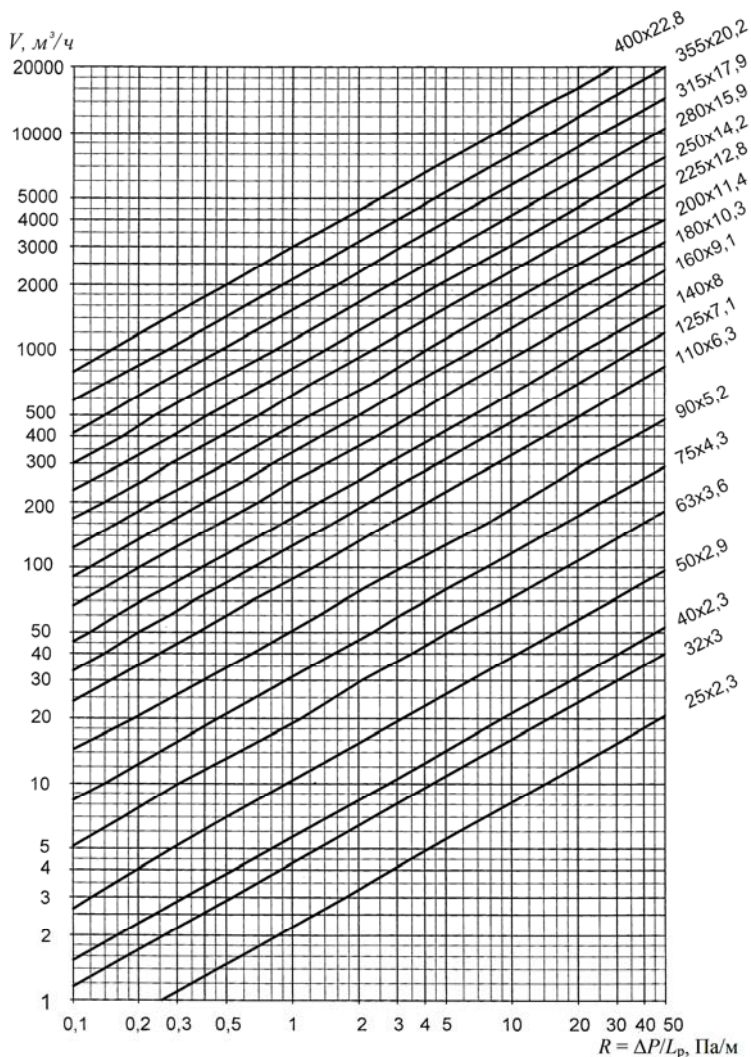


Рис. 2.1. Номограмма для определения потерь давления в газопроводах низкого давления из полиэтиленовых труб

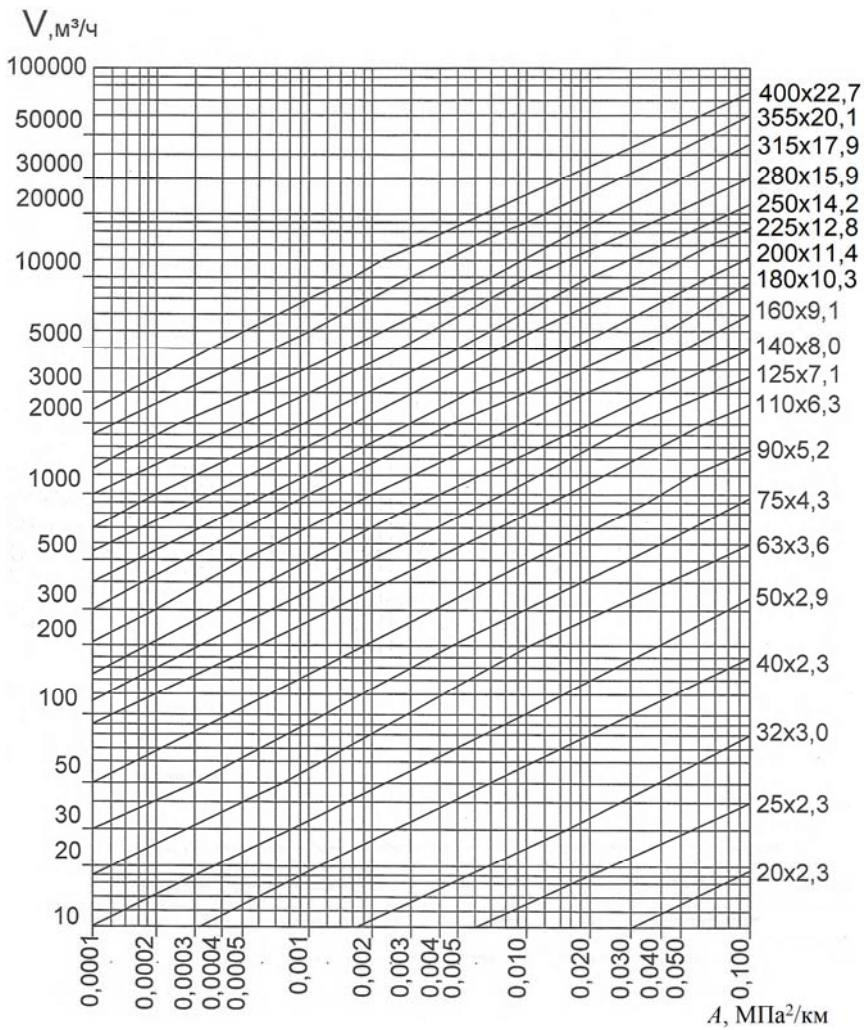


Рис. 2.2. Номограмма для определения потерь давления в газопроводах среднего давления из полиэтиленовых труб

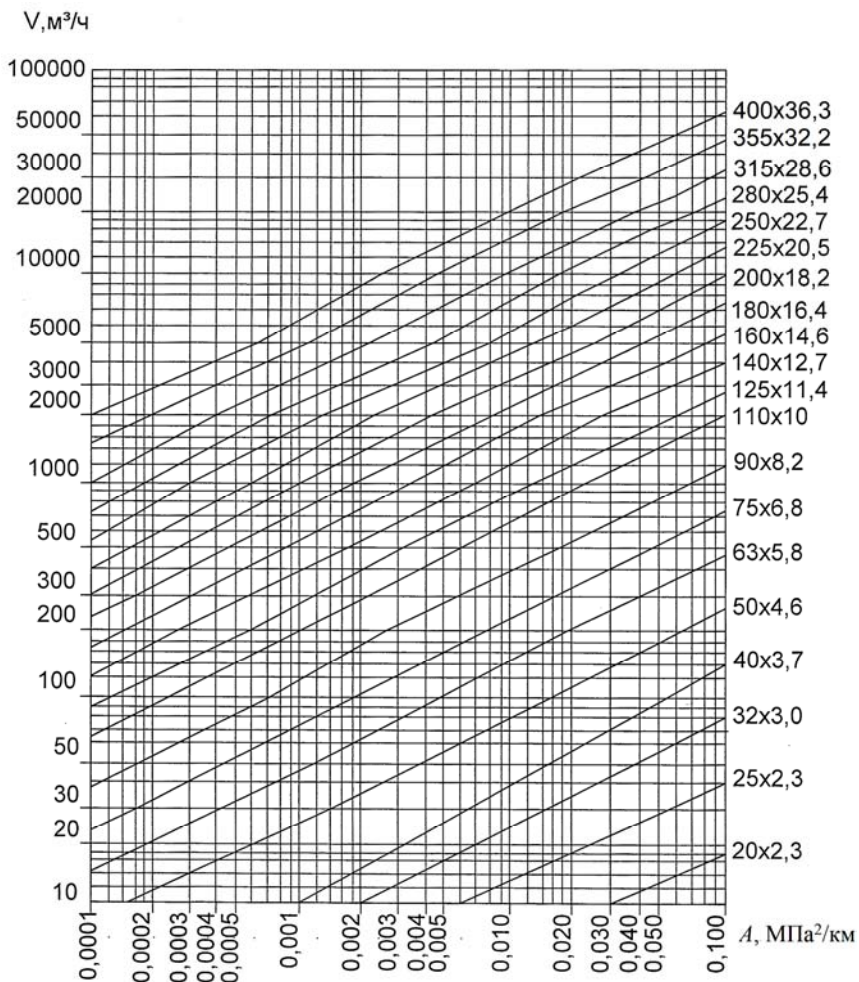


Рис. 2.3. Номограмма для определения потерь давления в газопроводах высокого давления из полиэтиленовых труб (SDR 11)

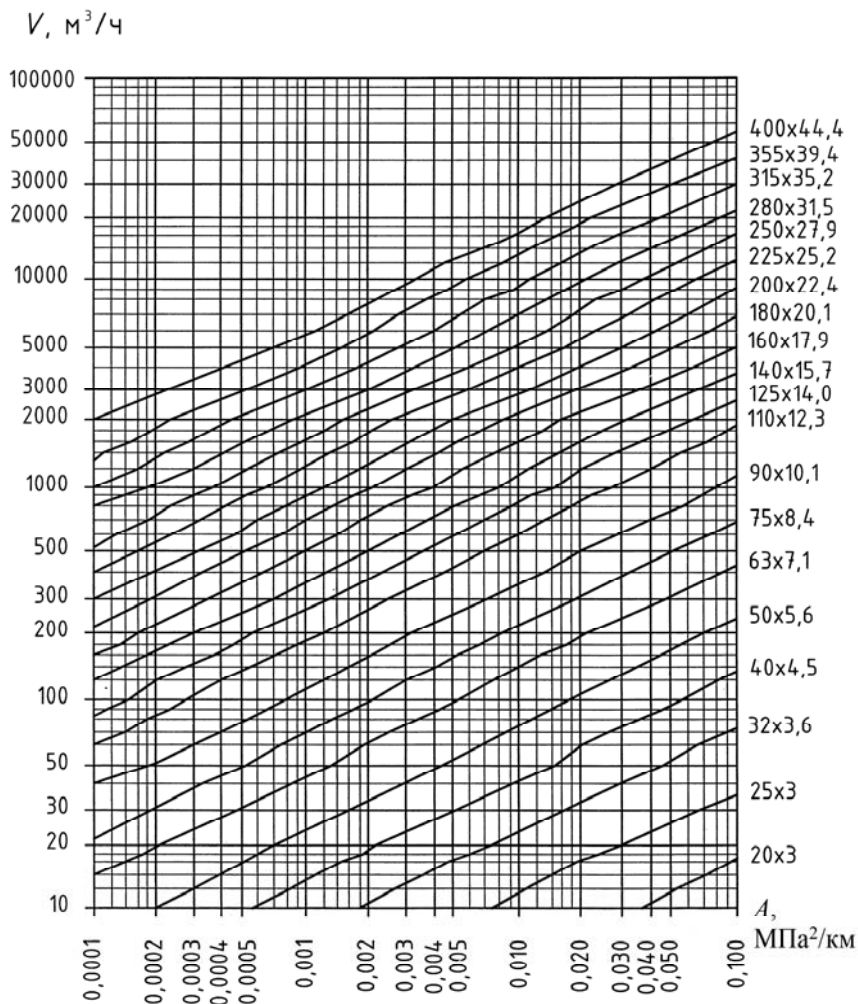


Рис. 2.4. Номограмма для определения потерь давления в газопроводах высокого давления из полиэтиленовых труб ( $SDR\ 9$ )

### Глава 3. РАСЧЕТ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ГАЗОВОЙ СЕТИ СРЕДНЕГО (ВЫСОКОГО) ДАВЛЕНИЯ

Перед началом гидравлического расчета составляется расчетная схема газовой сети: нумеруются узлы сети, проставляются длины участков, выписываются расчетные расходы газа каждым сосредоточенным потребителем.

Расчетный перепад давления для сетей среднего (высокого) давления определяется исходя из условия создания при допустимых перепадах давления наиболее экономичной и надежной в эксплуатации системы, обеспечивающей устойчивую работу газорегуляторных пунктов и установок. Поэтому начальное давление в таких сетях принимается максимально возможным для данной ступени давления, т. е.  $P_n = 1,2, 0,6$  и  $0,3$  МПа. Конечное давление принимается таким, чтобы при максимальной нагрузке сети обеспечивалось минимально допустимое давление газа перед регуляторами газорегуляторных пунктов (ГРП) и газорегуляторных установок (ГРУ). Конечное давление принимается на  $0,05$  МПа выше начального давления последующих ступеней, т. е.  $P_k = 0,65, 0,35$  и  $0,05$  МПа (если конечный потребитель низкого давления). Если потребитель среднего давления, то  $P_k$  определяется по формуле

$$P_k = P_r + \Delta P_c + 0,05, \text{ МПа,}$$

где  $P_r$  – максимальное давление газа перед горелками агрегатов, МПа;

$\Delta P_c$  – потери давления в сети потребителя, МПа;

$0,05$  – потери давления в регуляторе, арматуре и оборудовании ГРП, МПа.

В большинстве случаев перед ГРП (ГРУ) достаточно иметь избыточное давление ( $0,15$ – $0,20$  МПа).

Для разветвленных (незакольцованных) сетей распределение потоков газа однозначно определяется заданной схемой системы, а диаметры газопроводов рассчитываются при полном использовании перепада давления.

На расчетной схеме сети из различных направлений газового потока выделяется основное расчетное направление – от начала сети до наиболее удаленного потребителя.

Гидравлический расчет сети производится путем определения потерь давления на участках основной магистрали при принятых диаметрах трубопроводов на участках. Гидравлический расчет ответвлений газовой сети производится с учетом выравнивания сопротивления газовых сетей и требуемых давлений газа у потребителей.

Расчет сети выполняется в следующей последовательности.

Определяются расчетные расходы на участках путем суммирования сосредоточенных расходов, начиная от последнего участка.

Находится среднеквадратичное падение давления  $A_{cp}$  по выбранному направлению по формуле

$$A_{cp} = \frac{P_n^2 - P_k^2}{(1 + K) \sum L}, \text{ МПа}^2/\text{км}, \quad (3.1)$$

где  $P_n, P_k$  – абсолютные давления газа в начале и конце сети, МПа;

$\sum L$  – суммарная длина участков расчетного направления, км;

$K$  – коэффициент, учитывающий потери давления в местных сопротивлениях в долях от линейных.

По расчетным расходам газа на участках выбранного направления и  $A_{cp}$  по таблицам (см. прил. А–Г) или номограммам (см. рис. 2.1–2.4, прил. Д) подбираются диаметры участков. Диаметры сети выбираются так, чтобы при расчетных расходах газа полученные значения  $A_T$  как можно ближе приближались к среднему значению  $A_{cp}$ .

Затем определяются фактические значения удельных потерь давления  $A_\phi$  с учетом плотности газа:

$$A_\phi = A_T \frac{\rho_o}{\rho_{ст}}, \text{ МПа}^2/\text{км}, \quad (3.2)$$

где  $\rho_o, \rho_{ст}$  – соответственно плотность используемого газа и газа, для которого составлены таблицы и номограммы,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Затем находятся, начиная с конечного участка, потери давления на участке  $A_\phi L_p$  и давление в конце его  $P_k$  по выражению

$$P_k = \sqrt{P_n^2 - A_\phi L_p}, \text{ МПа}, \quad (3.3)$$

где  $L_p$  – расчетная длина участка, км ( $L_p = (1 + K)L$ ).

Давление в конце рассматриваемого участка является начальным для последующего и т. д. Если давление в конце последнего участка более чем на 10 % отличается от выбранного, пересчитывается какой-либо из участков до получения необходимого давления. После увязки основного расчетного направления производится расчет отвлений к остальным потребителям.

**Пример 3.1.** Рассчитать тупиковую разветвленную сеть межпоселковых полиэтиленовых газопроводов высокого давления, питающую несколько населенных пунктов. Расчетные расходы газа, нумерация участков и их длины показаны на схеме (рис. 3.1). Давление газа в начале сети  $P_n = 0,7$  МПа (абс.), перед потребителями  $P_k = 0,45$  МПа (абс.). Используется природный газ с плотностью  $\rho_0 = 0,82$  кг/м<sup>3</sup> и полиэтиленовые трубы из ПЭ 100 с  $SDR$  17,6 с абсолютной эквивалентной шероховатостью стенок труб  $k_s = 0,0007$  см.

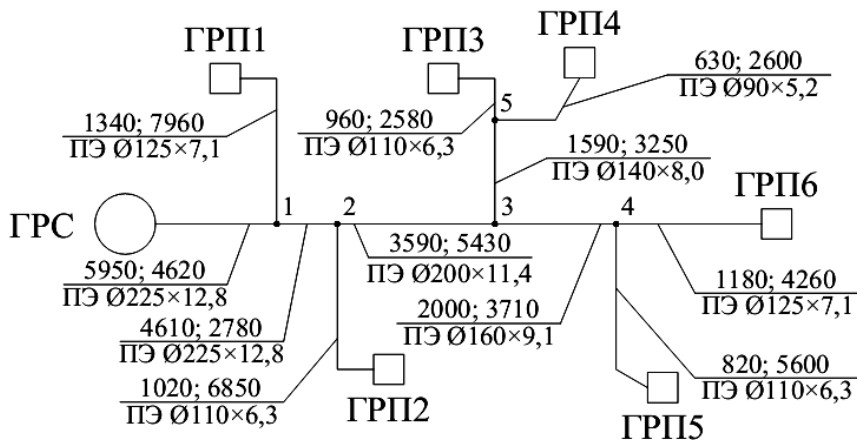


Рис. 3.1. Расчетная схема газопроводов высокого давления

$$\frac{2000; 3710}{\text{ПЭ Ø160} \times 9,1} = \frac{\text{расчетный расход газа на участке (м}^3/\text{ч),}}{\text{расчетная длина участка (м)}} \times \text{наружный диаметр газопровода} \times \text{толщина стенки трубы (мм)}$$

*Решение.* Нумеруем все узлы ответвлений сети и проставляем на расчетной схеме длины участков. Далее определяем и проставляем на схеме расходы газа на участках сети.

Расходы газа на ответвлениях к потребителям равны расходам газа потребителями:

$$V_{1-ГРП1} = 1340 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad V_{2-ГРП2} = 1020 \text{ м}^3/\text{ч} \text{ и т. д.}$$

Расходы газа на ответвлениях к нескольким потребителям определяем как сумму расходов всех присоединенных участков:

$$V_{3-5} = V_{5-ГРП3} + V_{5-ГРП4} = 960 + 630 = 1590 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расходы газа по участкам основной магистрали определяем аналогично:

$$V_{3-4} = V_{4-ГРП5} + V_{4-ГРП6} = 820 + 1180 = 2000, \text{ м}^3/\text{ч} \text{ и т. д.}$$

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

Расчет начинаем с основной магистрали. Для нее находим среднеквадратичный перепад давления по выражению (3.1), на который ориентируемся при выборе диаметров участков магистрали. Диаметры участков подбираем по номограммам (см. прил. Д) так, чтобы значения  $A$  для каждого участка были по возможности ближе к значению  $A_{\text{ср}}$ .

Расчет системы сводим в табл. 3.1, в соответствующие графы которой записываем номера участков, фактические и расчетные длины, расходы газа. По номограммам [6] и прил. Д для принятого диаметра и известного расхода находим действительные значения среднеквадратичного перепада давления на 1 м газопровода (графа б). Так как плотность газа отличается от плотности стандартного газа ( $\rho_{\text{ст}} = 0,73 \text{ кг/м}^3$ ), то в величину  $A_{\text{т}}$  вводим поправку на плотность  $A_{\text{ф}} = A_{\text{т}}\rho/\rho_{\text{ст}}$  (графа 7), а затем рассчитываем перепад давления на участке  $A_{\text{ф}}L_{\text{р}}$ , кПа<sup>2</sup> (графа 8). Давление в начале первого участка



задано ( $P_n = 0,7$  МПа), давление в конце участка, т. е. в точке 1, определяем по формуле (3.3). Полученное давление  $P_k$  на участке ГГРП-1 является начальным для следующего участка 1-2; давление в конце участка 1-2 является начальным для участка 2-3 и т. д. Расчет следует считать правильным, если давление в конце участка 4-ГРП6 будет равно заданному. Допускается невязка  $\pm 10$  %.

Затем рассчитываем ответвления от главной магистрали к отдельным потребителям. Для них находим среднеквадратичный перепад давления, по которому подбираем диаметр ответвлений и уточняем истинную величину давления газа перед потребителями.

Все расчеты сведены в табл. 3.1.

Гидравлический расчет полиэтиленовых газопроводов высокого давления

Номер участка	Длина участка, м		Расчетный расход газа на участке $V_p$ , м <sup>3</sup> /ч	Диаметр газопровода $D_n \times \delta$ , мм	Среднеквadraticное падение давления $A$ , кПа <sup>2</sup> /м	Фактическое среднеквadraticное падение давления $A_f$ , кПа <sup>2</sup> /м	Среднеквadraticные потери давления на участке $A_f L_p$ , кПа <sup>2</sup>	Давление газа, кПа	
	по плану $L$	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
Основная магистраль ГРС-1-2-3-4-ГРП6									
$A_{cp} = \frac{700^2 - 450^2}{22880} = 12,57 \text{ кПа}^2/\text{м}$									
ГРС-1	4620	5082	5950	225 × 12,8	13,8	14,35	72 927	700	645,81
1-2	2780	3058	4610	225 × 12,8	8,5	8,84	27 033	645,81	624,53
2-3	5430	5973	3590	200 × 11,4	10,0	10,4	62 119	624,53	572,64
3-4	3710	4081	2000	160 × 9,1	9,2	9,57	39 055	572,64	537,46
4-ГРП6	4260	4686	1180	125 × 7,1	17,5	18,2	85 285	537,46	451,2
$\Sigma L_p = 22\ 880$									
Невязка $\frac{451,2 - 450,0}{450,0} \cdot 100 \% = 0,27 \%$									

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответвления									
$A_{cp} = \frac{645,81^2 - 450^2}{8756} = 24,5 \text{ кПа}^2/\text{м}$									
1-ГРП1	7960	8756	1340	$125 \times 7,1$	21,6	22,46	199 660	645,81	466,28
Невязка $\frac{466,28 - 450,0}{450,0} \cdot 100 \% = 3,62 \%$									
$A_{cp} = \frac{624,53^2 - 450^2}{7513} = 24,96 \text{ кПа}^2/\text{м}$									
2-ГРП2	6830	7513	1020	$110 \times 6,3$	19,5	20,28	152 364	624,53	487,52
Невязка $\frac{487,52 - 450,0}{450,0} \cdot 100\% = 8,34 \%$									
$A_{cp} = \frac{537,46^2 - 450^2}{6160} = 14,02 \text{ кПа}^2/\text{м}$									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4-ГРП5	5600	6160	820	110 × 6,3	12,4	12,9	79 464	537,46	457,6
Невязка $\frac{457,6 - 450,0}{450,0} \cdot 100 \% = 1,69 \%$									
$A_{\text{ср}} = \frac{572,64^2 - 450^2}{6446} = 19,46 \text{ кПа}^2/\text{м}$									
3-5	3280	3608	1590	140 × 8,0	14,8	15,4	55 563	572,64	521,88
5-ГРП3	2580	2838	960	110 × 6,3	17,5	18,2	51 562	521,88	469,82
Невязка $\frac{469,82 - 450,0}{450,0} \cdot 100 \% = 4,4 \%$									
$A_{\text{ср}} = \frac{521,88^2 - 450^2}{2860} = 24,5 \text{ кПа}^2/\text{м}$									
5-ГРП4	2600	2860	630	90 × 5,2	22,5	23,4	66 924	521,88	454,25
Невязка $\frac{454,25 - 450,0}{450,0} \cdot 100 \% = 0,94 \%$									

**Пример 3.2.** Для условий предыдущего примера рассчитать разветвленную сеть межпоселковых газопроводов высокого давления II категории из полиэтиленовых труб из ПЭ 100 с  $SDR$  11 с абсолютной эквивалентной шероховатостью стенок труб  $k_s = 0,002$  см.

*Решение.* Расчетные расходы газа на участках сети и среднеквадратичные перепады давления для основной магистрали и ответвлений от нее соответствуют найденным в примере 3.1. Диаметры участков подбираем по прил. В. Расчет сводим в табл. 3.2.

Гидравлический расчет полиэтиленовых газопроводов высокого давления II категории

Номер участка	Длина участка, км		Расчетный расход газа на участке $V_p$ , м <sup>3</sup> /ч	Диаметр газопровода $D_n \times \delta$ , мм	Среднеквадратичное падение давления $A$ , МПа <sup>2</sup> /км	Фактическое среднеквадратичное падение давления $A_\phi$ , МПа <sup>2</sup> /км	Среднеквадратичные потери давления на участке $A_\phi L_p$ , МПа <sup>2</sup>	Давление газа, МПа	
	по плану $L$	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
Основная магистраль ГРС-1-2-3-4-ГРП6									
$A_{cp} = \frac{0,7^2 - 0,45^2}{22\ 880} = 0,0125 \text{ МПа}^2/\text{км}$									
ГРС-1	4,620	5,082	5950	225 × 20,5	0,017	0,0177	0,090	0,700	0,632
1-2	2,780	3,058	4610	225 × 20,5	0,017	0,0111	0,034	0,632	0,605
2-3	5,430	5,973	3590	200 × 18,2	0,010	0,0104	0,062	0,605	0,551
3-4	3,710	4,081	2000	180 × 16,4	0,0064	0,0067	0,027	0,551	0,526
4-ГРП6	4,260	4,686	1180	140 × 12,7	0,008	0,0083	0,039	0,526	0,488
$\sum L_p = 22,880$									
Невязка $\frac{0,488 - 0,450}{0,450} \cdot 100 \% = 8,4 \%$									

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответвления									
$A_{\text{ср}} = \frac{0,632^2 - 0,450^2}{8,756} = 0,023 \text{ МПа}^2/\text{км}$									
1-ГРП1	7,960	8,756	1340	125 × 11,4	0,019	0,0198	0,173	0,632	0,476
Невязка $\frac{0,476 - 0,450}{0,450} \cdot 100 \% = 5,8 \%$									
$A_{\text{ср}} = \frac{0,605^2 - 0,450^2}{7,513} = 0,022 \text{ МПа}^2/\text{км}$									
2-ГРП2	6,830	7,513	1020	110 × 10,0	0,0211	0,0219	0,164	0,605	0,450
Невязка $\frac{0,450 - 0,450}{0,450} \cdot 100 \% = 0,0 \%$									
$A_{\text{ср}} = \frac{0,526^2 - 0,450^2}{6,160} = 0,012 \text{ МПа}^2/\text{км}$									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4-ГРП5	5,600	6,160	820	125 × 11,4	0,0112	0,0116	0,071	0,526	0,454
Невязка $\frac{0,454 - 0,450}{0,450} \cdot 100 \% = 0,9 \%$									
$A_{\text{ср}} = \frac{0,551^2 - 0,450^2}{6,446} = 0,016 \text{ МПа}^2/\text{км}$									
3-5	3,280	3,608	1590	140 × 12,7	0,051	0,0157	0,057	0,551	0,497
5-ГРПЗ	2,580	2,838	960	125 × 11,4	0,011	0,0114	0,032	0,497	0,464
Невязка $\frac{0,464 - 0,450}{0,450} \cdot 100 \% = 3,1 \%$									
$A_{\text{ср}} = \frac{0,497^2 - 0,450^2}{2,860} = 0,016 \text{ МПа}^2/\text{км}$									
5-ГРП4	2,600	2,860	630	110 × 10,0	0,0084	0,0087	0,025	0,497	0,471
Невязка $\frac{0,471 - 0,450}{0,450} \cdot 100 \% = 4,67 \%$									



**Пример 3.3.** Рассчитать разветвленную сеть межпоселковых полиэтиленовых газопроводов высокого давления категории I, питающих группу сельских населенных пунктов. Расходы газа населенными пунктами известны. Давление газа на выходе из ГРС  $P_n = 1,3$  МПа (абс.), перед потребителями  $P_k = 0,75$  МПа (абс.). Используется природный газ с плотностью  $\rho_0 = 0,78$  кг/м<sup>3</sup> и полиэтиленовые трубы с абсолютной эквивалентной шероховатостью стенок труб  $k_s = 0,002$  см.

**Решение.** Составляем расчетную схему газопроводов (рис. 3.2). Нумеруем все узлы сети и проставляем на ней длины участков. Затем определяем и проставляем на схеме расходы газа на участках сети.

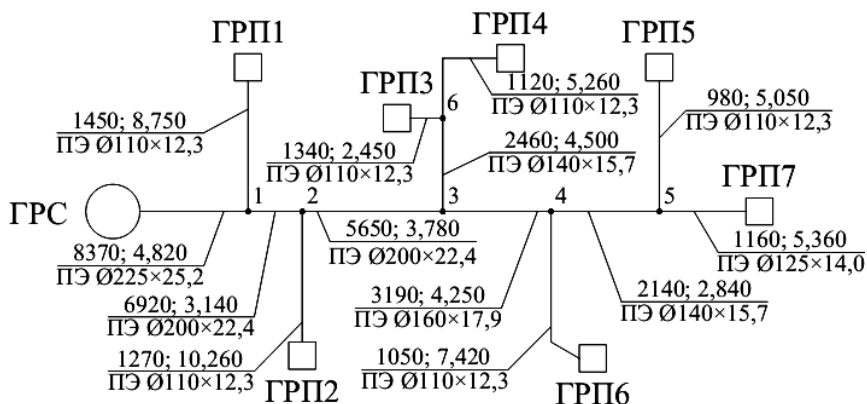


Рис. 3.2. Расчетная схема газопроводов высокого давления I категории

$$\frac{8370; 4,820}{\text{ПЭ } \text{Ø}225 \times 25,2} \quad \frac{\text{расчетный расход газа на участке (м}^3/\text{ч),}}{\text{расчетная длина участка (км)}} \\ \text{наружный диаметр газопровода } \times \\ \times \text{толщина стенки трубы (мм)}$$

Расходы газа на ответвлениях к потребителям равны расходам газа потребителями, а на ответвлениях к нескольким потребителям (участок 3-6) определяем как сумму расходов всех присоединенных участков:

$$V_{3-6} = V_{6-\text{ГРП3}} + V_{6-\text{ГРП4}}$$

Расходы газа по участкам основной магистрали ГРС-1-2-3-4-5-ГРП7 определяем аналогично путем суммирования сосредоточенных расходов, начиная от последнего участка:

$$V_{4-5} = V_{ГРП5} + V_{ГРП7} \text{ и т. д.}$$

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

Расчет начинаем с основной магистрали. Для нее находим среднеквадратичный перепад по формуле (3.1):

$$A_{\text{ср}} = \frac{1,3^2 - 0,75^2}{1,1 \cdot 24,19} = 0,031 \text{ МПа}^2/\text{км},$$

на который ориентируемся при выборе диаметров участков магистрали. Диаметры участков подбираем по таблице (см. прил. Д) или номограмме (см. рис. 2.4) так, чтобы значения  $A$  для каждого участка были по возможности ближе к значению  $A_{\text{ср}}$ . Для принятого диаметра и известного расхода по указанной таблице находим действительные значения среднеквадратичного перепада давления на 1 км газопровода. Так как плотность газа отличается от плотности стандартного газа ( $\rho_{\text{ст}} = 0,73 \text{ кг/м}^3$ ), то в величину  $A_{\text{т}}$  вносим поправку на плотность газа по выражению (3.2), а затем рассчитываем перепад давления на участке  $A_{\text{ф}}L_{\text{р}}$  ( $\text{МПа}^2$ ). Давление в начале первого участка задано  $P_{\text{н}} = 1,3 \text{ МПа}$ , давление в конце участка, т. е. в узле 1, определяем по формуле (3.3). Полученное давление  $P_{\text{к}}$  на участке ГРС-1 является начальным для следующего участка 1-2; давление в конце участка 1-2 является начальным для участка 2-3 и т. д. Расчет следует считать правильным, если давление в конце участка 5-ГРП7 будет равно заданному. Допускается невязка  $\pm 10 \%$ .

Затем рассчитываем ответвления от главной магистрали к отдельным потребителям. Для них находим среднеквадратичный перепад давления по формуле (3.1), по которому подбираем диаметр ответвлений и уточняем фактическую величину давления газа перед потребителями.

Все расчеты сведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

## Гидравлический расчет полиэтиленовых газопроводов высокого давления I категории

Номер участка	Длина участка, км		Расчетный расход газа на участке $V_p$ , м <sup>3</sup> /ч	Диаметр газопровода $D_n \times \delta$ , мм	Средне-квadraticное падение давления $A$ , МПа <sup>2</sup> /км	Фактическое средне-квadraticное падение давления $A_\phi$ , МПа <sup>2</sup> /км	Среднеквadraticные потери давления на участке $A_\phi L_p$ , МПа <sup>2</sup>	Давление газа, МПа	
	по плану $L$	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
Основная магистраль ГРС-1-2-3-4-5-ГРП7									
$A_{cp} = \frac{1,3^2 - 0,75^2}{1,1 \cdot 24,190} = 0,044 \text{ МПа}^2/\text{км}$									
ГРС-1	4,820	5,302	8370,0	225 × 25,2	0,045	0,048	0,255	1,300	1,198
1-2	3,140	3,454	6920,0	200 × 22,4	0,058	0,062	0,214	1,198	1,105
2-3	3,780	4,158	5650,0	200 × 22,4	0,038	0,041	0,169	1,105	1,026
3-4	4,250	4,675	3190,0	160 × 17,9	0,041	0,044	0,205	1,026	0,920
4-5	2,840	3,124	2140,0	140 × 15,7	0,038	0,041	0,127	0,920	0,849
5-ГРП7	5,360	5,896	1160,0	125 × 14,0	0,019	0,020	0,119	0,849	0,775
$\Sigma L = 22,880$									
Невязка $\frac{0,775 - 0,750}{0,750} \cdot 100 \% = 3,33 \%$									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответвления									
$A_{\text{ср}} = \frac{1,198^2 - 0,750^2}{1,1 \cdot 8,750} = 0,091 \text{ МПа}^2/\text{км}$									
1-ГРП1	8,750	9,625	1450,0	110 × 12,3	0,059	0,063	0,608	1,198	0,910
Невязка $\frac{0,910 - 0,750}{0,750} \cdot 100 \% = 21,33 \%$									
$A_{\text{ср}} = \frac{1,105^2 - 0,750^2}{1,1 \cdot 10,260} = 0,058 \text{ МПа}^2/\text{км}$									
2-ГРП2	10,260	11,286	1270,0	110 × 12,3	0,045	0,048	0,542	1,105	0,824
Невязка $\frac{0,824 - 0,750}{0,750} \cdot 100 \% = 9,87 \%$									
$A_{\text{ср}} = \frac{1,026^2 - 0,750^2}{1,1 \cdot 9,760} = 0,046 \text{ МПа}^2/\text{км}$									
3-6	4,500	4,950	2460,0	140 × 15,7	0,050	0,054	0,265	1,026	0,888
6-ГРП4	5,260	5,786	1120,0	110 × 12,3	0,035	0,038	0,217	0,888	0,756
Невязка $\frac{0,756 - 0,750}{0,750} \cdot 100 \% = 0,8 \%$									

Окончание табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$A_{\text{ср}} = \frac{0,888^2 - 0,750^2}{1,1 \cdot 2,450} = 0,084 \text{ МПа}^2/\text{км}$									
6-ГРПЗ	2,450	2,695	1340,0	110 × 12,3	0,050	0,054	0,146	0,888	0,801
Невязка $\frac{0,801 - 0,750}{0,750} \cdot 100 \% = 6,8 \%$									
$A_{\text{ср}} = \frac{0,920^2 - 0,750^2}{1,1 \cdot 7,420} = 0,035 \text{ МПа}^2/\text{км}$									
4-ГРП6	7,420	8,162	1050,0	110 × 12,3	0,031	0,033	0,269	0,920	0,760
Невязка $\frac{0,760 - 0,750}{0,750} \cdot 100 \% = 1,33 \%$									
$A_{\text{ср}} = \frac{0,849^2 - 0,750^2}{1,1 \cdot 5,050} = 0,028 \text{ МПа}^2/\text{км}$									
5-ГРП5	5,050	5,555	980,0	110 × 12,3	0,026	0,028	0,156	0,849	0,752
Невязка $\frac{0,752 - 0,750}{0,750} \cdot 100 \% = 0,27 \%$									

**Пример 3.4.** Для квартала города (рис. 3.3), застроенного 4- и 5-секционными 5-этажными жилыми домами, расход газа на приготовление пищи составляет 326,4 м<sup>3</sup>/ч. Расход газа на 4-секционный жилой дом равен 19,2 м<sup>3</sup>/ч, на 5-секционный – 24,0 м<sup>3</sup>/ч. На территории квартала расположена столовая с расходом газа  $V_{ст} = 52,0$  м<sup>3</sup>/ч. Используется природный газ с плотностью  $\rho_0 = 0,8$  кг/м<sup>3</sup>. Для газоснабжения потребителей квартала применяются газопроводы среднего давления из полиэтиленовых труб с абсолютной эквивалентной шероховатостью стенок труб  $k_s = 0,002$  см с установкой на каждом доме регулятора давления. Начальное давление газа (в точке врезки газопровода в сеть соседнего квартала)  $P_n = 0,315$  МПа (абс.). Необходимо произвести гидравлический расчет распределительных газопроводов среднего давления.

*Решение.* Принимаем тупиковую систему газоснабжения потребителей, как наиболее целесообразную для данной застройки. Конечное давление газа перед наиболее удаленным потребителем принимается  $P_k = 0,25$  МПа (абс.).

Составляем расчетную схему квартальных газопроводов среднего давления (см. рис. 3.3). Определяем расчетные расходы газа на участках сети путем суммирования расходов жилыми домами и столовой, начиная от последнего потребителя. Расчет выполняем сначала для левой ветки сети (как наиболее протяженной и загруженной), а затем с ней увязываем правую ветку. Для каждой ветки определяем суммарную длину участков расчетного направления  $\sum L$  (км) и среднеквадратический перепад давления  $A_{ср}$  (МПа<sup>2</sup>/км) по формуле (3.1). Ориентируясь на величину  $A_{ср}$ , по номограмме (см. рис. 2.2) подбираем диаметры участков. Для выбранных диаметров участков находим среднеквадратичное падение давления на участках  $A_T$  (МПа<sup>2</sup>/км). Так как плотность нашего газа отличается от плотности стандартного газа, в величину  $A_T$  вносим поправку на плотность по выражению (3.2). Затем находим среднеквадратичные потери на участках  $A_{ф}L_p$  (МПа<sup>2</sup>) и конечное давление на участке  $P_k$  (МПа) по формуле (3.3). Результаты расчета вносим в табл. 3.4.

После расчета левой ветки приступаем к расчету ответвлений (участки 8-12-13 и 6-14-15). Давление в узлах 8 и 6 известно из расчета, конечное принимаем  $P_k = 0,25$  МПа (абс.). Расчет производится в той же последовательности.

Затем аналогично рассчитывается правая ветка 2-16-17-18-19-20 и ответвление 19-21.

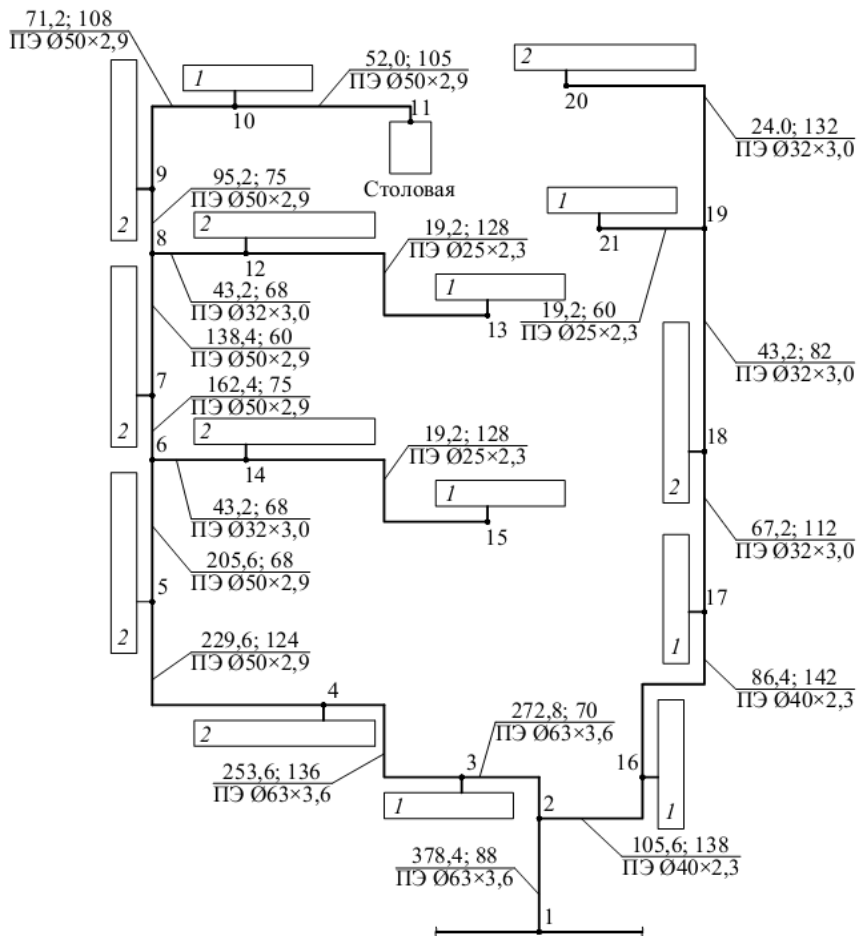


Рис. 3.3. Расчетная схема квартальных газопроводов среднего давления

$$\frac{378,4, 0,088}{\text{ПЭ } \text{Ø}63 \times 3,6} = \frac{\text{расчетный расход газа на участке (м}^3\text{/ч)}}{\text{расчетная длина участка (м)}} \times \frac{\text{наружный диаметр газопровода} \times \text{толщина стенки трубы (мм)}}{\text{расчетная длина участка (м)}}$$

Гидравлический расчет внутриквартальных газопроводов среднего давления

Номер участка	Длина участка, км		Расчетный расход газа на участке $V_p$ , м <sup>3</sup> /ч	Диаметр газопровода $D_n \times \delta$ , мм	Средне-квadraticное падение давления $A$ , МПа <sup>2</sup> /км	Фактическое средне-квadraticное падение давления $A_\phi$ , МПа <sup>2</sup> /км	Среднеквadraticные потери давления на участке $A_\phi L_p$ , МПа <sup>2</sup>	Давление газа, МПа	
	по плану $L$	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
Левая ветка 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11									
$A_{cp} = \frac{0,315^2 - 0,25^2}{1,1 \cdot 0,903} = 0,037 \text{ МПа}^2/\text{км}$									
1-2	0,088	0,097	378,4	63 × 3,6	0,060	0,066	0,0064	0,315	0,305
2-3	0,070	0,077	272,8	63 × 3,6	0,065	0,0715	0,0055	0,305	0,296
3-4	0,136	0,150	253,6	63 × 3,6	0,016	0,0176	0,0026	0,296	0,291
4-5	0,124	0,136	229,6	50 × 2,9	0,050	0,055	0,0075	0,291	0,278
5-6	0,062	0,068	205,6	50 × 2,9	0,040	0,044	0,0030	0,278	0,273
6-7	0,075	0,083	162,4	50 × 2,9	0,028	0,0308	0,0026	0,273	0,268
7-8	0,060	0,066	138,4	50 × 2,9	0,019	0,0209	0,00138	0,268	0,266
8-9	0,075	0,083	95,2	50 × 2,9	0,009	0,0099	0,00082	0,266	0,264
9-10	0,108	0,119	71,2	50 × 2,9	0,005	0,0055	0,00065	0,264	0,263



Продолжение табл. 3.4

<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
10-11	0,105	0,116	52,0	50 × 2,9	0,0025	0,0028	0,00032	0,263	0,262
$\Sigma L = 0,903$									
Невязка $\frac{0,262 - 0,250}{0,250} \cdot 100 \% = 4,8 \%$									
Ответвления									
$A_{\text{ср}} = \frac{0,266^2 - 0,250^2}{1,1 \cdot 0,196} = 0,038 \text{ МПа}^2/\text{км}$									
8-12	0,068	0,075	43,2	32 × 3,0	0,044	0,0484	0,0036	0,266	0,259
12-13	0,128	0,141	19,2	25 × 2,3	0,024	0,0264	0,0037	0,259	0,252
Невязка $\frac{0,252 - 0,250}{0,250} \cdot 100 \% = 0,8 \%$									
$A_{\text{ср}} = \frac{0,273^2 - 0,250^2}{1,1 \cdot 0,196} = 0,0556 \text{ МПа}^2/\text{км}$									
6-14	0,068	0,075	43,2	32 × 3,0	0,044	0,0484	0,0036	0,273	0,266
14-15	0,128	0,141	19,2	25 × 2,3	0,024	0,0264	0,0037	0,266	0,259
Невязка $\frac{0,259 - 0,250}{0,250} \cdot 100 \% = 3,6 \%$									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Правая ветка 2-16-17-18-19-20									
$A_{\text{ср}} = \frac{0,305^2 - 0,250^2}{1,1 \cdot 0,606} = 0,046 \text{ МПа}^2/\text{км}$									
2-16	0,138	0,152	105,6	40 × 2,3	0,036	0,0396	0,0060	0,305	0,295
16-17	0,142	0,156	86,4	40 × 2,3	0,024	0,0264	0,0048	0,295	0,288
17-18	0,112	0,123	67,2	32 × 3,0	0,070	0,077	0,0095	0,288	0,271
18-19	0,082	0,090	43,2	32 × 3,0	0,033	0,0363	0,0033	0,271	0,265
19-20	0,132	0,145	24,0	32 × 3,0	0,010	0,011	0,0016	0,265	0,262
Невязка $\frac{0,262 - 0,250}{0,250} \cdot 100 \% = 4,8 \%$									
Ответвление									
$A_{\text{ср}} = \frac{0,265^2 - 0,250^2}{1,1 \cdot 0,060} = 0,11 \text{ МПа}^2/\text{км}$									
19-21	0,060	0,066	19,2	25 × 2,3	0,023	0,0253	0,0017	0,265	0,261
Невязка $\frac{0,261 - 0,250}{0,250} \cdot 100 \% = 4,4 \%$									

## Глава 4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОЛЬЦЕВОЙ СЕТИ СРЕДНЕГО (ВЫСОКОГО) ДАВЛЕНИЯ

На генплане города наносится сеть среднего (высокого) давления. Расходы газа потребителями известны. Расчетный перепад давления определяется в соответствии с главой 3.

При расчете кольцевых сетей необходимо оставлять резерв давления для увеличения пропускной способности системы газоснабжения при аварийных гидравлических режимах. Принятый запас давления должен проверяться расчетом при возникновении наиболее неблагоприятных аварийных ситуаций, которые возникают при выключении головных участков сети.

Ввиду кратковременности аварийных ситуаций допускается некоторое снижение качества системы, которое оценивают коэффициентом обеспеченности  $K_{об}$ , зависящим от категории потребителей. При аварийной ситуации диспетчерской службой принимаются меры по сокращению потребления газа. Этого можно добиться уменьшением подачи теплоты на отопление зданий и горячее водоснабжение, что приведет к снижению расхода газа котельными; временным прекращением работы второстепенных цехов; переводом котельных и цехов, имеющих резервное топливоснабжение, на другой вид топлива. Однако во всех случаях режим давлений в газовой сети должен обеспечить нормальную работу газогорелочных устройств неотключенных агрегатов. Значения коэффициентов обеспеченности  $K_{об}$  различных потребителей при аварийной ситуации приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Коэффициенты обеспеченности потребителей газом при аварийных ситуациях

Наименование потребителей	$K_{об}$	Наименование потребителей	$K_{об}$
ГРП	0,80–0,85	Бани	0,60
Котельные отопительные	0,70–0,75	Хлебозаводы	0,70
Промпредприятия	0,70–0,90	Мясокомбинаты	0,70
Механизированные		Автохозяйства	0,50
прачечные	0,70	ТЭЦ (с резервным топливом)	0
Больницы	0,85		

Для однокольцевой газовой сети следует рассчитывать два аварийных режима: при отключении головных участков слева и справа от точки питания. Так как при этом кольцевой газопровод превращается в тупиковый, то диаметры участков кольца можно определить из расчета тупиковых линий при лимитированном газоснабжении потребителей. Затем рассчитывается сеть при нормальном режиме, когда за расчетное принимается наиболее рациональное направление потоков газа по полукольцам.

Расчет кольцевой сети среднего (высокого) давления производится в следующей последовательности:

1. Составляются расчетные схемы сети для двух аварийных и нормального режимов эксплуатации: нумеруются узлы сети, представляются длины участков, выписываются расчетные расходы газа каждым сосредоточенным потребителем.

2. Производится предварительный расчет диаметра кольца по приближенным зависимостям:

$$V_p^3 = 0,59 \sum_{i=1}^n K_{об_i} V_i, \quad (4.1)$$

$$A_{cp} = \frac{P_n^2 - P_k^2}{1,1L_k}, \quad (4.2)$$

где  $V_p^3$  – расчетный эквивалентный по создаваемой потере давления расход газа всеми потребителями газа в аварийной ситуации, м<sup>3</sup>/ч;

$V_i$  – расчетный расход газа  $i$ -м потребителем, м<sup>3</sup>/ч;

$K_{об_i}$  – коэффициент обеспеченности газом  $i$ -го потребителя в аварийной ситуации;

$A_{cp}$  – среднеквадратичный перепад давления в сети, МПа<sup>2</sup>/км (кПа<sup>2</sup>/м);

$P_n, P_k$  – абсолютные давления газа в начале и конце сети, МПа (кПа);

$L_k$  – протяженность расчетного кольца, км (м);

1,1 – коэффициент, учитывающий потери давления в местных сопротивлениях.

Диаметр газопровода принимается по таблицам (см. прил. Б, В и Г) или номограммам (см. рис. 2.2–2.4 или прил. Д), при этом стремятся к подбору единого диаметра кольца. Если это не удастся, то участки газопровода, расположенные диаметрально противоположно точке питания, следует принимать меньшего диаметра, но не менее 0,75 диаметра головного участка.

3. Выполняются два варианта гидравлического расчета сети при аварийных режимах. Расходы потребителей  $V_{pi}$  определяются с учетом необходимой обеспеченности их газом:

$$V_{pi} = K_{об_i} V_i, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (4.3)$$

Суммированием находят расчетные расходы газа каждого участка, начиная от последнего потребителя по направлению к ГРС. По номограммам (см. рис. 2.2–2.4) для принятого диаметра и известного расхода находят действительные значения среднеквадратичного перепада давления на 1 км (м) газопровода  $A$  (МПа<sup>2</sup>/км; кПа<sup>2</sup>/м) для каждого участка. Если плотность газа  $\rho_0$  (кг/м<sup>3</sup>) отличается от плотности стандартного газа ( $\rho_{0\text{ст}} = 0,73$  кг/м<sup>3</sup>), то в величину  $A$  вводится поправка на плотность газа по выражению (3.2), а затем рассчитывается перепад давления для известной расчетной длины участка –  $A_{\phi} L_p$ . Давление газа в начале первого участка (на выходе из ГРС) задано – либо среднее  $P_n = 0,4$  МПа, либо высокое  $P_n = 0,7$  МПа. Давление газа в конце участка  $P_k$  (МПа (кПа)) определяется по формуле (3.3).

Полученное давление  $P_k$  на первом участке является начальным для последующего участка, давление в конце второго участка является начальным для третьего и т. д.

Диаметры участков корректируются таким образом, чтобы давление газа у последнего потребителя не понижалось ниже минимально допустимого значения.

4. Выполняется гидравлический расчет сети при нормальном режиме эксплуатации. В нормальном режиме определение расходов газа на участках начинается с конечного участка каждого полукольца из условия обеспечения потребителей необходимым (полным) количеством газа. Целью расчета является определение давления

газа в точках врезки ответвлений в кольцевую сеть, диаметры участков которой принимаются наибольшими из расчета двух аварийных режимов.

5. Определяются минимальные диаметры ответвлений к сосредоточенным потребителям при расчетном гидравлическом режиме. В случае необходимости (при недостаточности диаметров, когда  $A > 0,1 \text{ МПа}^2/\text{км}$ ) увеличивают их до необходимых размеров.

**Пример 4.1.** Рассчитать кольцевую систему газоснабжения среднего давления. Расчетные расходы газа, нумерация участков и их длины приведены на расчетных схемах (рис. 4.1–4.3). Давление газа после ГРС  $P_n = 0,4 \text{ МПа}$  (абс.). Используется природный газ с плотностью  $\rho_0 = 0,88 \text{ кг/м}^3$  и полиэтиленовые трубы с абсолютной эквивалентной шероховатостью стенок труб  $k_s = 0,002 \text{ см}$ .

*Решение.* Расчет кольцевой системы выполнен для трех режимов ее работы:

- 1) аварийного режима I – при отключенном участке 1-11;
- 2) аварийного режима II – при отключенном участке 1-2;
- 3) нормального (расчетного) режима.

Расчетная схема газопроводов среднего давления для аварийного режима I приведена на рис. 4.1, для аварийного режима II – на рис. 4.2, нормального – на рис. 4.3.

В аварийном режиме I газ поступает к потребителям по направлению ГРС-1-2-3...10-11-РК 2. Общая протяженность газопроводов этого направления

$$\sum L = 0,60 + 0,80 + 0,15 + 0,45 + 0,65 + 0,17 + 0,93 + 0,13 + 0,80 + 1,60 + 0,25 + 0,08 = 6,61 \text{ км.}$$

Расходы газа потребителями, принятые коэффициенты обеспеченности потребителей газа при аварийных ситуациях и расходы газа в аварийных режимах приведены в табл. 4.2.

Расчетный (эквивалентный) расход газа по формуле (4.1) составит

$$V_p^3 = 0,59 \cdot 15\,309,1 = 9032,4 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

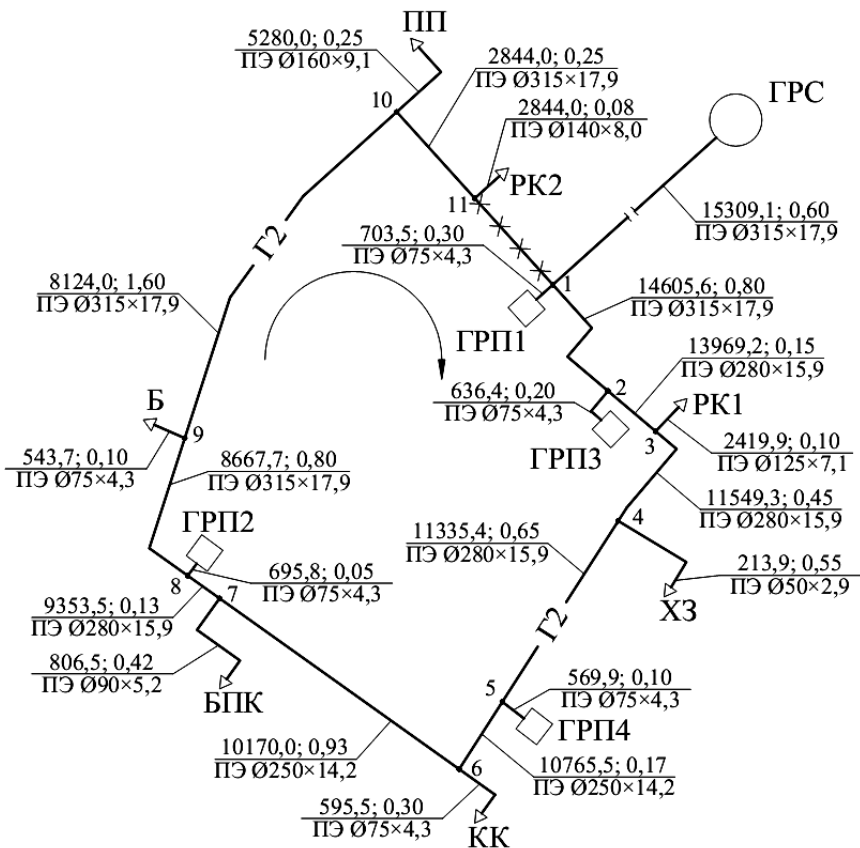


Рис. 4.1. Расчетная схема газопроводов среднего давления для аварийного режима I

$$\frac{10170,0, 0,93}{\text{ПЭ } \text{Ø}250 \times 14,2} \quad \frac{\text{расчетный расход газа на участке (м}^3/\text{ч),}}{\text{расетная длина участка (км)}} \\ \text{наружный диаметр газопровода} \times \\ \times \text{толщина стенки трубы (мм)}$$

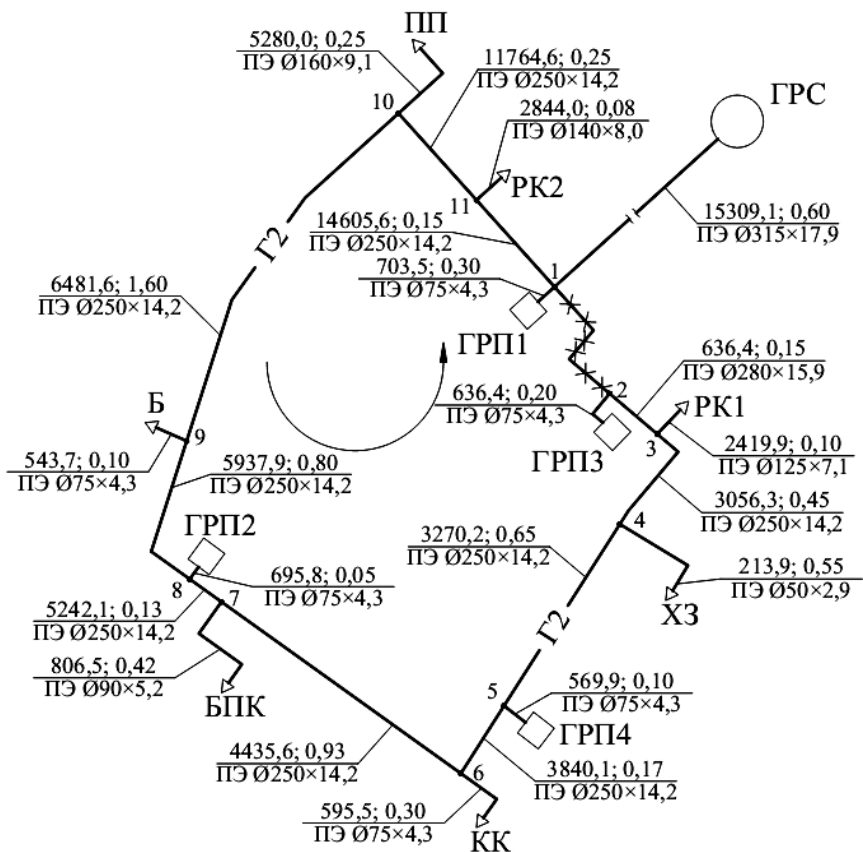


Рис. 4.2. Расчетная схема газопроводов среднего давления для аварийного режима II



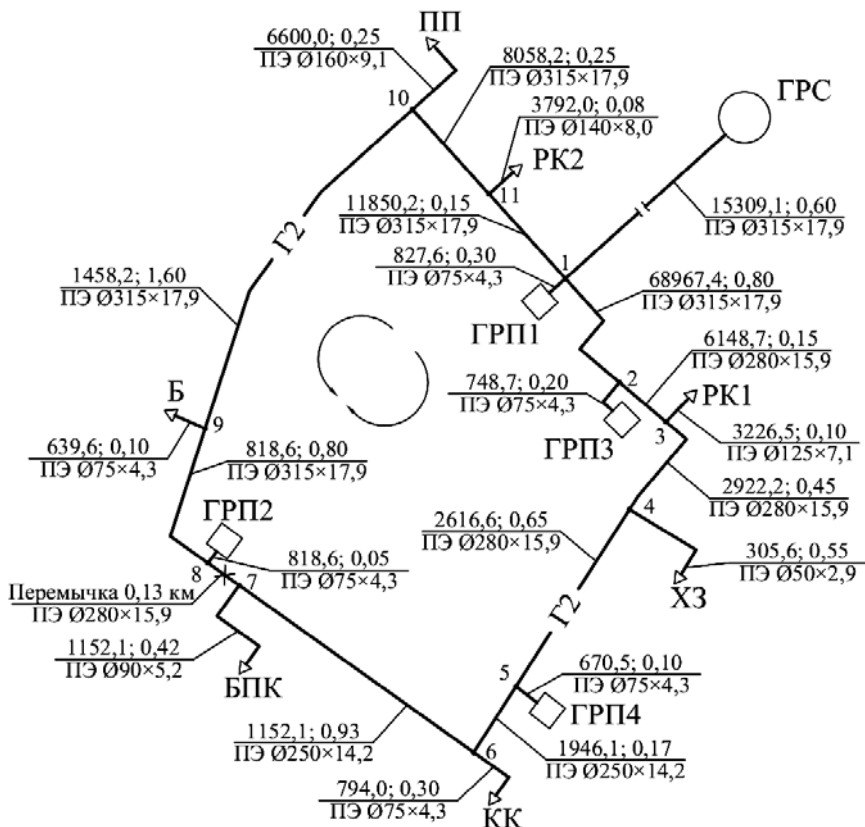


Рис. 4.3. Расчетная схема газопроводов среднего давления для нормального режима

Таблица 4.2

### Расчет расходов газа в аварийном режиме

Наименование потребителя	Принятый $K_{об}$	Расход газа потребителями, $\text{м}^3/\text{ч}$	Расход газа в аварийном режиме, $\text{м}^3/\text{ч}$
РК 2	0,75	3792,0	2844,0
ПП	0,8	6600,0	5280,0
Б	0,85	639,6	543,7
ГРП 2	0,85	818,6	695,8

Наименование потребителя	Принятый $K_{об}$	Расход газа потребителями, м <sup>3</sup> /ч	Расход газа в аварийном режиме, м <sup>3</sup> /ч
БПК	0,7	1152,1	806,5
КК	0,75	794,0	595,5
ГРП 4	0,85	670,5	569,9
ХЗ	0,7	305,6	213,9
РК 1	0,75	3226,5	2419,9
ГРП 3	0,85	748,7	636,4
ГРП 1	0,85	827,6	703,5
Суммарно		19 575,2	15 309,1

Давление газа перед наиболее удаленным от ГРС потребителем принимаем  $P_k = 0,25$  МПа (абс.). Тогда среднеквадратичный перепад давления  $A_{cp}$  по формуле (4.2) равняется

$$A_{cp} = \frac{0,4^2 - 0,25^2}{1,1 \cdot 6,61} = 0,013 \text{ МПа}^2/\text{км}.$$

Линии расхода  $V_p^3 = 9032,4$  м<sup>3</sup>/ч и среднеквадратичного перепада давления  $A_{cp} = 0,013$  МПа<sup>2</sup>/км пересекаются в точке, лежащей между диаметрами полиэтиленовых газопроводов  $280 \times 15,9$  мм и  $225 \times 12,8$  мм (см. рис. 2.2).

Такие диаметры участков газопроводов назначаем, выполняя гидравлический расчет, при этом больший диаметр принимаем на участках кольца, близлежащих к ГРС, а меньший – на участках, расположенных диаметрально противоположно точке питания газом (ГРС).

Расчет сводим в табл. 4.3, в соответствующие графы которой записываем номера участков, фактические и расчетные длины участков, расходы газа. В аварийных режимах расходы газов потребителями определяем с учетом необходимой обеспеченности их газом по формуле (4.3). Расчетные расходы газа каждого участка находим суммированием расходов газа потребителями, начиная от последнего по направлению к ГРС. Так на участках 11-РК 2 и 10-11  $V_p = 3792,0 \times 0,75 = 2844,0$  м<sup>3</sup>/ч; на участке 9-10  $V_p = 0,75 \cdot 3792,0 + 0,8 \cdot 6600,0 =$

= 8124,0 м<sup>3</sup>/ч; на участке 8-9  $V_p = 0,75 \cdot 3792,0 + 0,8 \cdot 6600,0 + 0,85 \times$   
 $\times 639,6 = 8667,7$  м<sup>3</sup>/ч; на участке 7-8  $V_p = 0,75 \cdot 3792,0 + 0,8 \cdot 6600,0 +$   
 $+ 0,85 \cdot 639,6 + 0,85 \cdot 818,6 = 9363,5$  м<sup>3</sup>/ч и т. д.

По номограмме (см. рис. 2.2) для принятого диаметра и известного расхода находим действительные значения среднеквадратичного перепада давления на 1 км газопровода (графа 6). Поскольку плотность используемого газа ( $\rho_0 = 0,88$  кг/м<sup>3</sup>) отличается от плотности стандартного газа ( $\rho_{0\text{ ст}} = 0,73$  кг/м<sup>3</sup>), то в величину  $A$  вводим поправку на плотность по выражению (3.2) и записываем значения  $A_\phi$  в графу 7. Затем рассчитываем перепад давления на участке при известной расчетной длине последнего (графа 8). Давление газа в начале первого участка  $P_n = 0,4$  МПа, давление в конце участка, т. е. в точке 1, определяем по формуле (3.3). Полученное давление  $P_k$  на участке ГРС-1 является начальным для последующего участка 1-2; давление в конце участка 1-2 является начальным для участка 2-3 и т. д. Значения начального и конечного давления на участках записываем в графы 9 и 10. Последним участком в рассматриваемом аварийном режиме является участок 11-РК 2, диаметр которого принят  $140 \times 8,0$  мм. Диаметры ответвлений принимают меньше диаметров участков кольцевой сети. Расчет для аварийного режима I следует считать правильным, если использован располагаемый перепад давления и величина давления в конце участка 11-РК 2 будет равна принятой. Допускается невязка  $\pm 10$  %.

Аналогичным образом выполняется расчет сети для второго аварийного режима с направлением газового потока ГРС-1-11-10-9...4-3-2-ГРП 3.

Для расчета сети при нормальном (расчетном) режиме ее работы выбираем расчетные направления потоков газа от ГРС к потребителям из условия подачи газа к каждому из них по кратчайшему пути. В данном случае одно направление принято ГРС-1-2-3...6-7-БПК, другое – ГРС-1-11-10-9-8-7-ГРП 2. Участок 7-8 принимаем как резервную переемычку. Принимаем диаметры газопроводов – наибольшие из двух вариантов выполнения расчетов сети для аварийных режимов. Для расчетных (полных) расходов газа и принятых диаметров газопроводов определяем потери давления на участках расчетных направлений (по полукольцам) и величины давлений в точках врезки ответвлений (см. табл. 4.3).

Расчет ответвлений к сосредоточенным потребителям производим при расчетном гидравлическом режиме, по известным давлениям в точках врезки их в сеть при соответствующих расходах газа.

При небольшой длине ответвлений к потребителям величина среднеквадратичного перепада давления может превышать предельное значение  $A = 0,1$  МПа<sup>2</sup>/км (см. рис. 2.2). Тогда по известному расходу  $V_p$  и  $A \leq 0,1$  принимаем минимально возможный для этого расхода диаметр ответвления. Например, для ответвления 3-РК1 величина удельного среднеквадратичного перепада давления равняется

$$A_{\text{ср}} = \frac{0,372^2 - 0,25^2}{0,110} = 0,68 \text{ МПа}^2/\text{км}.$$

Принимаем по номограмме минимально возможный диаметр ответвления  $125 \times 7,1$  мм, находим для него действительную величину  $A = 0,078$  МПа<sup>2</sup>/км и рассчитываем конечное давление перед РК1  $P_k = 0,358$  МПа (см. табл. 4.3).

Таблица 4.3

Гидравлический расчет кольцевой сети среднего давления из полиэтиленовых труб

Номер участка	Длина участка, км		Расчетный расход газа на участке $V_p$ , м <sup>3</sup> /ч	Диаметр газопровода $D_n \times \delta$ , мм	Средне-квадратичное падение давления $A$ , МПа <sup>2</sup> /км	Фактическое средне-квадратичное падение давления $A_\phi$ , МПа <sup>2</sup> /км	Среднеквадратичные потери давления на участке $A_\phi L_p$ , МПа <sup>2</sup>	Давление газа, МПа	
	по плану $L$	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 I									
ГРС-1	0,600	0,660	15 309,1	315 × 17,9	0,014	0,0169	0,0112	0,400	0,386
1-2	0,800	0,880	14 605,6	315 × 17,9	0,013	0,0157	0,0138	0,386	0,368
2-3	0,150	0,165	13 969,2	280 × 15,9	0,023	0,0278	0,0046	0,368	0,361
3-4	0,450	0,495	11 549,3	280 × 15,9	0,013	0,0157	0,0078	0,361	0,350
4-5	0,650	0,715	11 335,4	280 × 15,9	0,012	0,0145	0,0104	0,350	0,335
5-6	0,170	0,187	10 765,5	250 × 14,2	0,022	0,0266	0,0050	0,335	0,328
6-7	0,930	1,023	10 170,0	250 × 14,2	0,020	0,0242	0,0247	0,328	0,288
7-8	0,130	0,143	9363,5	280 × 15,9	0,0085	0,010	0,0014	0,288	0,285
8-9	0,800	0,880	8667,7	315 × 17,9	0,005	0,006	0,0053	0,285	0,276
9-10	1,600	1,760	8124,0	315 × 17,9	0,0043	0,0052	0,0092	0,276	0,258
10-11	0,250	0,275	2844,0	315 × 17,9	0,0005	0,0006	0,00017	0,258	0,2579
11-ПК 2	0,080	0,088	2844,0	140 × 8,0	0,033	0,040	0,0035	0,2579	0,251

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Невязка $\frac{0,251 - 0,250}{0,250} \cdot 100 \% = 0,4 \%$									
Аварийный режим II									
ГРС-1	0,600	0,660	15 309,1	280 × 15,9	0,029	0,035	0,023	0,400	0,370
1-11	0,150	0,165	14 605,6	250 × 14,2	0,044	0,053	0,0088	0,370	0,358
11-10	0,250	0,275	11 764,6	250 × 14,2	0,028	0,0034	0,0093	0,358	0,345
10-9	1,600	1,760	6481,6	250 × 14,2	0,008	0,0097	0,0171	0,345	0,319
9-8	0,800	0,880	5937,9	250 × 14,2	0,007	0,008	0,0070	0,319	0,307
8-7	0,130	0,143	5242,1	250 × 14,2	0,0055	0,0066	0,00095	0,307	0,306
7-6	0,930	1,023	4435,6	250 × 14,2	0,0035	0,0042	0,0043	0,306	0,298
6-5	0,170	0,187	3840,1	250 × 14,2	0,0028	0,0034	0,0006	0,298	0,297
5-4	0,650	0,715	3270,2	250 × 14,2	0,0024	0,0029	0,0021	0,297	0,294
4-3	0,450	0,495	3056,3	250 × 14,2	0,0021	0,0025	0,0013	0,294	0,292
3-2	0,150	0,165	636,4	280 × 15,9	0,00005	0,00006	0,00001	0,292	0,2919
2-ГРП 3	0,200	0,2220	636,4	75 × 4,3	0,044	0,0053	0,0112	0,2919	0,272

Продолжение табл. 4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Невязка $\frac{0,272 - 0,250}{0,250} \cdot 100 \% = 8,8 \%$									
Нормальный режим									
Полукольцо ГРС-1-2-3-4-5-6-7-БПК									
ГРС-1	0,600	0,660	19 575,2	315 × 17,9	0,022	0,0266	0,0175	0,400	0,377
1-2	0,800	0,880	6897,4	315 × 17,9	0,003	0,0036	0,0032	0,377	0,373
2-3	0,150	0,165	6148,7	280 × 15,9	0,0038	0,0046	0,0008	0,373	0,372
3-4	0,450	0,495	2922,2	280 × 15,9	0,001	0,0012	0,0006	0,372	0,371
5-6	0,170	0,187	1946,1	250 × 14,2	0,0009	0,0011	0,0002	0,3705	0,370
6-7	0,930	1,023	1152,1	250 × 14,2	0,0003	0,00036	0,0004	0,370	0,369
7-БПК	0,420	0,462	1152,14	90 × 5,2	0,050	0,0604	0,028	0,369	0,330
Полукольцо ГРС-1-11-10-9-8-ГРП 2									
ГРС-1	0,600	0,660	19 575,2	315 × 17,9	0,022	0,0266	0,0175	0,400	0,377
1-11	0,150	0,165	11 850,2	315 × 17,9	0,009	0,011	0,0018	0,377	0,375
11-10	0,250	0,275	8058,2	315 × 17,9	0,0047	0,0057	0,0016	0,375	0,375
10-9	1,600	1,760	1458,2	315 × 17,9	0,00014	0,00017	0,0003	0,373	0,3725
9-8	0,800	0,880	818,6	315 × 17,9	0,00008	0,0001	0,00009	0,3725	0,3724
8-ГРП 2	0,050	0,055	818,6	75 × 4,3	0,075	0,0906	0,005	0,3724	0,366

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
Расчет ответвлений									
1-ГРП 1	0,300	0,330	827,6	75 × 4,3	0,076	0,092	0,0303	0,377	0,334
2-ГРП 3	0,200	0,220	748,7	75 × 4,3	0,063	0,076	0,017	0,373	0,349
3-РК 1	0,100	0,110	3226,5	125 × 7,1	0,078	0,094	0,0104	0,372	0,358
4-ХЗ	0,550	0,605	305,6	50 × 2,9	0,080	0,0967	0,0585	0,371	0,281
5-ГРП 4	0,100	0,110	670,5	75 × 4,3	0,050	0,0604	0,0066	0,3705	0,361
6-КК	0,300	0,330	794,0	75 × 4,3	0,070	0,085	0,028	0,370	0,330
9-Б	0,100	0,110	639,6	75 × 4,3	0,045	0,054	0,006	0,3725	0,364
10-ПП	0,250	0,275	6600,0	160 × 9,1	0,082	0,099	0,0272	0,373	0,335
11-РК 2	0,08	0,088	3792,0	140 × 8,0	0,060	0,072	0,0063	0,375	0,366



**Пример 4.2.** Рассчитать кольцевую систему газоснабжения высоко-го давления II категории из полиэтиленовых труб с абсолютной эквивалентной шероховатостью стенок труб  $k_s = 0,002$  см. Расчетные расходы газа, нумерация участков и их длины приведены на расчетных схемах (рис. 4.4–4.6). Давление газа после ГРС  $P_H = 0,7$  МПа (абс.). Используется природный газ с плотностью  $\rho_0 = 0,82$  кг/м<sup>3</sup>.

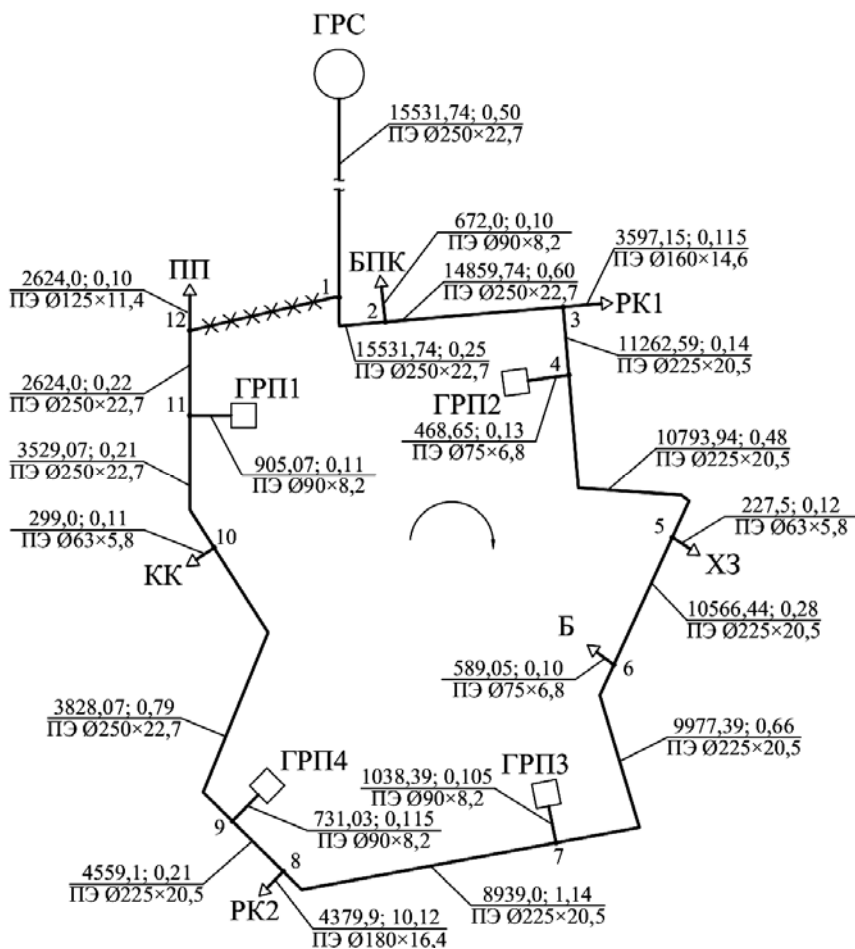


Рис. 4.4. Расчетная схема газопроводов высокого давления категории II для аварийного режима I

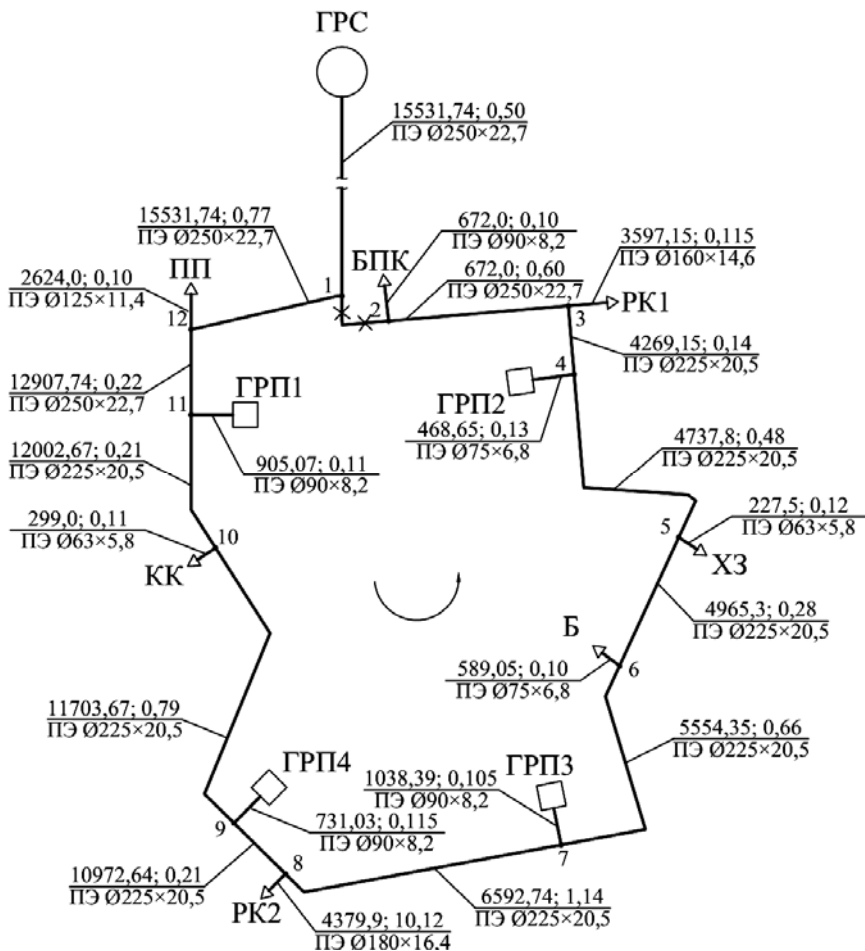


Рис. 4.5. Расчетная схема газопроводов высокого давления категории II для аварийного режима II

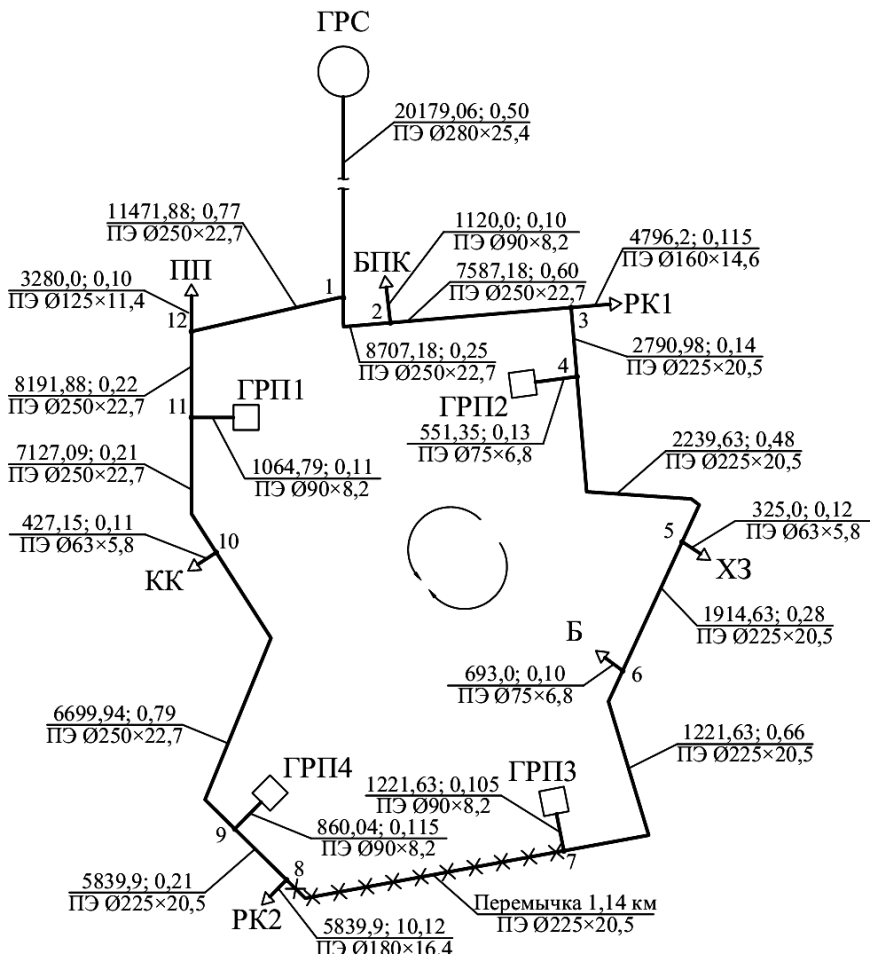


Рис. 4.6. Расчетная схема газопроводов высокого давления категории II для нормального режима

*Решение.* Расчет кольцевой системы выполняем для трех режимов ее работы:

- 1) аварийного режима I – при отключенном участке 1-12;
- 2) аварийного режима II – при отключенном участке 1-2;
- 3) нормального (расчетного) режима.

В аварийном режиме I газ поступает к потребителям по направлению ГРС-1-2-3...10-11-12-ПП. Общая протяженность газопроводов этого направления  $\sum L = 5,58$  км.

Расчетный (эквивалентный) расход газа по формуле (4.1)

$$V_p^3 = 0,59 \cdot (3280,0 \cdot 0,80 + 1064,79 \cdot 0,85 + 427,15 \cdot 0,70 + 860,04 \cdot 0,85 + 5839,9 \cdot 0,75 + 1221,63 \cdot 0,85 + 693,0 \cdot 0,85 + 325,0 \cdot 0,70 + 551,35 \cdot 0,85 + 4796,2 \cdot 0,75 + 1120,0 \cdot 0,6) = 0,59 \cdot 15531,74 = 9163,73 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Давление газа перед наиболее удаленным от ГРС потребителем в аварийных режимах принимаем  $P_k = 0,45$  МПа (абс.). Тогда среднеквадратичный перепад давления по формуле (4.2)

$$A_{cp} = \frac{0,7^2 - 0,45^2}{1,1 \cdot 5,58} = 0,047 \text{ МПа}^2/\text{км}.$$

Линии расхода  $V_p^3 = 9163,73 \text{ м}^3/\text{ч}$  и среднеквадратичного перепада давления  $A_{cp} = 0,047 \text{ МПа}^2/\text{км}$  пересекаются в точке, лежащей между диаметрами полиэтиленовых газопроводов  $250 \times 22,7$  мм и  $225 \times 20,5$  мм (см. рис. 2.3).

Такие диаметры участков газопроводов назначаем, выполняя гидравлический расчет, при этом больший диаметр принимаем на участках кольца, близлежащих к ГРС, а меньший – на участках, расположенных диаметрально противоположно точке питания газом (ГРС).

Расчет сводим в табл. 4.4. Выполняем в последовательности, приведенной в предыдущем примере. При определении действительных значений среднеквадратического перепада давления на 1 км газопровода используем номограмму, приведенную на рис. 2.3. Расчет первого аварийного режима не требует корректирования, поскольку величина давления в конце участка 12-ПП незначительно отличается от принятой (допускается невязка  $\pm 10$  %).

Аналогичным образом выполняется расчет сети для второго аварийного режима с направлением газового потока ГРС-1-12-11-10...3-2-БПК.

При расчете сети при нормальном режиме ее работы одно расчетное направление принято ГРС-1-2...6-7-ГРП 3, другое – ГРС-1-12...9-8-РК 2 (из условия подачи газа потребителям по кратчайшему пути).

При этом принимаем диаметры участков газопровода наибольшими из двух вариантов расчета сети для аварийных режимов.

Затем производим расчет ответвлений к потребителям при нормальном гидравлическом режиме по известным давлениям в точках врезки их в сеть при соответствующих расходах газа. Диаметры газопроводов принимаем минимально возможными для заданных расходов газа.

Гидравлический расчет кольцевой сети высокого давления из полиэтиленовых труб

Номер участка	Длина участка, км		Расчетный расход газа на участке $V_p, \text{ м}^3/\text{ч}$	Диаметр газопровода $D_n \times \delta, \text{ мм}$	Средне-квадратичное падение давления $A, \text{ МПа}^2/\text{км}$	Фактическое средне-квадратичное падение давления $A_{\text{ф}}, \text{ МПа}^2/\text{км}$	Среднеквадратичные потери давления на участке $A_{\text{ф}}L_p, \text{ МПа}^2$	Давление газа, МПа	
	по плану $L$	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 I									
ГРС-1	0,500	0,550	15 531,74	250 × 22,7	0,0686	0,0771	0,0424	0,700	0,669
1-2	0,250	0,275	15 531,74	250 × 22,7	0,0686	0,0771	0,0212	0,669	0,653
2-3	0,600	0,660	14 859,74	250 × 22,7	0,0628	0,0705	0,0466	0,653	0,616
3-4	0,140	0,154	11 262,59	225 × 20,5	0,0630	0,0707	0,0109	0,616	0,607
4-5	0,480	0,528	10 793,94	225 × 20,5	0,0578	0,0650	0,0343	0,607	0,579
5-6	0,280	0,308	10 566,44	225 × 20,5	0,0554	0,0623	0,0192	0,579	0,562
6-7	0,660	0,726	9977,39	225 × 20,5	0,0494	0,0555	0,0403	0,562	0,525
7-8	1,140	1,254	8939,0	225 × 20,5	0,0397	0,0446	0,0559	0,525	0,468
8-9	0,210	0,231	4559,1	225 × 20,5	0,0103	0,0116	0,0027	0,468	0,465
9-10	0,790	0,869	3828,07	250 × 22,7	0,0042	0,0047	0,0041	0,465	0,4611
10-11	0,210	0,231	3529,07	250 × 22,7	0,0035	0,00398	0,00092	0,4611	0,4601
11-12	0,220	0,242	2624,0	250 × 22,7	0,00196	0,0022	0,00053	0,4601	0,4595
12-ПП	0,100	0,110	2624,0	125 × 11,4	0,0749	0,08412	0,00925	0,4595	0,4494

Продолжение табл. 4.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Невязка $\frac{0,4494 - 0,450}{0,450} \cdot 100 \% = -0,14 \%$									
Аварийный режим II									
ГРС-1	0,500	0,550	15 531,74	250 × 22,7	0,0686	0,0771	0,0424	0,700	0,669
1-12	0,770	0,847	15 531,74	250 × 22,7	0,0686	0,0771	0,0653	0,669	0,618
12-11	0,220	0,242	12 907,74	250 × 22,7	0,0474	0,0532	0,0129	0,618	0,608
11-10	0,210	0,231	12 002,67	225 × 20,5	0,0715	0,0803	0,0186	0,608	0,592
10-9	0,790	0,869	11 703,67	225 × 20,5	0,0679	0,0764	0,0664	0,592	0,533
9-8	0,210	0,231	10 972,64	225 × 20,5	0,0598	0,0671	0,0155	0,533	0,519
8-7	1,140	1,254	6592,74	225 × 20,5	0,0216	0,0242	0,0304	0,519	0,489
7-6	0,660	0,726	5554,35	225 × 20,5	0,0153	0,0172	0,0125	0,489	0,476
6-5	0,280	0,308	4965,3	225 × 20,5	0,0122	0,0138	0,0042	0,476	0,471
5-4	0,480	0,528	4737,8	225 × 20,5	0,0111	0,0125	0,0066	0,471	0,464
4-3	0,140	0,154	4269,15	225 × 20,5	0,00905	0,01016	0,00156	0,464	0,4624
3-2	0,600	0,660	672,0	250 × 22,7	0,00013	0,00014	0,0001	0,4624	0,4623
2-БПК	0,100	0,110	672,0	75 × 6,8	0,0713	0,0801	0,0088	0,4623	0,4526
Невязка $\frac{0,4526 - 0,450}{0,450} \cdot 100 \% = 0,59 \%$									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Нормальный режим									
Полукольцо ГРС-1-2-3-4-5-6-7-ГРПЗ									
ГРС-1	0,500	0,550	20 179,06	280 × 25,4	0,0638	0,0717	0,0394	0,7000	0,6713
1-2	0,250	0,275	8707,18	250 × 22,7	0,0216	0,0242	0,0067	0,6713	0,6663
2-3	0,600	0,660	7587,18	250 × 22,7	0,0164	0,0184	0,0121	0,6663	0,6572
3-4	0,140	0,154	2790,98	225 × 20,5	0,0039	0,0043	0,0007	0,6572	0,6567
4-5	0,480	0,528	2239,63	225 × 20,5	0,0025	0,0028	0,0015	0,6567	0,6556
5-6	0,280	0,308	1914,63	225 × 20,5	0,0018	0,0020	0,00063	0,6556	0,6551
6-7	0,660	0,726	1221,63	225 × 20,5	0,0007	0,0008	0,00060	0,6551	0,6546
7-ГРПЗ	0,105	0,116	1221,63	90 × 8,2	0,0909	0,1022	0,0118	0,6546	0,6455
Полукольцо ГРС-1-12-11-10-9-8-РК 2									
ГРС-1	0,500	0,550	20 179,06	280 × 25,4	0,1158	0,1301	0,0715	0,700	0,6713
1-12	0,770	0,847	11 471,88	250 × 22,7	0,0374	0,0420	0,0356	0,6713	0,6442
12-11	0,220	0,242	8191,88	250 × 22,7	0,0191	0,0214	0,0052	0,6442	0,6402
11-10	0,210	0,231	7127,09	250 × 22,7	0,0144	0,0162	0,0038	0,6402	0,6372
10-9	0,790	0,869	6699,94	250 × 22,7	0,0128	0,0143	0,0125	0,6372	0,6273
9-8	0,210	0,231	5839,9	225 × 20,5	0,0169	0,0190	0,0044	0,6273	0,6238
8-РК 2	0,120	0,132	5839,9	180 × 16,4	0,0546	0,0614	0,0081	0,6238	0,6173



Окончание табл. 4.4

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
Расчет ответвлений									
2-БПК	0,100	0,110	1120,0	90 × 8,2	0,0765	0,0859	0,0095	0,6663	0,6591
3-РК 1	0,115	0,127	4796,2	160 × 14,6	0,0685	0,0769	0,0097	0,6572	0,6498
4-ГРП 2	0,130	0,143	551,35	75 × 6,8	0,0479	0,0539	0,0077	0,6567	0,6508
5-ХЗ	0,120	0,132	325,0	63 × 5,8	0,0424	0,0476	0,0063	0,6556	0,6508
6-Б	0,100	0,110	693,0	75 × 6,8	0,0758	0,0851	0,0094	0,6551	0,6479
7-ГРП 3	0,105	0,116	1221,63	90 × 8,2	0,0909	0,1022	0,0118	0,6546	0,6455
8-РК 2	0,120	0,132	5839,9	180 × 16,4	0,0546	0,0614	0,0081	0,6238	0,6173
9-ГРП 4	0,115	0,127	860,04	90 × 8,2	0,0451	0,0506	0,0064	0,6273	0,6222
10-КК	0,110	0,121	427,15	63 × 5,8	0,0732	0,0823	0,0099	0,6372	0,6294
11-ГРП 1	0,110	0,121	1064,79	90 × 8,2	0,0691	0,0776	0,0094	0,6402	0,6328
12-ПП	0,100	0,110	3280,0	140 × 12,7	0,0641	0,0720	0,0079	0,6442	0,6380

**Пример 4.3.** Рассчитать кольцевую систему газоснабжения высоко-го давления II категории из полиэтиленовых труб с абсолютной эквивалентной шероховатостью стенок труб  $k_s = 0,0007$  см. Расчетные расходы газа, нумерация участков и их длины приведены на расчетных схемах (рис. 4.7–4.9). Давление газа после ГРС  $P_n = 0,7$  МПа (абс.). Используется природный газ с плотностью  $\rho_0 = 0,80$  кг/м<sup>3</sup>.

*Решение.* Расчет кольцевой системы выполняем для трех режимов ее работы:

- 1) аварийного режима I – при отключенном участке 1-11;
- 2) аварийного режима II – при отключенном участке 1-2;
- 3) нормального (расчетного) режима.

В аварийном режиме I газ поступает к потребителям по направлению ГРС-1-2-3...10-11-РК1. Общая протяженность газопроводов этого направления  $\sum L = 11861$  м.

Расчетный (эквивалентный) расход газа по формуле (4.1)

$$\begin{aligned} V_p^3 &= 0,59 \cdot (9259,6 \cdot 0,75 + 1943,6 \cdot 0,80 + 1331,2 \cdot 0,65 + \\ &+ 1177,9 \cdot 0,85 + 1235,0 \cdot 0,80 + 396,35 \cdot 0,70 + 4900,0 \cdot 0,80 + \\ &+ 387,0 \cdot 0,70 + 1146,9 \cdot 0,80 + 8811,0 \cdot 0,75) = \\ &= 0,59 \cdot 23347,6 = 13\,775,5 \text{ м}^3/\text{ч}. \end{aligned}$$

Давление газа перед наиболее удаленным от ГРС потребителем в аварийных режимах принимаем  $P_k = 0,45$  МПа (абс.). Тогда сред-неквадратичный перепад давления  $A_{cp}$  по выражению (4.2)

$$A_{cp} = \frac{700^2 - 450^2}{1,1 \cdot 11861} = 22,04 \text{ кПа}^2/\text{м}.$$

Линии расхода  $V_p^3 = 13\,775,5$  м<sup>3</sup>/ч и среднеквадратичного перепада давления  $A_{cp} = 22,04$  кПа<sup>2</sup>/м пересекаются в точке, лежащей между диаметрами полиэтиленовых газопроводов  $280 \times 25,4$  мм и  $315 \times 28,6$  мм (см. прил. Д).

Такие диаметры участков газопроводов назначаем, выполняя гидравлический расчет, при этом больший диаметр принимаем на участках кольца, близлежащих к ГРС, а меньший – на участках, расположенных диаметрально противоположно точке питания газом (ГРС).

Расчет сводим в табл. 4.5. Выполняем в последовательности, приведенной в примере 4.1. При определении действительных значений среднеквадратического перепада давления на 1 м газопровода используем номограммы, приведенные в прил. Д. Расчет первого аварийного режима не требует корректирования, поскольку величина давления в конце участка 11-РК 1 незначительно отличается от принятой (допускается невязка  $\pm 10\%$ ).

Аналогичным образом выполняется расчет сети для второго аварийного режима с направлением газового потока – ГРС-1-11-10...3-2-РК 2.

При расчете сети при нормальном режиме ее работы одно расчетное направление принято ГРС-1-2...6-7-ГРП 3, другое – ГРС-1-11...9-8-Б (из условия подачи газа потребителям по кратчайшему пути).

При этом принимаем диаметры участков газопровода наибольшими из двух вариантов расчета сети для аварийных режимов.

Затем производим расчет ответвлений к потребителям при нормальном гидравлическом режиме по известным давлениям в точках врезки их в сеть при соответствующих расходах газа. Диаметры газопроводов принимаем минимально возможными для заданных расходов газа.

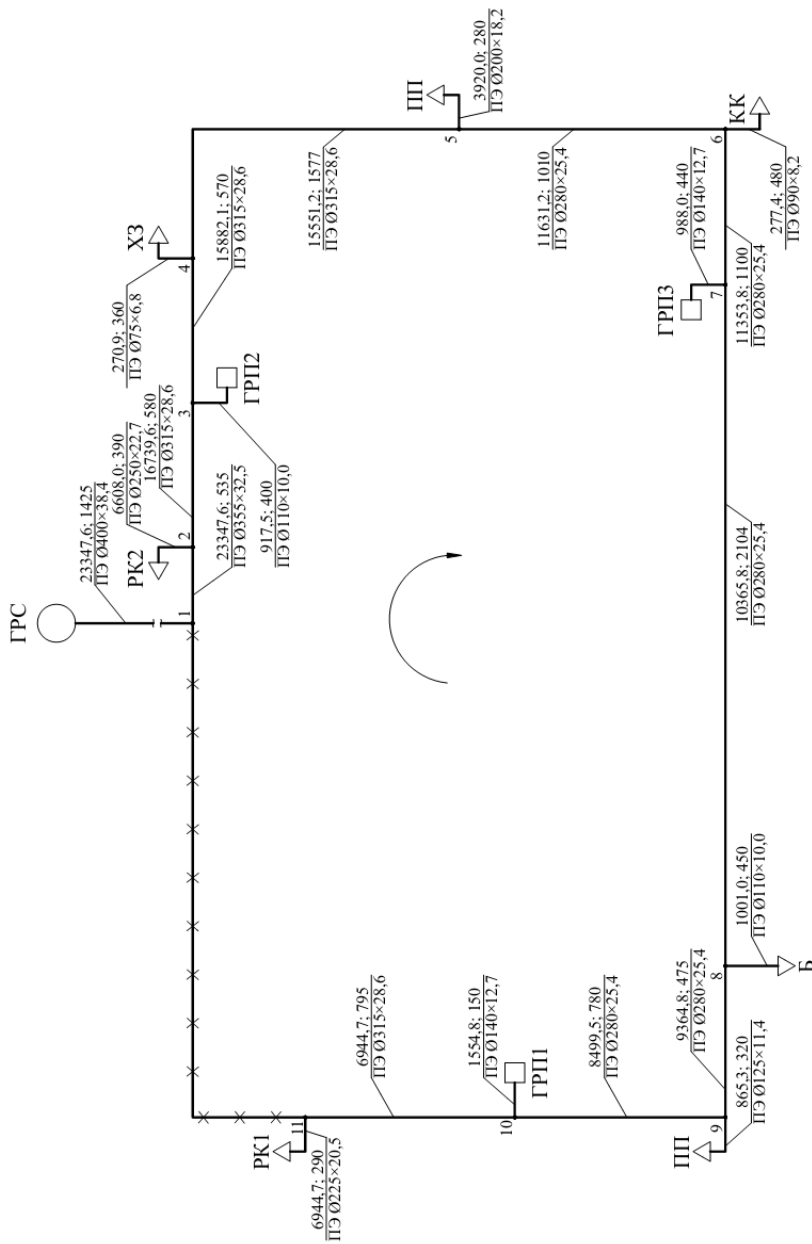


Рис. 4.7. Расчетная схема газопроводов высокого давления категории II для аварийного режима I

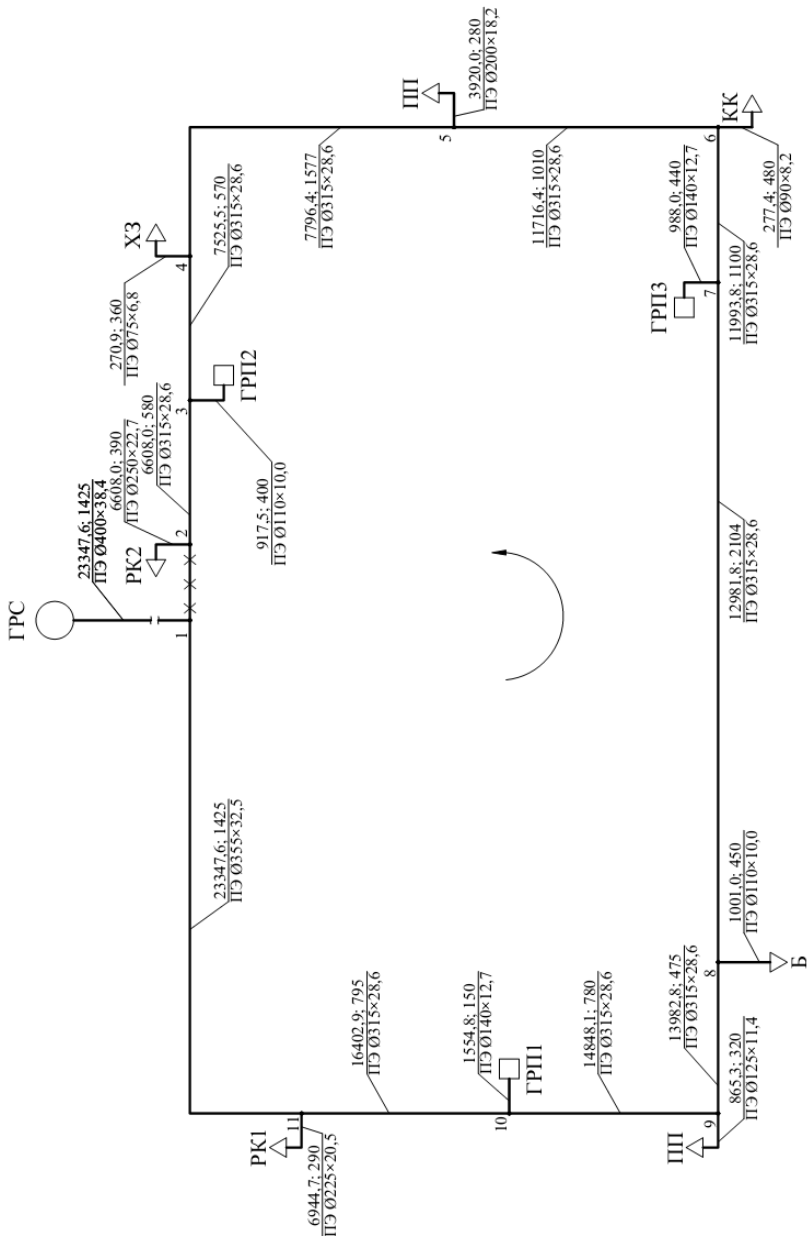


Рис. 4.8. Расчетная схема газопроводов высокого давления категории II для аварийного режима II

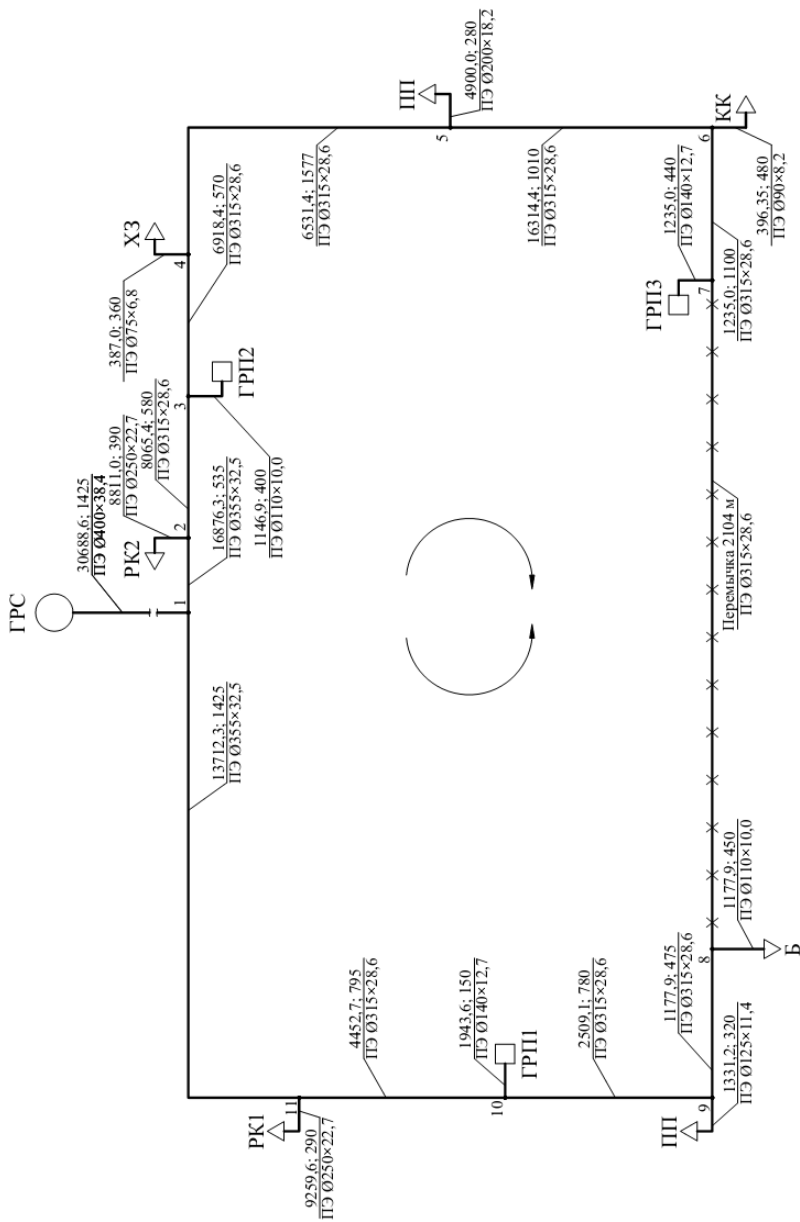


Рис. 4.9. Расчетная схема газопроводов высокого давления категории II для нормального режима

Таблица 4.5

## Гидравлический расчет кольцевой сети высокого давления из полиэтиленовых труб

Номер участка	Длина участка, км		Расчетный расход газа на участке $V_p, \text{ м}^3/\text{ч}$	Диаметр газопровода $D_n \times \delta, \text{ мм}$	Средне-квадратичное падение давления $A, \text{ МПа}^2/\text{км}$	Фактическое средне-квадратичное падение давления $A_f, \text{ МПа}^2/\text{км}$	Среднеквадратичные потери давления на участке $A_f L_p, \text{ МПа}^2$	Давление газа, МПа	
	по плану $L$	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 I									
ГРС-1	1425,0	1567,5	23 347,6	400 × 38,4	14,5	15,95	25 000	700,0	681,9
1-2	535,0	588,5	23 347,6	355 × 32,5	25,0	27,5	16 088	681,9	670,0
2-3	580,0	638,0	16 739,6	315 × 28,6	23,6	25,96	16 562	670,0	657,5
3-4	570,0	627,0	15 882,1	315 × 28,6	21,2	23,32	14 622	657,5	646,3
4-5	1577,0	1734,7	15 551,2	315 × 28,6	19,0	20,9	36 255	646,3	617,6
5-6	1010,0	1111,0	11 631,2	280 × 25,4	20,8	22,88	25 420	617,6	590,7
6-7	1100,0	1210,0	11 353,8	280 × 25,4	19,7	21,67	26 221	590,7	574,3
7-8	2104,0	2314,4	10 365,8	280 × 25,4	16,8	18,44	42 770	574,3	535,8
8-9	475,0	522,5	9364,8	280 × 25,4	13,8	15,18	7932	535,8	528,3
9-10	780,0	858,0	8499,5	280 × 25,4	11,3	12,43	10 665	528,3	518,1
10-11	795,0	874,5	6944,7	315 × 28,6	4,0	4,4	3848	518,1	514,4
11-ПК 1	910,0	1001,0	6944,7	225 × 20,5	18,5	20,35	20 370	514,4	494,2
Невязка $\frac{494,2 - 450,0}{450,0} \cdot 100 = 9,82 \%$									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Аварийный режим II									
ГРС-1	1425,0	1567,5	23 347,6	400 × 38,4	14,5	15,95	25 000	700,0	681,9
1-11	2280,0	2508,0	23 347,6	355 × 32,5	25,0	27,5	68 970	681,9	629,3
11-10	795,0	874,5	16 402,9	315 × 28,6	22,6	24,06	21 740	629,3	611,8
10-9	780,0	858,0	14 842,1	315 × 28,6	20,4	22,44	19 254	611,8	595,8
9-8	475,0	522,5	13 982,8	315 × 28,6	16,5	18,15	9483	595,8	587,8
8-7	2104,0	2314,4	12 381,8	315 × 28,6	14,2	15,62	36 151	587,8	556,2
7-6	1100,0	1210,0	11 993,8	315 × 28,6	12,1	13,31	16 105	556,2	541,6
6-5	1010,0	1111,0	11 716,4	315 × 28,6	11,3	12,43	13 810	541,6	528,7
5-4	1577,0	1734,7	7796,4	315 × 28,6	5,3	5,83	10 113	528,7	519,0
4-3	570,0	627,0	7525,5	315 × 28,6	4,7	5,17	3242	519,0	515,9
3-2	580,0	638,0	6608,0	315 × 28,6	3,6	3,96	2526	515,9	513,4
2-ПК 2	940,0	1034,0	6608,0	225 × 20,5	17,1	18,71	19 346	513,4	494,2
Невязка $\frac{494,2 - 450,0}{450,0} \cdot 100 = 9,82\%$									
Нормальный режим									
Полукольцо ГРС-1-2-3-4-5-6-7-ГРП 3									
ГРС-1	1425,0	1567,5	30 688,6	400 × 38,4	24,2	26,62	41 727	700,0	669,6
1-2	535,0	588,5	16 876,3	355 × 32,5	23,7	26,07	15 134	669,6	658,1
2-3	580,0	638,0	8065,4	315 × 28,6	5,4	5,94	3790	658,1	655,2
3-4	570,0	627,0	6918,4	315 × 28,6	3,9	4,29	2690	655,2	653,2
4-5	1577,0	1734,7	6531,4	315 × 28,6	3,2	3,52	6106	653,2	648,5



Окончание табл. 4.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5-6	1010,0	1111,0	1631,4	315 × 28,6	0,22	0,24	267	648,5	648,3
6-7	1100,0	1210,0	1235,0	315 × 28,6	0,2	0,22	266	648,3	648,1
7-ГРП 3	440,0	484,0	1235,0	140 × 12,7	18,7	20,57	9956	648,1	640,4
Полукольцо ГРС-1-11-10-9-8-Б									
ГРС-1	1425,0	1567,5	30 688,6	400 × 38,4	24,2	26,62	41 727	700,0	669,6
1-11	2280,0	2508,0	13 712,3	355 × 32,5	8,5	9,35	23 450	669,6	651,9
11-10	795,0	874,5	4452,7	315 × 28,6	1,7	1,87	1585	651,9	650,6
10-9	780,0	858,0	2509,1	315 × 28,6	0,53	0,58	498	650,6	650,3
9-8	475,0	522,5	1177,9	315 × 28,6	0,12	0,13	68	650,3	650,2
8-ГРП 2	450,0	495,0	1177,9	110 × 10,0	25,0	27,5	13 613	650,2	639,3
Расчет ответвлений									
2-РК 2	390,0	429,0	8811,0	250 × 22,7	22,6	24,86	10 665	658,1	649,9
3-ГРП 2	400,0	440,0	1146,9	110 × 10,0	24,6	27,06	11 906	655,2	646,1
4-ХЗ	360,0	396,0	387,0	75 × 6,8	25,6	28,16	11 151	653,2	644,6
5-ПП	280,0	308,0	4900,0	200 × 18,2	22,7	24,97	7691	648,5	642,5
6-КК	480,0	528,0	396,35	90 × 8,2	20,2	22,22	11 732	648,3	639,2
9-БПК	320,0	352,0	1331,2	125 × 11,4	21,5	23,65	8325	650,3	643,9
10-ГРП 1	150,0	165,0	1943,6	140 × 18,7	24,0	26,4	4356	650,6	647,2
11-РК 1	290,0	319,0	9259,6	250 × 22,7	24,7	27,17	8667	651,9	645,2

## Глава 5. РАСЧЕТ ГАЗОПРОВОДОВ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ

Предварительно выполняется разводка газовых сетей низкого давления внутри района (квартала) и составляется расчетная схема газопроводов. Для газоснабжения принимается разветвленная (или кольцевая) сеть, наиболее целесообразная для данной застройки. Число врезок в распределительный газопровод соответствует числу вводов в жилое здание. При кольцевой схеме назначается точка встречи потоков газа, направляемого по полукольцам. Она выбирается таким образом, чтобы последний участок каждого полукольца был нагружен путевым или транзитным расходом.

Схема газопроводов разбивается на расчетные участки с указанием их длины и расхода газа на них. Выделяются участки с путевым расходом газа, транзитным, с путевым и транзитным одновременно. Нумерация начинается с самого удаленного от ввода в квартал участка.

Расход газа на квартал определяем по выражению

$$V_{\text{кв}} = \frac{N_{\text{кв}} V_{\text{ГРП}}^{\text{жд}}}{N_{\text{ГРП}}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $N_{\text{кв}}$  – число жителей, проживающих в данном квартале, чел.;

$V_{\text{ГРП}}^{\text{жд}}$  – расход газа на жилые дома соответствующей этажности в зоне действия того ГРП, к которому относится квартал,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$N_{\text{ГРП}}$  – количество жителей, проживающих в жилых домах соответствующей этажности в зоне действия данного ГРП, чел.

Если в квартале имеются только сосредоточенные потребители, то расход газа на участках сети определяется суммированием сосредоточенных расходов, начиная с последнего потребителя (см. главу 3).

При наличии участков с путевым отбором газа для определения расчетных расходов находится удельный расход на таких участках:

$$V_{\text{уд}} = \frac{V_{\text{кв}} - V_{\text{ком}}}{\sum L_{\text{п}}}, \text{ м}^3 / (\text{ч} \cdot \text{м}), \quad (5.1)$$

где  $V_{\text{кв}}$  – расчетный расход газа на квартал,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$V_{\text{ком}}$  – сосредоточенный расход газа мелкими коммунальными потребителями (столовые, кафе и др.),  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$\Sigma L_{\text{п}}$  – суммарная длина участков с путевым отбором газа, м. Для участков с односторонним отбором газа (при одностороннем присоединении вводов к распределительному газопроводу)  $L_{\text{п}}$  принимается равной половине их фактической длины; для участков с двухсторонним отбором  $L_{\text{п}} = L$ .

По удельному расходу газа определяется величина полного путевого расхода на участках с путевым отбором газа  $V_{\text{п}} = V_{\text{уд}} L_{\text{п}}$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ), и эквивалентного (по создаваемой потере давления) расхода  $V_{\text{э}} = 0,5V_{\text{п}}$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ), а затем и расчетного на участках  $V_{\text{р}}$  по выражению

$$V_{\text{р}} = V_{\text{тр}} + 0,5V_{\text{п}}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (5.2)$$

После определения расчетных расходов по всем участкам приступают к подбору диаметров газопроводов. Расчет начинается с наиболее протяженной и нагруженной ветки. Для нее находят средние удельные потери давления по формуле

$$R_{\text{ср}} = \frac{\Delta P}{1,1 \Sigma L}, \text{ Па/м}, \quad (5.3)$$

где  $\Delta P$  – расчетный перепад давления в сети, Па (для района действия ГРП располагаемое давление составляет 1200 Па, для квартала – указывается в задании);

$\Sigma L$  – суммарная фактическая длина участков газопроводов расчетной ветки, м;

1,1 – коэффициент, учитывающий потери давления в местных сопротивлениях.

На величину  $R_{\text{ср}}$  ориентируются при выборе диаметров газопроводов по таблицам или номограммам (см. рис. 2.1, прил. Д).

Приняв диаметры участков газопроводов, находят удельные потери давления на участках  $R$  (Па/м) и в случае необходимости вносят в них поправку на плотность газа

$$R_{\phi} = R \frac{\rho_0}{\rho_{0_{\text{ст}}}}, \text{ Па/м}, \quad (5.4)$$

где  $R_{\phi}$  – фактические удельные потери давления, Па/м;

$\rho_0$  – плотность используемого газа, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{0_{\text{ст}}}$  – плотность стандартного газа, кг/м<sup>3</sup>.

Далее определяют расчетную длину участков  $L_p = 1,1L$  (м), потери давления на них  $R_{\phi}L_p$  (Па) и суммарные потери давления на расчетном направлении  $\Sigma R_{\phi}L_p$  (Па). Если невязка по отношению к предполагаемому давлению не превышает допустимую (5 %), то расчет не требует корректировки.

Затем приступают к расчету ответвлений и других веток системы.

Возможны случаи, когда в ближайших ко вводу в квартал ответвлениях не представляется возможным израсходовать располагаемое давление. Тогда диаметр ответвления назначается конструктивно – не менее диаметра ввода в здание, и определяется действительная потеря давления в ответвлении.

Диаметр распределительных газопроводов кольцевых сетей принимается не менее 50 мм.

**Пример 5.1.** Для квартала города (рис. 5.1), застроенного 4- и 5-секционными 9-этажными жилыми домами, расход газа на приготовление пищи составляет 156,6 м<sup>3</sup>/ч. Расход газа 4-секционным жилым домом составляет 11,6 м<sup>3</sup>/ч, 5-секционным – 14,5 м<sup>3</sup>/ч. Используется природный газ с плотностью  $\rho_0 = 0,77$  кг/м<sup>3</sup>. Для газоснабжения потребителей квартала используются газопроводы низкого давления из полиэтиленовых труб с шероховатостью стенок трубы  $k_3 = 0,007$  см. Располагаемый перепад давления составляет  $\Delta P_{\text{кв}} = 910$  Па. Необходимо произвести гидравлический расчет распределительных газопроводов низкого давления.

*Решение.* Принимаем тупиковую систему газоснабжения потребителей квартала, как наиболее целесообразную для данной застройки. Составляем расчетную схему квартальных газопроводов низкого давления (см. рис. 5.1). Определяем расчетные расходы газа на участках сети путем суммирования расходов жилыми домами, начиная от последнего потребителя (см. графу 3 табл. 5.1). Нумера-

цию начинаем с самого удаленного от ввода в квартал участка. Расход газа на участке 8 должен быть равен  $V_{\text{кв}} = 156,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

После определения расчетных расходов газа по всем участкам приступаем к подбору диаметров газопроводов. Расчет начинаем с наиболее протяженной и нагруженной левой ветви. Для нее определяем по генплану квартала суммарную фактическую длину газопроводов  $\sum L$  и по формуле (5.3) находим среднюю удельную потерю давления  $R_{\text{ср}}$  (Па/м).

Для рассматриваемой ветки  $\sum L$  равна сумме длин участков с 1 по 8, т. е.  $\sum L = 128,0 + 125,0 + 75,0 + 62,0 + 124,0 + 136,0 + 70,0 + 85,0 = 805 \text{ м}$ .

Средние удельные потери давления составят

$$R_{\text{ср}} = \frac{910}{1,1 \cdot 805} = 1,03 \text{ Па/м}.$$

Ориентируясь на величину  $R_{\text{ср}}$ , подбираем диаметры газопроводов по номограмме (см. прил. Д). Для выбранных диаметров участков газопроводов находим по номограмме удельные потери на трение на участках  $R$  (графа 6) и вносим в них поправку на плотность газа по выражению (5.4) (графа 7).

Затем определяем расчетную длину  $L_p = 1,1L$  (графа 8) и потери давления на участке длину  $R_{\phi}L_p$  (графа 9).

Общие потери давления на расчетной ветке составили 937,8 Па. Так как невязка по отношению к располагаемому давлению меньше допустимой (5 %), то расчет не требует корректировки.

Затем приступаем к расчету ответвления. Располагаемое давление для расчета участков 9-10 равно потерям давления на участках 1-2-3. Расчет производим в той же последовательности.

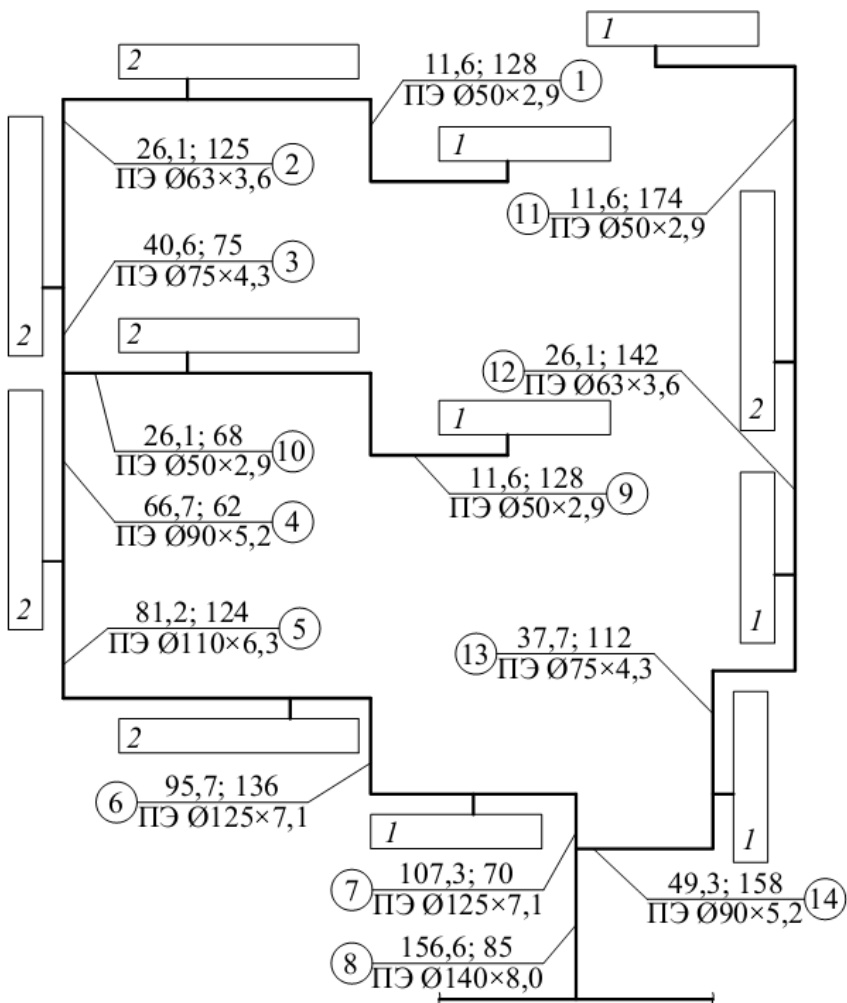


Рис. 5.1. Расчетная схема квартальных газопроводов низкого давления

⑪ – номер участка

расчетный расход газа на участке (м<sup>3</sup>/ч)  
расчетная длина участка (м)

⑪  $\frac{95,7; 136}{\text{ПЭ } \text{Ø}127 \times 9,1}$  —  $\frac{\text{наружный диаметр газопровода} \times \text{толщина стенки трубы (мм)}}{\text{расчетная длина участка (м)}}$

После расчета отвления аналогично левой рассчитываем правую ветку. Располагаемое давление для нее равно потерям давления на участках 1-2-3-4-5-6-7, т. е. 859,3 Па.

Таблица 5.1

Гидравлический расчет распределительных газопроводов  
низкого давления из полиэтиленовых труб

Участок	Длина участка, м		$V_p$ , М <sup>3</sup> /ч	$D_n \times \delta$ , мм	$R$ , Па/м	$R_\phi$ , Па/м	$R_\phi L_p$ , Па	$\sum R_\phi L_p$ , Па
	по плану $L$	расчетная $L_p = 1,1L$						
Располагаемое давление $P = 910$ Па, $R_{cp} = 1,03$ Па/м								
1	128,0	140,8	11,6	50 × 2,9	1,20	1,26	177,4	177,4
2	125,0	137,5	26,1	63 × 3,6	1,60	1,68	231,0	405,4
3	75,0	82,5	40,6	75 × 4,3	1,62	1,70	140,3	545,7
4	62,0	68,2	66,7	90 × 5,2	0,60	0,63	43,0	588,7
5	124,0	136,4	81,2	110 × 6,3	0,82	0,86	117,4	706,1
6	136,0	149,6	95,7	125 × 7,1	0,60	0,63	94,2	800,3
7	70,0	77,0	107,3	125 × 7,1	0,73	0,77	59,0	859,3
8	85,0	93,5	156,6	140 × 8,0	0,80	0,84	78,5	937,8
$\Sigma$	805,0	885,5						
Невязка $\delta = \frac{937,8 - 910,0}{910,0} \cdot 100 = 3,06\%$								
Располагаемое давление $P = 545,7$ Па, $R_{cp} = 545,7/1,1 \cdot 196,0 = 2,53$ Па/м								
9	128,0	140,8	11,6	50 × 2,9	1,1	1,16	163,3	163,3
10	68,0	74,8	26,1	50 × 2,9	5,1	5,36	400,9	564,2
$\Sigma$	196,0	215,6						
Невязка $\delta = \frac{564,2 - 545,7}{545,7} \cdot 100 = 3,4\%$								
Располагаемое давление $P = 859,3$ Па, $R_{cp} = 859,3/1,1 \cdot 586,0 = 1,33$ Па/м								
11	174,0	191,4	11,6	50 × 2,9	1,10	1,16	222,0	222,0
12	142,0	156,2	26,1	63 × 3,6	1,60	1,68	262,4	484,4
13	112,0	123,2	37,7	75 × 4,3	1,30	1,36	167,6	652,0
14	158,0	173,8	49,3	90 × 5,2	0,95	1,00	173,8	825,8
$\Sigma$	586,0	644,6						
Невязка $\delta = \frac{825,8 - 859,3}{859,3} \cdot 100 = -3,9\%$								

**Пример 5.2.** Для жилого квартала 5-этажной застройки с числом жителей 2600 человек необходимо произвести гидравлический расчет распределительных газопроводов низкого давления. Генплан квартала с сетями низкого давления представлен на рис. 5.2. Квартал находится в зоне действия ГРП1. Расчетные расходы газа, нумерация участков и их длины приведены на расчетной схеме (рис. 5.3). Расчетный перепад давления составляет  $\Delta P_{\text{кв}} = 690$  Па. Используется природный газ с плотностью  $\rho_0 = 0,89$  кг/м<sup>3</sup>. Газопровод выполнен из полиэтиленовых труб с шероховатостью стенок трубы  $k_s = 0,002$  см.

*Решение.* Принимаем разветвленную газовую сеть, как наиболее целесообразную для данной застройки. Составляем расчетную схему газоснабжения (см. рис. 5.3). Вводы осуществляются в лестничные клетки.

Расход газа на квартал определяем по выражению

$$V_{\text{кв}} = \frac{N_{\text{кв}} V_{\text{ГРП1}}^{5\text{э}}}{N_{\text{ГРП1}}^{5\text{э}}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $N_{\text{кв}}$  – число жителей, проживающих в данном квартале, чел.;

$V_{\text{ГРП1}}^{5\text{э}}$  – расход газа на жилые дома 5-этажной застройки в зоне действия ГРП1, м<sup>3</sup>/ч;

$N_{\text{ГРП1}}^{5\text{э}}$  – количество жителей в зоне действия ГРП1, проживающих в 5-этажных зданиях, чел.

В данном случае

$$V_{\text{кв}} = \frac{2600 \cdot 1044,05}{28\,459} = 95,384 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Находим суммарную длину участков с путевым отбором газа:

$$\sum L_{\text{п}} = 0,5 \cdot (50 + 50 + 35 + 35 + 47 + 51 + 51 + 51) = 185 \text{ м}$$

и по формуле (5.1) определяем удельный расход газа  $V_{\text{уд}}$  на участках с путевым отбором:



$$V_{\text{уд}} = \frac{95,384 - 0}{185,0} = 0,516 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}).$$

Затем определяем величину полного путевого расхода на участках с путевым отбором газа  $V_{\text{п}}$ , эквивалентного  $V_{\text{э}}$  и расчетного  $V_{\text{р}}$  на участках по выражению (5.2).

После определения расчетных расходов по всем участкам подбираем диаметры участков. Расчет начинаем с наиболее протяженной и нагруженной левой ветви (участки 1-2-...-8-9). Для нее находим средние удельные потери давления по формуле (5.3):

$$R_{\text{ср}} = \frac{690}{1,1 \cdot 432} = 1,452 \text{ Па/м.}$$

На эту величину ориентируемся при выборе диаметров газопровода по номограммам (см. рис. 2.1).

Подобрав диаметры участков газопровода, находим удельные потери давления на участках (по номограммам). Так как плотность используемого газа отличается от плотности стандартного газа, то в найденные значения удельных потерь давления вносят поправку на плотность по выражению (5.4).

Затем определяем расчетные длины участков, потери давления на них и суммарные потери давления на расчетном направлении. После увязки первой ветки рассчитываем ответвления и вторую ветку системы.

Все полученные в результате расчета значения заносим в соответствующие графы табл. 5.2.

Генплан квартала №15 (М 1:1000)

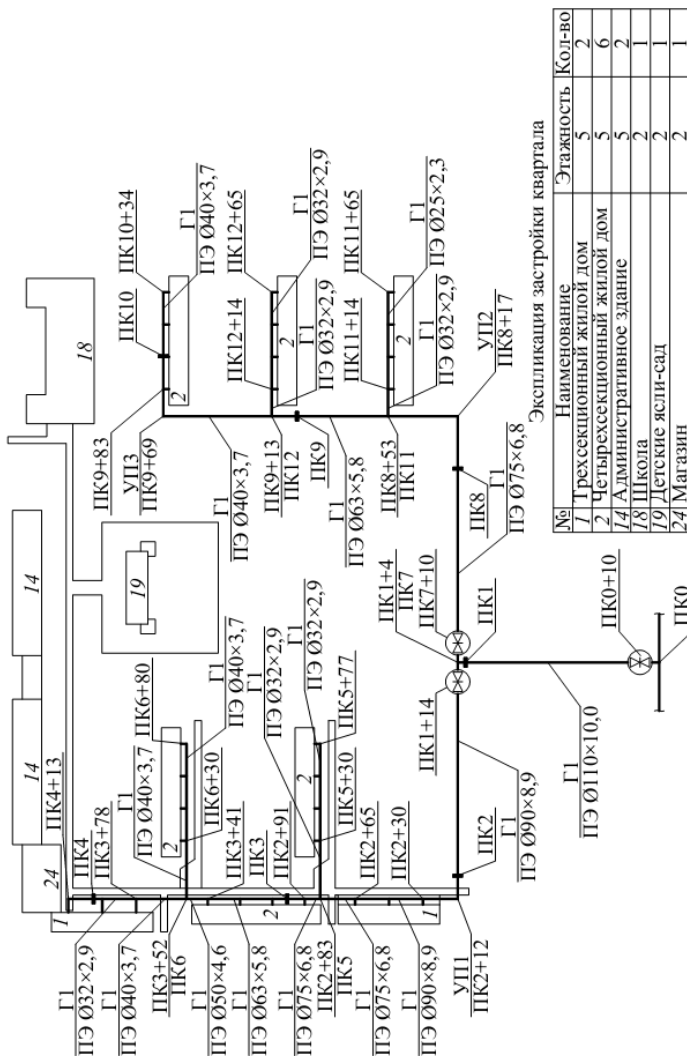


Рис. 5.2. Генплан квартала с сетями газопроводов низкого давления

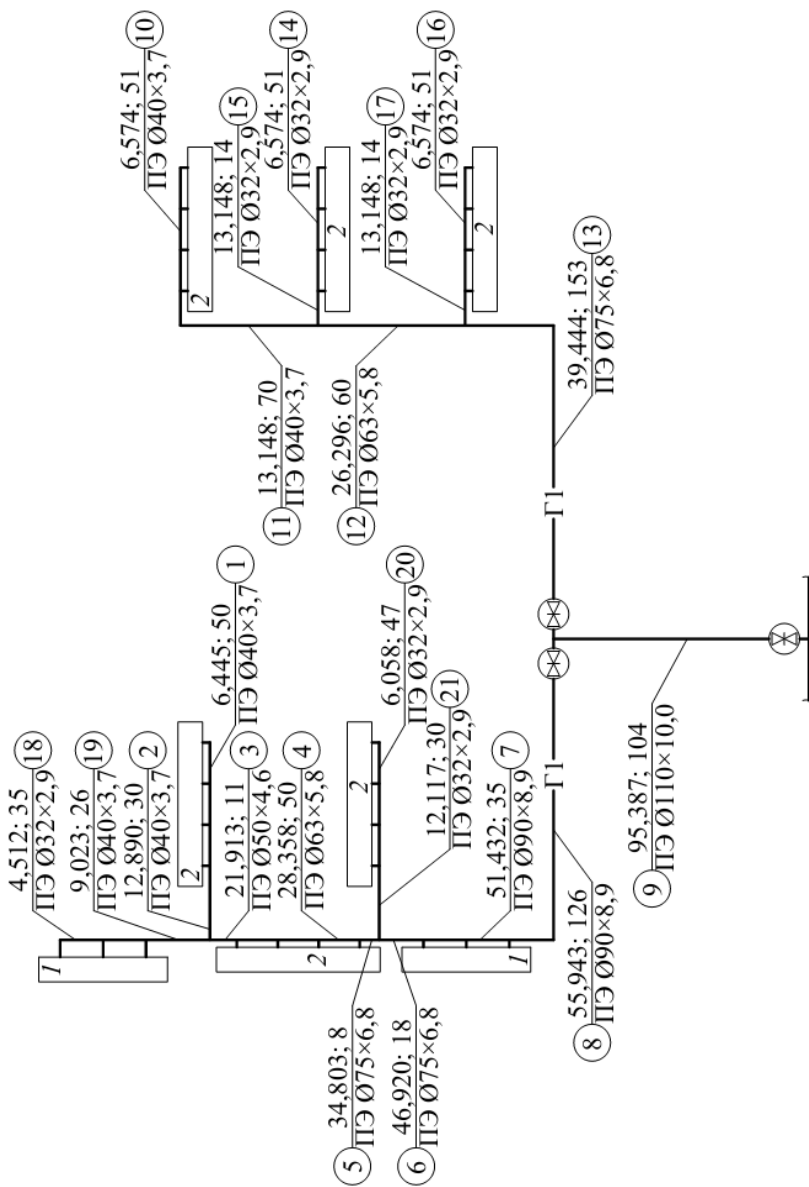


Рис. 5.3. Расчетная схема внутриквартальной сети газопроводов низкого давления

## Гидравлический расчет внутриквартальных газопроводов низкого давления

Номер участка	$L$ , м	$L_{п}$ , м	$V_{уд}$ , м <sup>3</sup> /(ч·м)	$V_{п}$ , м <sup>3</sup> /ч	$V_{э} = 0,5V_{п}$ , м <sup>3</sup> /ч	$V_{тр}$ , м <sup>3</sup> /ч	$V_{р} = V_{тр} + 0,5V_{п}$ , м <sup>3</sup> /ч	$D_{н} \times \delta$ , мм	$L_{р} = 1,1L$ , м	$R$ , Па/м	$R_{ф}$ , Па/м	$R_{ф}L_{р}$ , Па	$\sum R_{ф}L_{р}$ , Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Располагаемое давление $P = 690$ Па, $R_{ср} = 690 (1,1 \cdot 432) = 1,4520$ Па/м													
1	50	25	0,5156	12,89	6,445	–	6,45	40 × 3,7	55,0	0,7	0,85	46,94	46,94
2	30	–	–	–	–	12,89	12,89	40 × 3,7	33,0	1,4	1,71	56,33	103,26
3	11	–	–	–	–	21,913	21,913	50 × 4,6	12,1	2,2	2,68	32,45	135,72
4	50	25	0,5156	12,89	6,445	21,913	28,358	63 × 5,8	55,0	1,4	1,71	93,88	229,60
5	8	–	–	–	–	34,803	34,803	75 × 6,8	8,8	0,7	0,85	7,51	237,11
6	18	–	–	–	–	46,920	46,920	75 × 6,8	19,8	1,4	1,71	33,80	270,90
7	35	17,5	0,5156	9,023	4,512	46,920	51,432	90 × 8,9	38,5	0,8	0,98	37,55	308,45
8	126	–	–	–	–	55,943	55,943	90 × 8,9	138,6	1,0	1,22	168,98	477,43
9	104	–	–	–	–	95,387	95,387	110 × 10	114,4	1,3	1,58	181,32	658,75
$\Sigma =$	432												
Невязка $\delta = \frac{690,0 - 658,75}{690,0} \cdot 100 = 4,53\%$													
Располагаемое давление $P = 103,26$ Па, $R_{ср} = 103,26/(1,1 \cdot 61) = 1,539$ Па/м													
18	35	17,5	0,5156	9,023	4,512	–	4,512	32 × 2,9	38,5	1,2	1,46	56,33	56,33
19	26	–	–	–	–	9,023	9,023	40 × 3,7	28,6	1,45	1,77	50,56	106,89
$\Sigma =$	61												
Невязка $\delta = \frac{103,26 - 106,89}{103,26} \cdot 100 = -3,51\%$													
Располагаемое давление $P = 237,11$ Па, $R_{ср} = 237,11/(1,1 \cdot 77) = 2,799$ Па/м													
20	47	23,5	0,5156	12,117	6,058	–	6,058	32 × 2,9	51,7	2,2	2,68	138,67	138,67

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
21	30	–	–	–	–	12,117	12,117	32 × 2,9	33,0	2,7	3,29	108,63	247,30
Σ=	77												
Невязка $\delta = \frac{237,11 - 247,3}{237,11} \cdot 100 = -4,30\%$													
Располагаемое давление $P = 477,43$ Па, $R_{cp} = 477,43/(1,1 \cdot 334) = 1,2995$ Па/м													
10	51	25,5	0,5156	13,148	6,574	–	6,574	40 × 3,7	56,1	1,0	1,22	68,40	68,40
11	70	–	–	–	–	13,148	13,148	40 × 3,7	77,0	1,2	1,46	112,65	181,05
12	60	–	–	–	–	26,296	26,296	63 × 5,8	66,0	1,2	1,46	96,56	277,61
13	153	–	–	–	–	39,444	39,444	75 × 6,8	168,3	1,0	1,22	205,19	482,79
Σ=	334												
Невязка $\delta = \frac{477,43 - 482,79}{477,43} \cdot 100 = -1,12\%$													
Располагаемое давление $P = 181,05$ Па, $R_{cp} = 181,05/(1,1 \cdot 65) = 2,532$ Па/м													
14	51	25,5	0,5156	13,148	6,574	–	6,574	32 × 2,9	56,1	1,8	2,19	123,11	123,11
15	14	–	–	–	–	13,148	13,148	32 × 2,9	15,4	3,1	3,78	58,20	181,32
Σ=	65												
Невязка $\delta = \frac{181,05 - 181,32}{181,05} \cdot 100 = -0,15\%$													
Располагаемое давление $P = 277,61$ Па, $R_{cp} = 277,61/(1,1 \cdot 65) = 3,883$ Па/м													
16	51	25,5	0,5156	13,148	6,574	–	6,574	25 × 2,3	56,1	3,4	4,15	232,55	232,55
17	14	–	–	–	–	13,148	13,148	32 × 2,9	15,4	3,1	3,78	58,20	290,75
Σ=	65												
Невязка $\delta = \frac{277,61 - 290,75}{277,61} \cdot 100 = -4,73\%$													

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Газораспределение и газопотребление. Строительные нормы проектирования = Газаразмеркаванне і газаспажыванне. Будаўнічыя нормы праектавання : ТКП 45–4.03–267–2012\* (02250). – Взамен СНБ 4.03.01–98; введ. 01.12.12. – Минск: Мин-во строительства и архитектуры Респ. Беларусь, 2015. – 97 с.

2. Газоснабжение / А. А. Ионин [и др.]. – Москва: АСВ, 2011. – 472 с.

3. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Б. М. Хрусталева [и др.]; под общ. ред. Б. М. Хрусталева. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва: изд-во АСВ, 2007. – 784 с.

4. Газопроводы из полиэтиленовых труб. Правила проектирования и монтажа = Газопроводы з поліэтыленавых труб. Правілы праектавання і мантажу : ТКП 45-4.03-257-2012\* (02250). – Взамен ПП–2000 к СНБ 4.03.01–98; введ. 01.17.12. – Минск : Мин-во строительства и архитектуры Респ. Беларусь, 2015. – 41 с.

5. Распределительные газопроводы. Порядок гидравлического расчета = Размеркавальныя газопроводы. Парадак гідраўлічнага разліку : ТКП 45-4.03-68-2007. – Введ. 01.09.07. – Минск: Мин-во строительства и архитектуры Респ. и Беларусь, 2008. – 54 с.

6. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб = The General Provision and Construction Gas Distribution System from Steel and Polyethylene Pipes : СП 42-101–2003. – Москва: ГУП-ЦПП, 2003. – 163 с.

7. Полимеры в газоснабжении : справочник / под ред. Н. Н. Карнаухова. – Москва: Машиностроение, 1998. – 856 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Удельные потери давления для полиэтиленовых  
газопроводов низкого давления  $R$  ( $SDR 17,6$ )ПЭ  $\varnothing 25 \times 2,3$ –ПЭ  $\varnothing 140 \times 8,0$ 

Таблица А1

$V_p$ , м <sup>3</sup> /ч	ПЭ $\varnothing 25 \times 2,3$	ПЭ $\varnothing 32 \times 2,3$	ПЭ $\varnothing 40 \times 2,3$	ПЭ $\varnothing 50 \times 2,9$	ПЭ $\varnothing 63 \times 3,6$	ПЭ $\varnothing 75 \times 4,3$	ПЭ $\varnothing 90 \times 5,2$	ПЭ $\varnothing 110 \times 6,3$	ПЭ $\varnothing 125 \times 7,1$	ПЭ $\varnothing 140 \times 8,0$
2	2,2162	0,5458	0,1617	0,0563	0,0186	0,0081	0,0034	0,0013	0,0007	0,0004
4	7,4543	1,8358	0,5437	0,1894	0,0626	0,0274	0,0116	0,0044	0,0024	0,0014
6	15,155	3,7325	1,1055	0,3851	0,1273	0,0557	0,0235	0,0090	0,0049	0,0029
8	25,073	6,1750	1,8289	0,6371	0,2106	0,0922	0,0390	0,0149	0,0081	0,0047
10	37,051	9,1250	2,7026	0,9414	0,3112	0,1362	0,0576	0,0221	0,0120	0,0070
12		12,5545	3,7183	1,2953	0,4282	0,1874	0,0792	0,0304	0,0165	0,0096
14		16,4420	4,8697	1,6963	0,5607	0,2455	0,1037	0,0398	0,0216	0,0126
16		20,7702	6,1516	2,1429	0,7083	0,3101	0,1310	0,0502	0,0272	0,0160
18		25,5246	7,5598	2,6334	0,8705	0,3810	0,1610	0,0617	0,0335	0,0196
20		30,6926	9,0904	3,1666	1,0467	0,4582	0,1936	0,0742	0,0403	0,0236
25		45,3551	13,4331	4,6794	1,5468	0,6771	0,2862	0,1097	0,0595	0,0348
30			18,4818	6,4380	2,1281	0,9316	0,3937	0,1510	0,0818	0,0479
40			30,5764	10,651	3,5208	1,5412	0,6514	0,2497	0,1354	0,0793





ПЭ Ø160 × 9,1 – ПЭ Ø400 × 22,8

Таблица А2

$V_p,$ м <sup>3</sup> /ч	ПЭ Ø160 × 9,1	ПЭ Ø180 × 10,3	ПЭ Ø200 × 11,4	ПЭ Ø225 × 12,8	ПЭ Ø250 × 14,2	ПЭ Ø280 × 15,9	ПЭ Ø315 × 17,9	ПЭ Ø355 × 20,2	ПЭ Ø400 × 22,8
2	0,0002	0,0001	0,00008	0,00004	0,00003	0,00002	0,000009	0,000005	0,000003
4	0,0007	0,0004	0,00026	0,00015	0,00009	0,00005	0,000030	0,000017	0,000010
6	0,0015	0,0009	0,00053	0,00030	0,00018	0,00011	0,000061	0,000034	0,000020
8	0,0025	0,0014	0,00087	0,00050	0,00030	0,00018	0,000100	0,000057	0,000032
10	0,0037	0,0021	0,00129	0,00073	0,00044	0,00026	0,000148	0,000084	0,000048
12	0,0051	0,0029	0,00177	0,00101	0,00061	0,00036	0,000204	0,000116	0,000066
14	0,0067	0,0038	0,00232	0,00132	0,00080	0,00047	0,000267	0,000152	0,000086
16	0,0084	0,0048	0,00293	0,00167	0,00101	0,00059	0,000338	0,000192	0,000109
18	0,0104	0,0059	0,00360	0,00205	0,00124	0,00073	0,000415	0,000235	0,000134
20	0,0125	0,0072	0,00433	0,00247	0,00150	0,00087	0,000499	0,000283	0,000161
25	0,0184	0,0106	0,00639	0,00365	0,00221	0,00129	0,000738	0,000418	0,000238
30	0,0254	0,0145	0,00880	0,00502	0,00304	0,00178	0,001015	0,000576	0,000327
40	0,0419	0,0241	0,01455	0,00831	0,00503	0,00294	0,001679	0,000952	0,000541
50	0,0620	0,0356	0,02151	0,01228	0,00744	0,00434	0,002481	0,001407	0,000799
60	0,0853	0,0489	0,02959	0,01689	0,01023	0,00597	0,003414	0,001936	0,001100
70	0,1117	0,0641	0,03875	0,02212	0,01340	0,00782	0,004471	0,002536	0,001440
80	0,1411	0,0809	0,04895	0,02794	0,01692	0,00988	0,005647	0,003203	0,001819
90	0,1734	0,0995	0,06015	0,03434	0,02080	0,01214	0,006940	0,003937	0,002236
100	0,2085	0,1196	0,07233	0,04129	0,02501	0,01460	0,008345	0,004734	0,002688

$V_{p_2}$ м <sup>3</sup> /ч	ПЭ ø160 × 9,1	ПЭ ø180 × 10,3	ПЭ ø200 × 11,4	ПЭ ø225 × 12,8	ПЭ ø250 × 14,2	ПЭ ø280 × 15,9	ПЭ ø315 × 17,9	ПЭ ø355 × 20,2	ПЭ ø400 × 22,8
120	0,2868	0,1645	0,09952	0,05681	0,03441	0,02008	0,011482	0,006513	0,003698
140	0,3757	0,2155	0,13034	0,07440	0,04506	0,02630	0,015037	0,008529	0,004844
160	0,4746	0,2722	0,16465	0,09399	0,05692	0,03322	0,018996	0,010775	0,006119
180	0,5832	0,3345	0,20233	0,11550	0,06995	0,04083	0,023344	0,013241	0,007519
200	0,7013	0,4023	0,24330	0,13888	0,08412	0,04910	0,028071	0,015922	0,009042
300	1,4258	0,8179	0,49466	0,28237	0,17102	0,09982	0,057070	0,032371	0,018383
400	2,3588	1,3531	0,81837	0,46715	0,28294	0,16514	0,094418	0,053555	0,030413
500	3,4856	1,9995	1,20932	0,69032	0,41811	0,24403	0,139523	0,079139	0,044942
600	4,7957	2,7510	1,66383	0,94977	0,57525	0,33574	0,191961	0,108882	0,061832
700	6,2807	3,6029	2,17904	1,24387	0,75338	0,43970	0,251403	0,142598	0,080979
800	7,9340	4,5513	2,75265	1,57130	0,95169	0,55545	0,317582	0,180136	0,102296
900	9,7501	5,5931	3,38274	1,93097	1,16954	0,68259	0,390277	0,221369	0,125712
1000	11,7242	6,7255	4,06765	2,32195	1,40634	0,82080	0,469298	0,266191	0,151165
1200	16,1306	9,2532	5,59643	3,19462	1,93489	1,12929	0,645677	0,366235	0,207979
1400	21,1256	12,1186	7,32939	4,18385	2,53404	1,47898	0,845614	0,479641	0,272380
1600	26,6867	15,3087	9,25878	5,28521	3,20111	1,86831	1,068214	0,605902	0,344082
1800	32,7953	18,8128	11,37813	6,49500	3,93384	2,29596	1,312729	0,744594	0,422842
2000	39,4355	22,6219	13,68190	7,81006	4,73034	2,76084	1,578523	0,895355	0,508457
3000		45,9927	27,81673	15,87867	9,61728	5,61307	3,209301	1,820350	1,033745
4000			46,02024	26,26982	15,91092	9,28631	5,309496	3,011602	1,710237
5000				38,81947	23,51190	13,72257	7,845955	4,450308	2,527254

Окончание табл. А2

$V_p,$ м <sup>3</sup> /ч	ПЭ ø160 × 9,1	ПЭ ø180 × 10,3	ПЭ ø200 × 11,4	ПЭ ø225 × 12,8	ПЭ ø250 × 14,2	ПЭ ø280 × 15,9	ПЭ ø315 × 17,9	ПЭ ø355 × 20,2	ПЭ ø400 × 22,8
6000					32,34855	18,88003	10,794760	6,122902	3,477091
7000					42,36544	24,72633	14,137411	8,018889	4,553790
8000						31,23529	17,858944	10,129782	5,752530
9000						38,38508	21,946875	12,448499	7,069290
10000						46,15705	26,390542	14,968994	8,500635
12500							38,997865	22,120000	12,561569
15000								30,433529	17,282680
17500								39,857421	22,634347
20000									28,592615
25000									42,251915

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Среднеквадратичные потери давления для полиэтиленовых газопроводов среднего давления *A* (SDR 17,6)

ПЭ Ø20 × 2,3–ПЭ Ø125 × 7,1

Таблица Б1

$V_p$ , м <sup>3</sup> /ч	ПЭ Ø20 × 2,3	ПЭ Ø25 × 2,3	ПЭ Ø32 × 2,3	ПЭ Ø40 × 2,3	ПЭ Ø50 × 2,9	ПЭ Ø63 × 3,6	ПЭ Ø75 × 4,3	ПЭ Ø90 × 5,2	ПЭ Ø110 × 6,3	ПЭ Ø125 × 7,1
10	0,02247	0,00513	0,00109	0,00028	0,00009	0,00003	0,00001	0,000004	0,000001	0,000001
12	0,03236	0,00739	0,00157	0,00041	0,00013	0,00004	0,00002	0,000006	0,000002	0,000001
14	0,04404	0,01006	0,00214	0,00056	0,00017	0,00005	0,00002	0,000008	0,000003	0,000001
16	0,05752	0,01315	0,00279	0,00073	0,00023	0,00007	0,00003	0,000010	0,000004	0,000002
18	0,07280	0,01664	0,00354	0,00092	0,00029	0,00008	0,00003	0,000013	0,000005	0,000002
20	0,08988	0,02054	0,00436	0,00114	0,00035	0,00010	0,00004	0,000016	0,000006	0,000003
25		0,03209	0,00682	0,00178	0,00055	0,00016	0,00007	0,000025	0,000009	0,000004
30		0,04621	0,00982	0,00256	0,00080	0,00023	0,00009	0,000036	0,000013	0,000006
40		0,08216	0,01746	0,00455	0,00142	0,00042	0,00017	0,000065	0,000022	0,000011
50			0,02728	0,00711	0,00222	0,00065	0,00026	0,000101	0,000035	0,000018
60			0,03928	0,01024	0,00319	0,00094	0,00038	0,000145	0,000050	0,000026
70			0,05347	0,01393	0,00434	0,00128	0,00051	0,000198	0,000069	0,000035
80			0,06983	0,01820	0,00567	0,00167	0,00067	0,000259	0,000090	0,000046
90			0,08838	0,02303	0,00718	0,00211	0,00085	0,000327	0,000113	0,000058
100				0,02843	0,00886	0,00261	0,00105	0,000404	0,000140	0,000071

Окончание табл. Б2

$V_p$ , м³/ч	ПЭ ø20 × 2,3	ПЭ ø25 × 2,3	ПЭ ø32 × 2,3	ПЭ ø40 × 2,3	ПЭ ø50 × 2,9	ПЭ ø63 × 3,6	ПЭ ø75 × 4,3	ПЭ ø90 × 5,2	ПЭ ø110 × 6,3	ПЭ ø125 × 7,1
120				0,04094	0,01276	0,00376	0,00151	0,000582	0,000202	0,000102
140				0,05573	0,01737	0,00511	0,00205	0,000792	0,000274	0,000139
160				0,07279	0,02269	0,00668	0,00268	0,001034	0,000358	0,000182
180				0,09212	0,02872	0,00845	0,00339	0,001309	0,000454	0,000231
200					0,03545	0,01043	0,00419	0,001616	0,000560	0,000285
300					0,07977	0,02347	0,00942	0,003635	0,001260	0,000640
400						0,04172	0,01674	0,006463	0,002240	0,001139
500						0,06519	0,02616	0,010098	0,003500	0,001779
600						0,09388	0,03767	0,014541	0,005040	0,002562
700							0,05127	0,019792	0,006860	0,003487
800							0,06697	0,025850	0,008960	0,004554
900							0,08476	0,032717	0,011340	0,005764
1000								0,040391	0,014001	0,007116
1200								0,058163	0,020161	0,010247
1400								0,079167	0,027441	0,013948
1600									0,035841	0,018217
1800									0,045362	0,023056
2000									0,056002	0,028465
3000										0,064045

Таблица Б2

$V_p$ , м <sup>3</sup> /ч	ПЭ Ø140 × 8,0	ПЭ Ø160 × 9,1	ПЭ Ø180 × 10,3	ПЭ Ø200 × 11,4	ПЭ Ø225 × 12,8	ПЭ Ø250 × 14,2	ПЭ Ø280 × 15,9	ПЭ Ø315 × 17,9	ПЭ Ø355 × 20,2	ПЭ Ø400 × 22,8
10	0,0000004	0,0000002	0,0000001	0,0000001	0,00000003	0,00000002	0,00000001	0,00000001	0,000000003	0,000000002
12	0,0000006	0,0000003	0,0000002	0,0000001	0,00000005	0,00000003	0,00000001	0,00000001	0,000000004	0,000000002
14	0,0000008	0,0000004	0,0000002	0,0000001	0,00000006	0,00000004	0,00000002	0,00000001	0,000000006	0,000000003
16	0,0000010	0,0000005	0,0000003	0,0000002	0,00000008	0,00000005	0,00000003	0,00000001	0,000000008	0,000000004
18	0,0000013	0,0000006	0,0000003	0,0000002	0,00000011	0,00000006	0,00000003	0,00000002	0,000000010	0,000000005
20	0,0000016	0,0000008	0,0000004	0,0000002	0,00000013	0,00000007	0,00000004	0,00000002	0,000000012	0,000000006
25	0,0000025	0,0000012	0,0000007	0,0000004	0,00000020	0,00000012	0,00000006	0,00000003	0,000000019	0,000000010
30	0,0000035	0,0000018	0,0000009	0,0000005	0,00000029	0,00000017	0,00000009	0,00000005	0,000000027	0,000000014
40	0,0000063	0,0000031	0,0000017	0,0000010	0,00000052	0,00000030	0,00000017	0,00000009	0,000000048	0,000000025
50	0,0000099	0,0000049	0,0000026	0,0000015	0,00000081	0,00000047	0,00000026	0,00000014	0,000000074	0,000000040
60	0,0000142	0,0000070	0,0000038	0,0000022	0,00000117	0,00000067	0,00000037	0,00000020	0,000000107	0,000000057
70	0,0000193	0,0000095	0,0000052	0,0000030	0,00000159	0,00000092	0,00000051	0,00000027	0,000000146	0,000000078
80	0,0000252	0,0000125	0,0000067	0,0000039	0,00000208	0,00000120	0,00000066	0,00000036	0,000000190	0,000000102
90	0,0000319	0,0000158	0,0000085	0,0000049	0,00000264	0,00000151	0,00000084	0,00000045	0,000000241	0,000000129
100	0,0000394	0,0000195	0,0000105	0,0000060	0,00000325	0,00000187	0,00000103	0,00000056	0,000000297	0,000000159

Продолжение табл. Б2

$V_p$ , м³/ч	ПЭ ø140 × 8,0	ПЭ ø160 × 9,1	ПЭ ø180 × 10,3	ПЭ ø200 × 11,4	ПЭ ø225 × 12,8	ПЭ ø250 × 14,2	ПЭ ø280 × 15,9	ПЭ ø315 × 17,9	ПЭ ø355 × 20,2	ПЭ ø400 × 22,8
120	0,0000568	0,0000281	0,0000152	0,0000087	0,00000469	0,00000269	0,00000149	0,00000080	0,000000428	0,000000229
140	0,0000772	0,0000382	0,0000207	0,0000119	0,00000638	0,00000367	0,00000202	0,00000109	0,000000582	0,000000312
160	0,0001009	0,0000499	0,0000270	0,0000155	0,00000833	0,00000479	0,00000264	0,00000142	0,000000760	0,000000407
180	0,0001277	0,0000631	0,0000342	0,0000196	0,00001055	0,00000606	0,00000334	0,00000180	0,000000962	0,000000515
200	0,0001576	0,0000780	0,0000422	0,0000242	0,00001302	0,00000748	0,00000413	0,00000222	0,000001188	0,000000636
300	0,0003547	0,0001754	0,0000949	0,0000544	0,00002929	0,00001683	0,00000928	0,00000500	0,000002674	0,000001430
400	0,0006306	0,0003118	0,0001687	0,0000968	0,00005208	0,00002992	0,00001650	0,00000889	0,000004753	0,000002543
500	0,0009853	0,0004872	0,0002636	0,0001512	0,00008137	0,00004675	0,00002578	0,00001390	0,000007427	0,000003974
600	0,0014188	0,0007016	0,0003796	0,0002177	0,00011717	0,00006732	0,00003713	0,00002001	0,000010694	0,000005722
700	0,0019311	0,0009549	0,0005167	0,0002964	0,00015948	0,00009163	0,00005053	0,00002724	0,000014556	0,000007788
800	0,0025223	0,0012473	0,0006748	0,0003871	0,00020831	0,00011968	0,00006600	0,00003558	0,000019012	0,000010172
900	0,0031923	0,0015786	0,0008541	0,0004899	0,00026364	0,00015147	0,00008353	0,00004503	0,000024062	0,000012874
1000	0,0039411	0,0019489	0,0010544	0,0006048	0,00032548	0,00018700	0,00010313	0,00005559	0,000029706	0,000015894
1200	0,0056752	0,0028063	0,0015184	0,0008710	0,00046869	0,00026928	0,00014850	0,00008005	0,000042777	0,000022888
1400	0,0077245	0,0038198	0,0020667	0,0011855	0,00063794	0,00036652	0,00020213	0,00010896	0,000058224	0,000031153
1600	0,0100892	0,0049891	0,0026993	0,0015484	0,00083322	0,00047872	0,00026400	0,00014232	0,000076048	0,000040689
1800	0,0127691	0,0063143	0,0034163	0,0019597	0,00105455	0,00060588	0,00033413	0,00018012	0,000096248	0,000051497





## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Среднеквадратичные потери давления для полиэтиленовых газопроводов высокого давления А (SDR 11)

ПЭ Ø20 × 2,3–ПЭ Ø125 × 11,4

Таблица В1

$V_p$ , м <sup>3</sup> /ч	ПЭ Ø20 × 2,3	ПЭ Ø25 × 2,3	ПЭ Ø32 × 3,0	ПЭ Ø40 × 3,7	ПЭ Ø50 × 4,6	ПЭ Ø63 × 5,8	ПЭ Ø75 × 6,8	ПЭ Ø90 × 8,2	ПЭ Ø110 × 10,0	ПЭ Ø125 × 11,4
10	0,02247	0,00513	0,00144	0,00044	0,00013	0,00004	0,00002	0,00001	0,000002	0,000001
12	0,03236	0,00739	0,00207	0,00063	0,00019	0,00006	0,00002	0,00001	0,000003	0,000002
14	0,04404	0,01006	0,00282	0,00086	0,00026	0,00008	0,00003	0,00001	0,000004	0,000002
16	0,05752	0,01315	0,00368	0,00112	0,00035	0,00010	0,00004	0,00002	0,000005	0,000003
18	0,07280	0,01664	0,00466	0,00142	0,00044	0,00013	0,00005	0,00002	0,000007	0,000004
20	0,08988	0,02054	0,00575	0,00175	0,00054	0,00016	0,00006	0,00002	0,000008	0,000004
25		0,03209	0,00898	0,00274	0,00084	0,00025	0,00010	0,00004	0,000013	0,000007
30		0,04621	0,01293	0,00394	0,00121	0,00036	0,00014	0,00005	0,000019	0,000010
40		0,08216	0,02299	0,00701	0,00216	0,00064	0,00025	0,00010	0,000034	0,000017
50			0,03593	0,01096	0,00337	0,00100	0,00039	0,00015	0,000053	0,000027
60			0,05173	0,01578	0,00486	0,00144	0,00057	0,00022	0,000076	0,000039
70			0,07042	0,02147	0,00661	0,00197	0,00077	0,00030	0,000104	0,000053
80			0,09197	0,02805	0,00864	0,00257	0,00101	0,00039	0,000136	0,000070
90				0,03550	0,01093	0,00325	0,00128	0,00049	0,000172	0,000088
100				0,04382	0,01349	0,00401	0,00158	0,00061	0,000212	0,000109



ПЭ Ø140 × 12,7–ПЭ Ø400 × 38,4

Таблица В1

$V_p$ , м <sup>3</sup> /ч	ПЭ Ø140 × 12,7	ПЭ Ø160 × 14,6	ПЭ Ø180 × 16,4	ПЭ Ø200 × 18,2	ПЭ Ø225 × 20,5	ПЭ Ø250 × 22,7	ПЭ Ø280 × 25,4	ПЭ Ø315 × 28,6	ПЭ Ø355 × 32,5	ПЭ Ø400 × 38,4
10	0,000001	0,0000003	0,0000002	0,0000001	0,00000005	0,00000003	0,00000002	0,00000001	0,000000005	0,000000003
12	0,000001	0,0000004	0,0000002	0,0000001	0,00000007	0,00000004	0,00000002	0,00000001	0,000000007	0,000000004
14	0,000001	0,0000006	0,0000003	0,0000002	0,00000010	0,00000006	0,00000003	0,00000002	0,000000009	0,000000005
16	0,000002	0,0000008	0,0000004	0,0000002	0,00000013	0,00000007	0,00000004	0,00000002	0,000000012	0,000000007
18	0,000002	0,0000010	0,0000005	0,0000003	0,00000016	0,00000009	0,00000005	0,00000003	0,000000015	0,000000008
20	0,000002	0,0000012	0,0000006	0,0000004	0,00000020	0,00000011	0,00000006	0,00000003	0,000000018	0,000000010
25	0,000004	0,0000019	0,0000010	0,0000006	0,00000031	0,00000018	0,00000010	0,00000005	0,000000028	0,000000016
30	0,000005	0,0000027	0,0000014	0,0000008	0,00000045	0,00000026	0,00000014	0,00000008	0,000000041	0,000000023
40	0,000010	0,0000048	0,0000026	0,0000015	0,00000079	0,00000045	0,00000025	0,00000014	0,000000073	0,000000041
50	0,000015	0,0000074	0,0000040	0,0000023	0,00000124	0,00000071	0,00000039	0,00000021	0,000000114	0,000000064
60	0,000021	0,0000107	0,0000058	0,0000033	0,00000179	0,00000102	0,00000056	0,00000030	0,000000164	0,000000093
70	0,000029	0,0000146	0,0000078	0,0000045	0,00000243	0,00000139	0,00000077	0,00000041	0,000000223	0,000000126
80	0,000038	0,0000191	0,0000103	0,0000059	0,00000318	0,00000182	0,00000100	0,00000054	0,000000292	0,000000165
90	0,000048	0,0000241	0,0000130	0,0000075	0,00000402	0,00000230	0,00000127	0,00000068	0,000000369	0,000000209
100	0,000060	0,0000298	0,0000160	0,0000092	0,00000496	0,00000284	0,00000157	0,00000084	0,000000456	0,000000258

$V_p$ , м <sup>3</sup> /ч	ПЭ ø140 × 12,7	ПЭ ø160 × 14,6	ПЭ ø180 × 16,4	ПЭ ø200 × 18,2	ПЭ ø225 × 20,5	ПЭ ø250 × 22,7	ПЭ ø280 × 25,4	ПЭ ø315 × 28,6	ПЭ ø355 × 32,5	ПЭ ø400 × 38,4
120	0,000086	0,0000429	0,0000231	0,0000132	0,00000715	0,00000409	0,00000226	0,00000122	0,000000656	0,000000371
140	0,000117	0,0000584	0,0000314	0,0000180	0,00000973	0,00000557	0,00000307	0,00000166	0,000000893	0,000000505
160	0,000153	0,0000762	0,0000410	0,0000235	0,00001271	0,00000728	0,00000401	0,00000216	0,000001166	0,000000660
180	0,000193	0,0000965	0,0000519	0,0000298	0,00001608	0,00000921	0,00000508	0,00000274	0,000001476	0,000000835
200	0,000238	0,0001191	0,0000641	0,0000368	0,00001985	0,00001137	0,00000627	0,00000338	0,000001822	0,000001031
300	0,000537	0,0002680	0,0001441	0,0000828	0,00004467	0,00002559	0,00001410	0,00000760	0,000004100	0,000002321
400	0,000954	0,0004764	0,0002563	0,0001472	0,00007942	0,00004549	0,00002507	0,00001352	0,000007288	0,000004125
500	0,001490	0,0007444	0,0004004	0,0002300	0,00012409	0,00007108	0,00003916	0,00002112	0,000011388	0,000006446
600	0,002146	0,0010720	0,0005766	0,0003311	0,00017869	0,00010236	0,00005640	0,00003042	0,000016398	0,000009282
700	0,002921	0,0014591	0,0007848	0,0004507	0,00024321	0,00013932	0,00007676	0,00004140	0,000022320	0,000012634
800	0,003815	0,0019058	0,0010250	0,0005887	0,00031766	0,00018197	0,00010026	0,00005408	0,000029152	0,000016502
900	0,004829	0,0024120	0,0012973	0,0007451	0,00040204	0,00023031	0,00012689	0,00006844	0,000036896	0,000020885
1000	0,005962	0,0029778	0,0016016	0,0009198	0,00049635	0,00028433	0,00015666	0,00008450	0,000045550	0,000025784
1200	0,008585	0,0042880	0,0023064	0,0013246	0,00071474	0,00040944	0,00022559	0,00012168	0,000065592	0,000037129
1400	0,011685	0,0058364	0,0031392	0,0018029	0,00097284	0,00055729	0,00030705	0,00016562	0,000089278	0,000050537
1600	0,015262	0,0076230	0,0041002	0,0023548	0,00127065	0,00072789	0,00040104	0,00021631	0,000116608	0,000066008
1800	0,019315	0,0096479	0,0051893	0,0029803	0,00160817	0,00092123	0,00050757	0,00027377	0,000147582	0,000083541

Окончание табл. В2

$V_p$ , м³/ч	ПЭ ø140 × 12,7	ПЭ ø160 × 14,6	ПЭ ø180 × 16,4	ПЭ ø200 × 18,2	ПЭ ø225 × 20,5	ПЭ ø250 × 22,7	ПЭ ø280 × 25,4	ПЭ ø315 × 28,6	ПЭ ø355 × 32,5	ПЭ ø400 × 38,4
2000	0,023846	0,0119110	0,0064065	0,0036794	0,00198539	0,00113733	0,00062663	0,00033799	0,000182201	0,000103137
3000	0,053654	0,0267998	0,0144147	0,0082786	0,00446713	0,00255898	0,00140992	0,00076048	0,000409951	0,000232058
4000	0,095385	0,0476440	0,0256261	0,0147176	0,00794156	0,00454930	0,00250653	0,00135196	0,000728802	0,000412548
5000		0,0744438	0,0400409	0,0229962	0,01240868	0,00710828	0,00391645	0,00211244	0,001138754	0,000644607
6000			0,0576588	0,0331146	0,01786851	0,01023593	0,00563969	0,00304191	0,001639805	0,000928233
7000			0,0784801	0,0450726	0,02432102	0,01393224	0,00767624	0,00414038	0,002231957	0,001263429
8000				0,0588704	0,03176623	0,01819721	0,01002611	0,00540784	0,002915210	0,001650193
9000				0,0745078	0,04020414	0,02303084	0,01268930	0,00684430	0,003689562	0,002088525
10 000				0,0919850	0,04963474	0,02843314	0,01566580	0,00844975	0,004555015	0,002578426
12 500					0,07755428	0,04442677	0,02447781	0,01320274	0,007117211	0,004028791
15 000						0,06397455	0,03524805	0,01901194	0,010248784	0,005801459
17 500						0,08707648	0,04797651	0,02587737	0,013949734	0,007896430
20 000							0,06266320	0,03379901	0,018220060	0,010313705
30 000								0,07604778	0,040995136	0,023205836
40 000									0,072880242	0,041254820
50 000										0,064460656
60 000										0,092823344

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Среднеквадратичные потери давления для полиэтиленовых газопроводов высокого давления А (SDR 9)

ПЭ Ø20 × 3,0–ПЭ Ø125 × 14,0

Таблица Г1

$V_p$ , м <sup>3</sup> /ч	ПЭ Ø20 × 3,0	ПЭ Ø25 × 3,0	ПЭ Ø32 × 3,6	ПЭ Ø40 × 4,5	ПЭ Ø50 × 5,6	ПЭ Ø63 × 7,1	ПЭ Ø75 × 8,4	ПЭ Ø90 × 10,1	ПЭ Ø110 × 12,3	ПЭ Ø125 × 14,0
10	0,03706	0,00746	0,00184	0,00057	0,00018	0,00005	0,00002	0,00001	0,000003	0,000001
12	0,05337	0,01074	0,00265	0,00082	0,00025	0,00008	0,00003	0,00001	0,000004	0,000002
14	0,07264	0,01462	0,00361	0,00112	0,00034	0,00010	0,00004	0,00002	0,000005	0,000003
16	0,09487	0,01909	0,00471	0,00146	0,00045	0,00013	0,00005	0,00002	0,000007	0,000004
18		0,02416	0,00597	0,00185	0,00057	0,00017	0,00007	0,00003	0,000009	0,000005
20		0,02983	0,00737	0,00228	0,00070	0,00021	0,00008	0,00003	0,000011	0,000006
25		0,04661	0,01151	0,00357	0,00110	0,00033	0,00013	0,00005	0,000017	0,000009
30		0,06712	0,01657	0,00514	0,00158	0,00047	0,00019	0,00007	0,000025	0,000013
40			0,02947	0,00913	0,00281	0,00084	0,00033	0,00013	0,000045	0,000023
50			0,04604	0,01427	0,00439	0,00132	0,00052	0,00020	0,000070	0,000036
60			0,06630	0,02055	0,00632	0,00190	0,00075	0,00029	0,000101	0,000052
70			0,09024	0,02797	0,00861	0,00258	0,00102	0,00039	0,000137	0,000070
80				0,03653	0,01124	0,00337	0,00134	0,00052	0,000179	0,000092
90				0,04623	0,01423	0,00427	0,00169	0,00065	0,000226	0,000116

Окончание табл. Г1

$V_p$ , м³/ч	ПЭ ø20 × 3,0	ПЭ ø25 × 3,0	ПЭ ø32 × 3,6	ПЭ ø40 × 4,5	ПЭ ø50 × 5,6	ПЭ ø63 × 7,1	ПЭ ø75 × 8,4	ПЭ ø90 × 10,1	ПЭ ø110 × 12,3	ПЭ ø125 × 14,0
100				0,05707	0,01757	0,00527	0,00209	0,00081	0,000279	0,000143
120				0,08219	0,02530	0,00759	0,00301	0,00116	0,000402	0,000206
140					0,03443	0,01033	0,00410	0,00158	0,000547	0,000280
160					0,04497	0,01349	0,00535	0,00206	0,000715	0,000366
180					0,05692	0,01708	0,00677	0,00261	0,000905	0,000464
200					0,07027	0,02108	0,00836	0,00322	0,001117	0,000572
300						0,04744	0,01881	0,00725	0,002513	0,001288
400						0,08433	0,03345	0,01288	0,004467	0,002289
500							0,05226	0,02013	0,006980	0,003577
600							0,07526	0,02898	0,010051	0,005150
700							0,10243	0,03945	0,013681	0,007010
800								0,05153	0,017869	0,009156
900								0,06521	0,022616	0,011588
1000								0,08051	0,027921	0,014306
1200									0,040206	0,020601
1400									0,054724	0,028040
1600									0,071477	0,036624
1800									0,090463	0,046352
2000										0,057225

Таблица Г2

$V_p$ , м <sup>3</sup> /ч	ПЭ Ø140 × 15,7	ПЭ Ø160 × 17,9	ПЭ Ø180 × 20,1	ПЭ Ø200 × 22,4	ПЭ Ø225 × 25,2	ПЭ Ø250 × 27,9	ПЭ Ø280 × 31,3	ПЭ Ø315 × 35,2	ПЭ Ø355 × 39,6	ПЭ Ø400 × 44,7
10	0,000001	0,0000004	0,0000002	0,0000001	0,00000007	0,00000004	0,00000002	0,00000001	0,000000006	0,000000003
12	0,000001	0,0000006	0,0000003	0,0000002	0,00000009	0,00000005	0,00000003	0,00000002	0,000000009	0,000000005
14	0,000002	0,0000008	0,0000004	0,0000002	0,00000013	0,00000007	0,00000004	0,00000002	0,000000012	0,000000006
16	0,000002	0,0000010	0,0000005	0,0000003	0,00000017	0,00000010	0,00000005	0,00000003	0,000000015	0,000000008
18	0,000003	0,0000013	0,0000007	0,0000004	0,00000021	0,00000012	0,00000007	0,00000004	0,000000019	0,000000010
20	0,000003	0,0000016	0,0000008	0,0000005	0,00000026	0,00000015	0,00000008	0,00000004	0,000000024	0,000000013
25	0,000005	0,0000024	0,0000013	0,0000008	0,00000041	0,00000023	0,00000013	0,00000007	0,000000037	0,000000020
30	0,000007	0,0000035	0,0000019	0,0000011	0,00000059	0,00000034	0,00000019	0,00000010	0,000000053	0,000000029
40	0,000013	0,0000063	0,0000034	0,0000019	0,00000105	0,00000060	0,00000033	0,00000018	0,000000095	0,000000051
50	0,000020	0,0000098	0,0000052	0,0000030	0,00000163	0,00000093	0,00000052	0,00000028	0,000000148	0,000000079
60	0,000028	0,0000141	0,0000076	0,0000044	0,00000235	0,00000135	0,00000074	0,00000040	0,000000213	0,000000114
70	0,000039	0,0000191	0,0000103	0,0000059	0,00000320	0,00000183	0,00000101	0,00000055	0,000000291	0,000000156
80	0,000051	0,0000250	0,0000134	0,0000078	0,00000418	0,00000239	0,00000132	0,00000071	0,000000379	0,000000203
90	0,000064	0,0000317	0,0000170	0,0000098	0,00000529	0,00000303	0,00000167	0,00000090	0,000000480	0,000000257
100	0,000079	0,0000391	0,0000210	0,0000121	0,00000654	0,00000374	0,00000207	0,00000111	0,000000593	0,000000318
120	0,000114	0,0000563	0,0000302	0,0000175	0,00000941	0,00000538	0,00000298	0,00000160	0,000000854	0,000000457
140	0,000155	0,0000766	0,0000412	0,0000238	0,00001281	0,00000733	0,00000405	0,00000218	0,000001162	0,000000623
160	0,000202	0,0001000	0,0000538	0,0000311	0,00001673	0,00000957	0,00000529	0,00000285	0,000001518	0,000000813
180	0,000256	0,0001266	0,0000680	0,0000393	0,00002118	0,00001211	0,00000670	0,00000361	0,000001921	0,000001029
200	0,000316	0,0001563	0,0000840	0,0000485	0,00002615	0,00001496	0,00000827	0,00000445	0,000002371	0,000001271
300	0,000712	0,0003517	0,0001890	0,0001092	0,00005883	0,00003365	0,00001861	0,00001002	0,000005336	0,000002859
400	0,001265	0,0006253	0,0003360	0,0001941	0,00010458	0,00005983	0,00003308	0,00001782	0,000009486	0,000005083
500	0,001977	0,0009770	0,0005249	0,0003033	0,00016341	0,00009348	0,00005169	0,00002784	0,000014822	0,000007943



Окончание табл. Г2

$V_p$ , м <sup>3</sup> /ч	ПЭ ø140 × 15,7	ПЭ ø160 × 17,9	ПЭ ø180 × 20,1	ПЭ ø200 × 22,4	ПЭ ø225 × 25,2	ПЭ ø250 × 27,9	ПЭ ø280 × 31,3	ПЭ ø315 × 35,2	ПЭ ø355 × 39,6	ПЭ ø400 × 44,7
600	0,002846	0,0014068	0,0007559	0,0004367	0,00023531	0,00013461	0,00007443	0,00004009	0,000021343	0,000011437
700	0,003874	0,0019149	0,0010289	0,0005944	0,00032029	0,00018322	0,00010131	0,00005456	0,000029051	0,000015567
800	0,005060	0,0025010	0,0013438	0,0007764	0,00041834	0,00023930	0,00013233	0,00007126	0,000037944	0,000020333
900	0,006404	0,0031654	0,0017008	0,0009826	0,00052946	0,00030287	0,00016748	0,00009019	0,000048022	0,000025734
1000	0,007906	0,0039079	0,0020997	0,0012131	0,00065365	0,00037391	0,00020676	0,00011135	0,000059287	0,000031770
1200	0,011385	0,0056273	0,0030236	0,0017469	0,00094126	0,00053844	0,00029773	0,00016034	0,000085373	0,000045749
1400	0,015496	0,0076594	0,0041155	0,0023777	0,00128116	0,00073287	0,00040525	0,00021824	0,000116203	0,000062270
1600	0,020240	0,0100042	0,0053753	0,0031055	0,00167335	0,00095722	0,00052931	0,00028505	0,000151775	0,000081332
1800	0,025616	0,0126615	0,0068032	0,0039305	0,00211783	0,00121148	0,00066990	0,00036077	0,000192090	0,000102936
2000	0,031625	0,0156315	0,0083990	0,0048524	0,00261461	0,00149565	0,00082704	0,00044539	0,000237148	0,000127081
3000	0,071157	0,0351709	0,0188977	0,0109179	0,00588287	0,00336522	0,00186084	0,00100213	0,000533583	0,000285933
4000		0,0625260	0,0335959	0,0194097	0,01045844	0,00598261	0,00330816	0,00178157	0,000948592	0,000508325
5000		0,0976969	0,0524936	0,0303276	0,01634132	0,00934783	0,00516900	0,00278370	0,001482175	0,000794258
6000			0,0755908	0,0436717	0,02353150	0,01346088	0,00744336	0,00400853	0,002134332	0,001143732
7000			0,1028875	0,0594421	0,03202898	0,01832175	0,01013124	0,00545606	0,002905063	0,001556746
8000				0,0776386	0,04183377	0,02393045	0,01323265	0,00712628	0,003794368	0,002033301
9000				0,0982614	0,05294587	0,03028697	0,01674757	0,00901920	0,004802247	0,002573397
10 000					0,06536527	0,03739133	0,02067601	0,01113481	0,005928699	0,003177033
12 500					0,10213323	0,05842395	0,03230627	0,01739815	0,009263593	0,004964114
15 000						0,08413049	0,04652102	0,02505333	0,013339574	0,007148324
17 500							0,06332028	0,03410037	0,018156642	0,009729663
20 000							0,08270404	0,04453925	0,023714798	0,012708131
30 000								0,10021332	0,053358295	0,028593295
40 000									0,094859191	0,050832524
50 000										0,079425818

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Номограммы для расчета диаметра газопровода

Абсолютная шероховатость внутренней поверхности газопроводов принята:

- из стальных труб  $k_s = 0,01$  см;
- из полиэтиленовых труб  $k_s = 0,0007$  см.

Наружные диаметры и толщины стенок стальных и полиэтиленовых газопроводов, использованные при построении номограмм, приведены в таблице.

В номограммах приняты следующие условные обозначения:

а) буквенные:

- СТ108 – газопровод из стальных труб диаметром  $D = 108$  мм;
- ПЭ110 – газопровод из полиэтиленовых труб диаметром  $D = 110$  мм;

б) линейные:

- сплошная линия – для новых труб;
- штриховая линия «экс» – для труб после годичной эксплуатации с учетом увеличения эквивалентной абсолютной шероховатости до 0,02 см для стальных труб и увеличения диаметра до 5 % под воздействием внутреннего давления для полиэтиленовых труб;
- штриховая линия «экс 10» – для стальных труб после 10-летней эксплуатации с учетом увеличения эквивалентной абсолютной шероховатости до 0,1 см.

Наружные диаметры и толщины стенок стальных  
и полиэтиленовых газопроводов

Газопроводы из стальных труб низкого, среднего и высокого давления																	
Диаметр $D$ , мм	32	38	45	57	76	89	108	133	159	194	219	273	325	375	426	530	630
Толщина стенки, мм	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,5	5,0	5,5	5,5	6,0	7,0	9,0	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Газопроводы из полиэтиленовых труб низкого и среднего давления ( $SDR11 \leq 63$ мм и $SDR 17,6 \geq 75$ мм)																	
Диаметр $D$ , мм	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	225				
Толщина стенки, мм	3,0	3,7	4,6	5,8	4,3	5,2	6,3	7,1	8,0	9,1	10,3	11,4	12,8				
Газопроводы из полиэтиленовых труб высокого давления ( $SDR11$ )																	
Диаметр $D$ , мм	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	225				
Толщина стенки, мм	3,0	3,7	4,6	5,8	6,8	8,2	10,0	11,4	12,7	14,6	16,4	18,2	20,5				

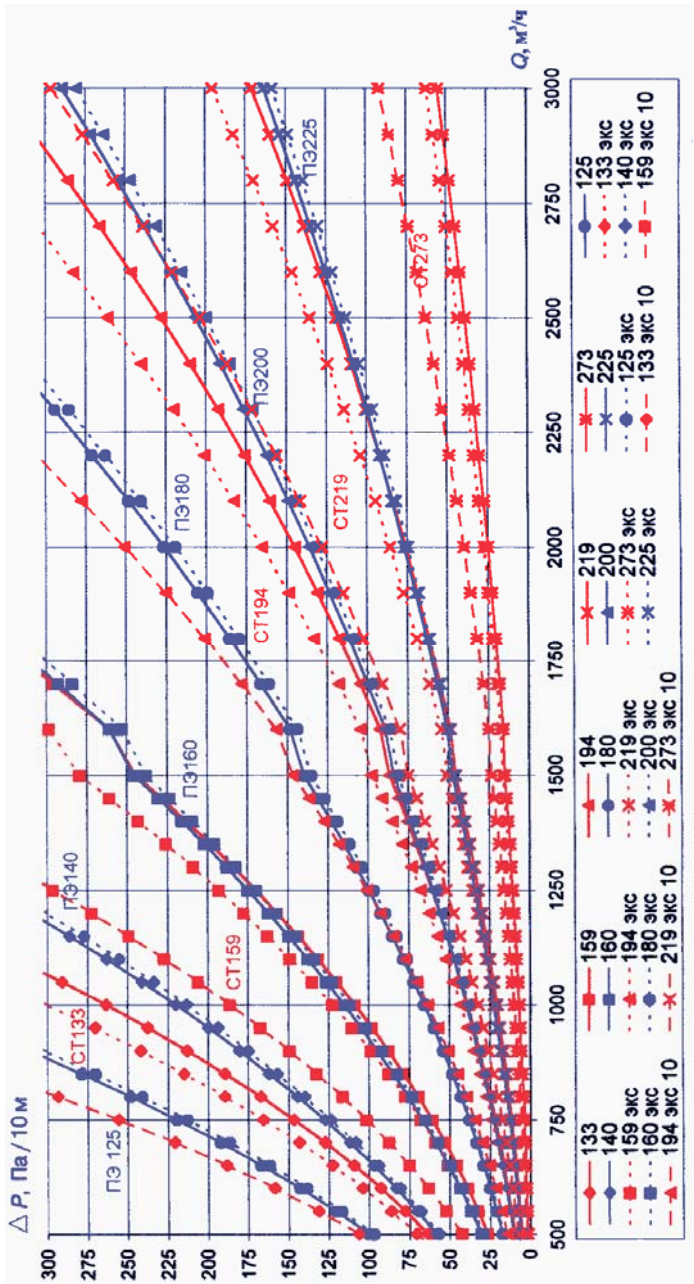


Рис. Д1а. Удельные потери давления для стальных и полиэтиленовых труб  
(новых и бывших в эксплуатации) низкого давления  
( $Q$  ( $l$ ) = 500–3000 м³/ч,  $\rho_0 = 0,73$  кг/м³,  $\nu = 1,4 \cdot 10^{-6}$  м²/с)

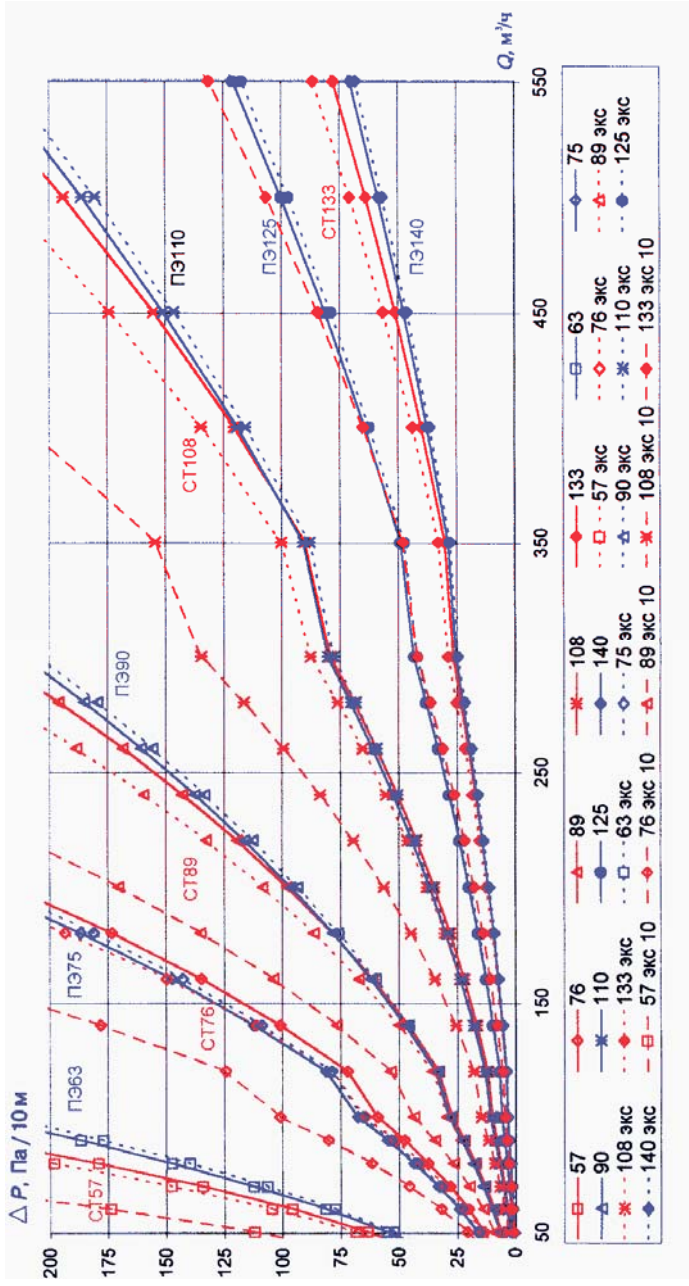


Рис. Д1б. Удельные потери давления для стальных и полиэтиленовых труб (новых и бывших в эксплуатации) низкого давления ( $\bar{Q}(V) = 50-550 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\rho_0 = 0,73 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\nu = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ )

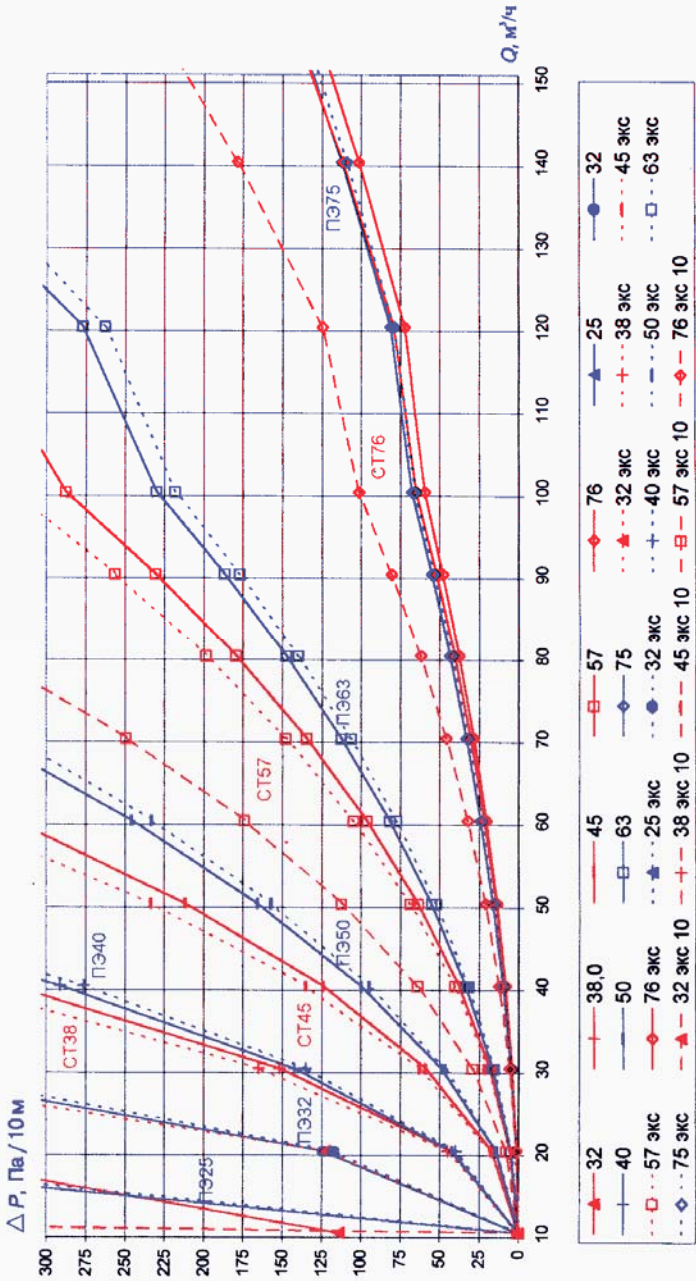


Рис. Д1е. Удельные потери давления для стальных и полиэтиленовых труб (новых и бывших в эксплуатации) низкого давления ( $Q(V) = 10-150 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\rho_0 = 0,73 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ )

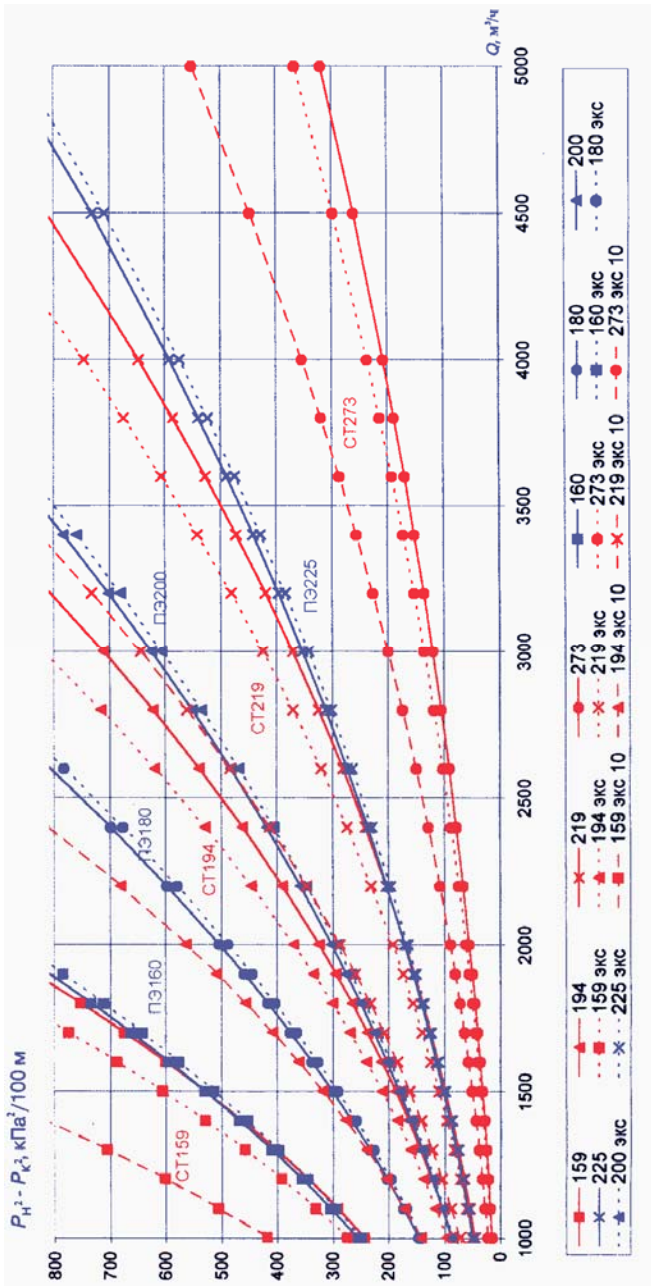


Рис. Д2а. Удельные потери давления для стальных и полиэтиленовых труб (новых и бывших в эксплуатации) среднего давления ( $Q(V) = 1000\text{--}5000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\rho_0 = 0,73 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ )

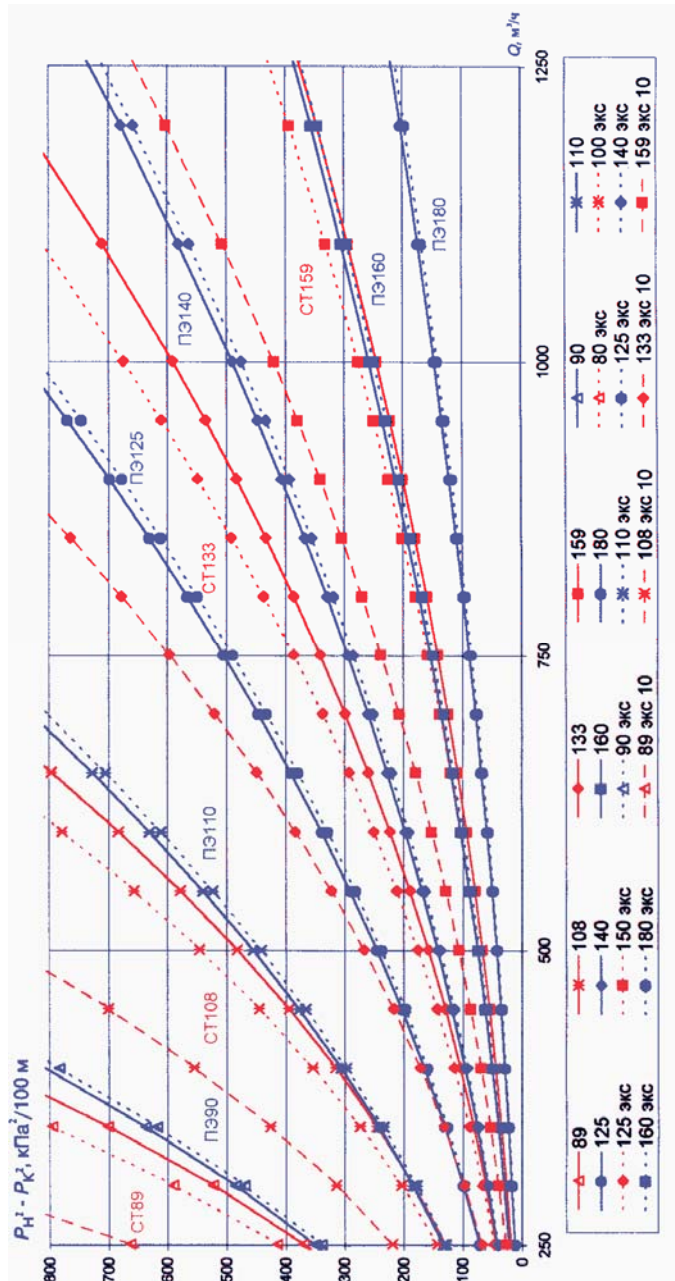


Рис. Д2б. Удельные потери давления для стальных и полиэтиленовых труб (новых и бывших в эксплуатации) среднего давления ( $Q(V) = 250-1250 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $\rho_0 = 0,73 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ )



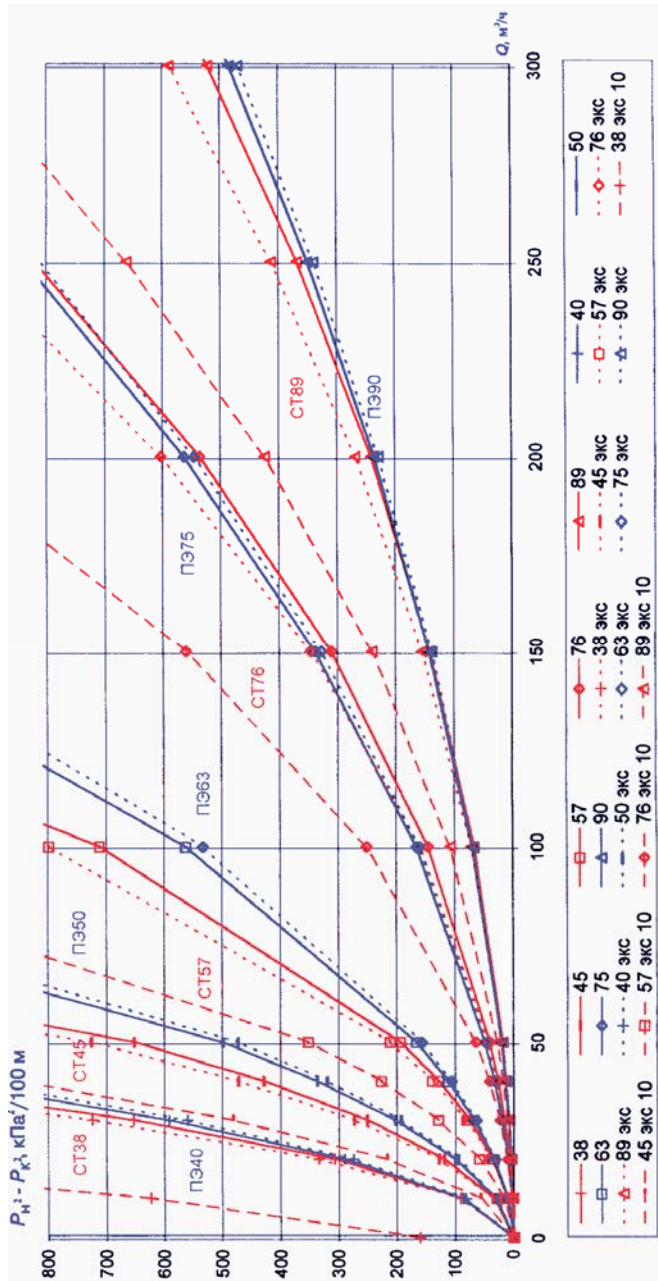


Рис. Д2а. Удельные потери давления для стальных и полиэтиленовых труб (новых и бывших в эксплуатации) среднего давления ( $Q(V) = 0-300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\rho_0 = 0,73 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\nu = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ )

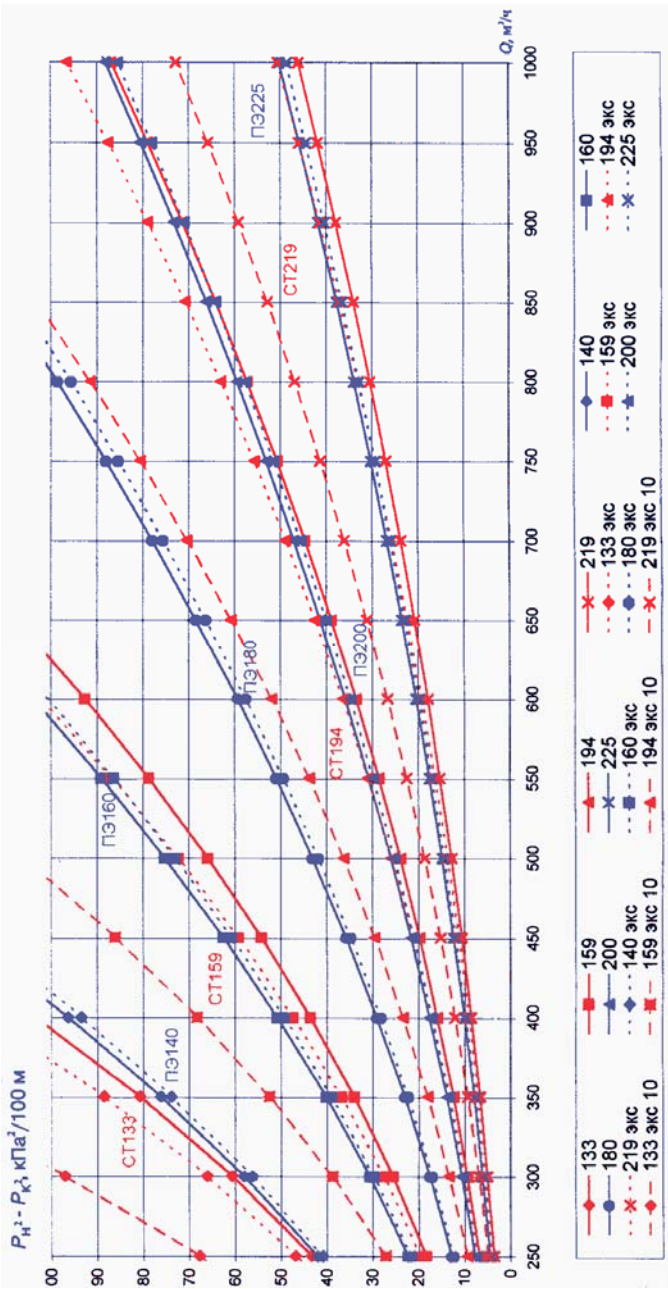


Рис. Д2г. Удельные потери давления для стальных и полиэтиленовых труб (новых и бывших в эксплуатации) среднего давления ( $Q(V) = 250 - 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\rho_0 = 0,73 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ )

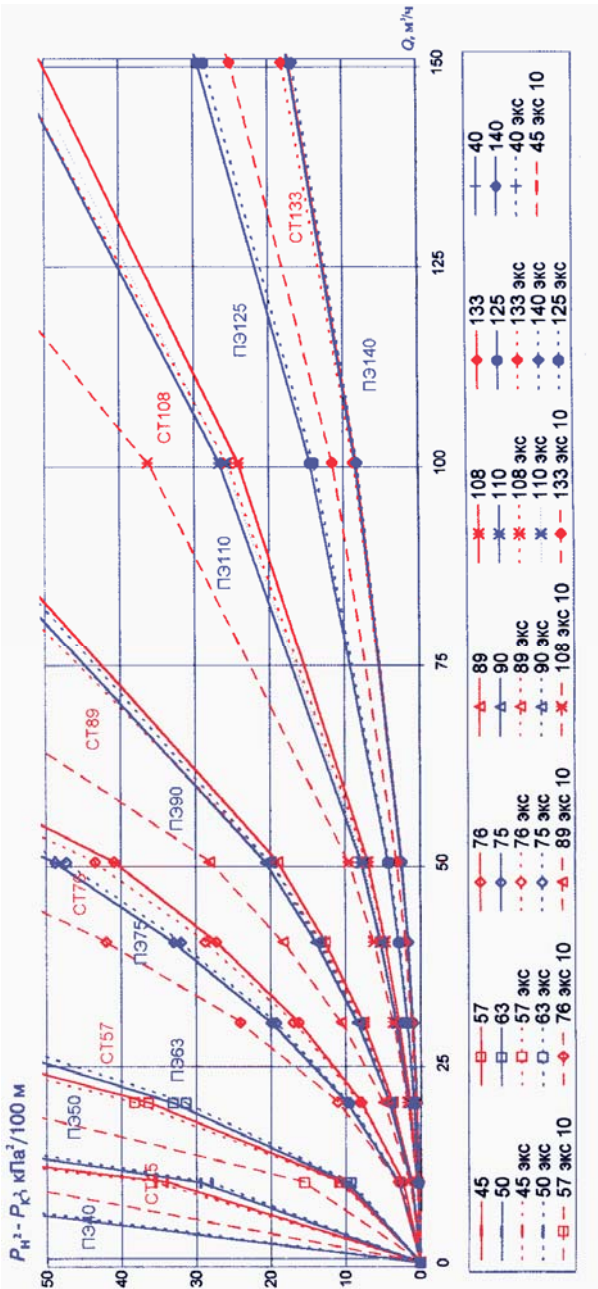


Рис. Д2а. Удельные потери давления для стальных и полиэтиленовых труб (новых и бывших в эксплуатации) среднего давления ( $Q(V) = 0-150 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\rho_0 = 0,73 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\nu = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ )

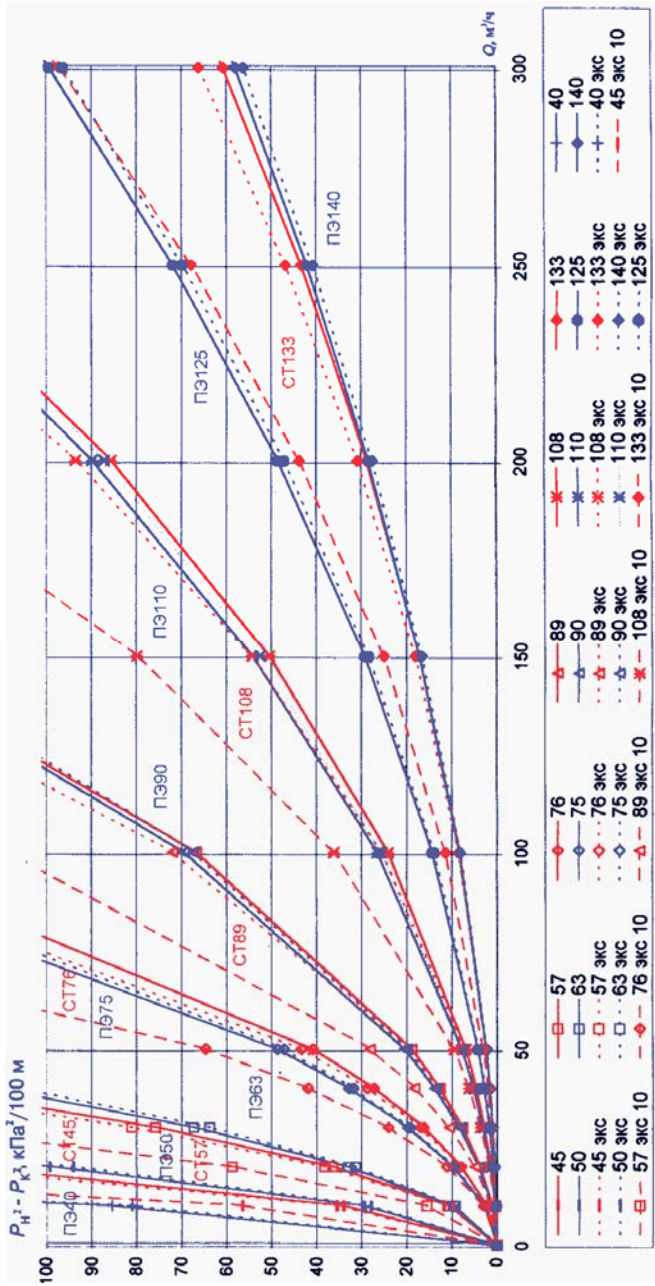


Рис. Д2е. Удельные потери давления для стальных и полиэтиленовых труб (новых и бывших в эксплуатации) среднего давления ( $Q(V) = 0-300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\rho_0 = 0,73 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ )

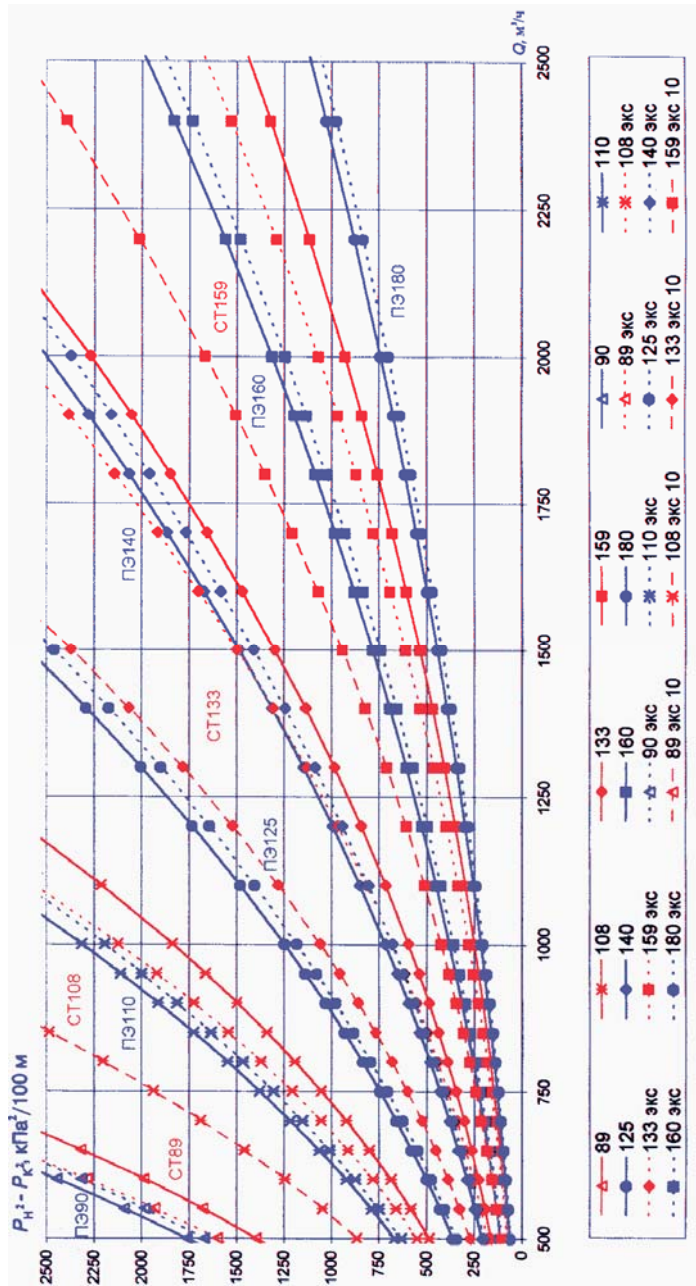


Рис. Д3а. Удельные потери давления для стальных и полиэтиленовых труб (новых и бывших в эксплуатации) высокого давления ( $Q(V) = 500-2500 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\rho_0 = 0,73 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\nu = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ )

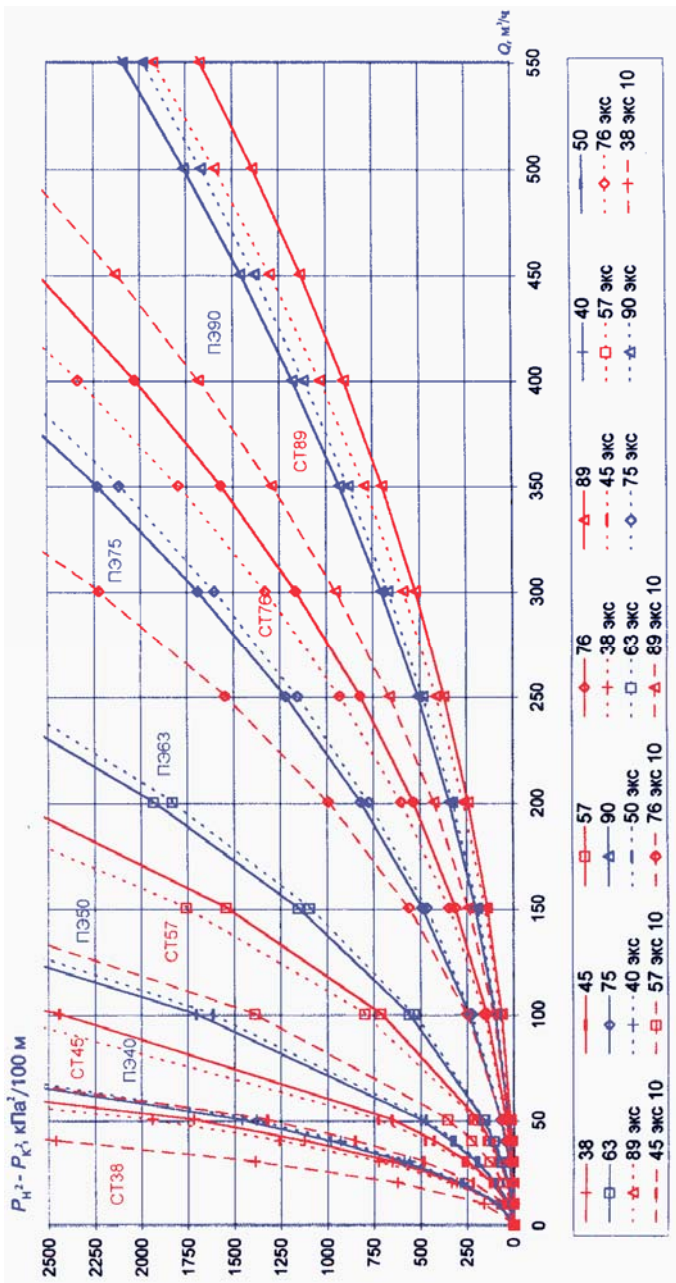


Рис. Д3б. Удельные потери давления для стальных и полиэтиленовых труб (новых и бывших в эксплуатации) высокого давления ( $Q(V) = 0-550 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\rho_0 = 0,73 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\nu = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ )

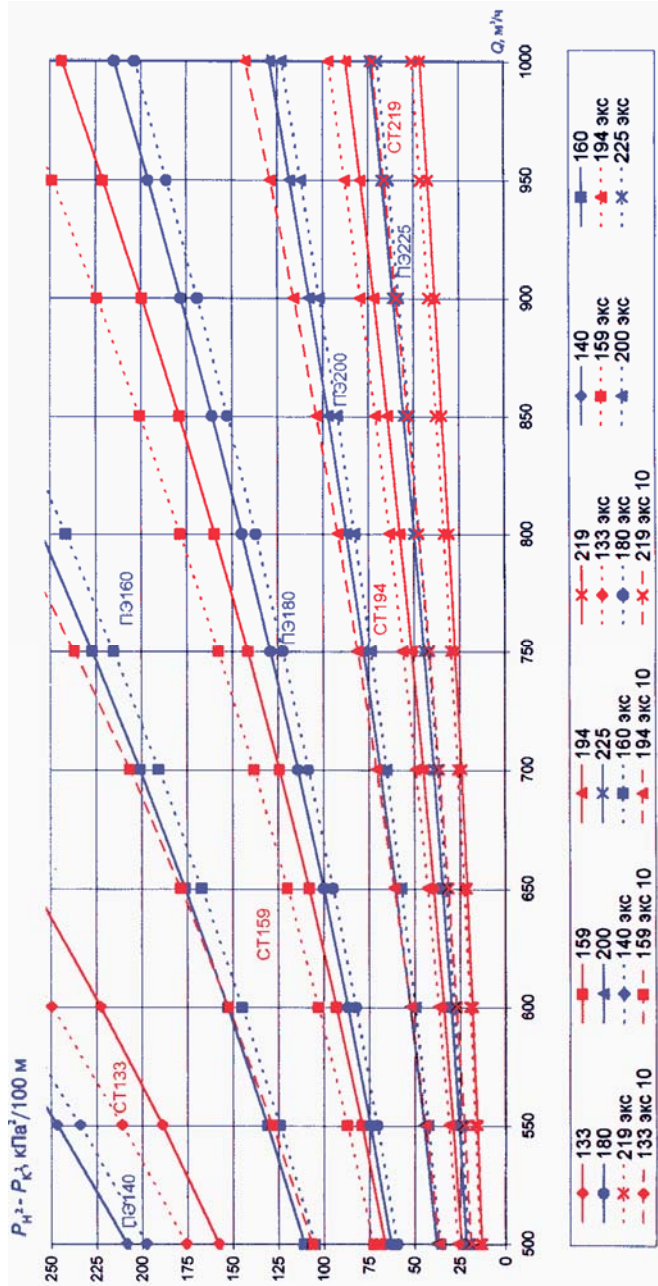


Рис. Д3в. Удельные потери давления для стальных и полиэтиленовых труб (новых и бывших в эксплуатации) высокого давления ( $Q(V) = 500-1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\rho_0 = 0,73 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ )

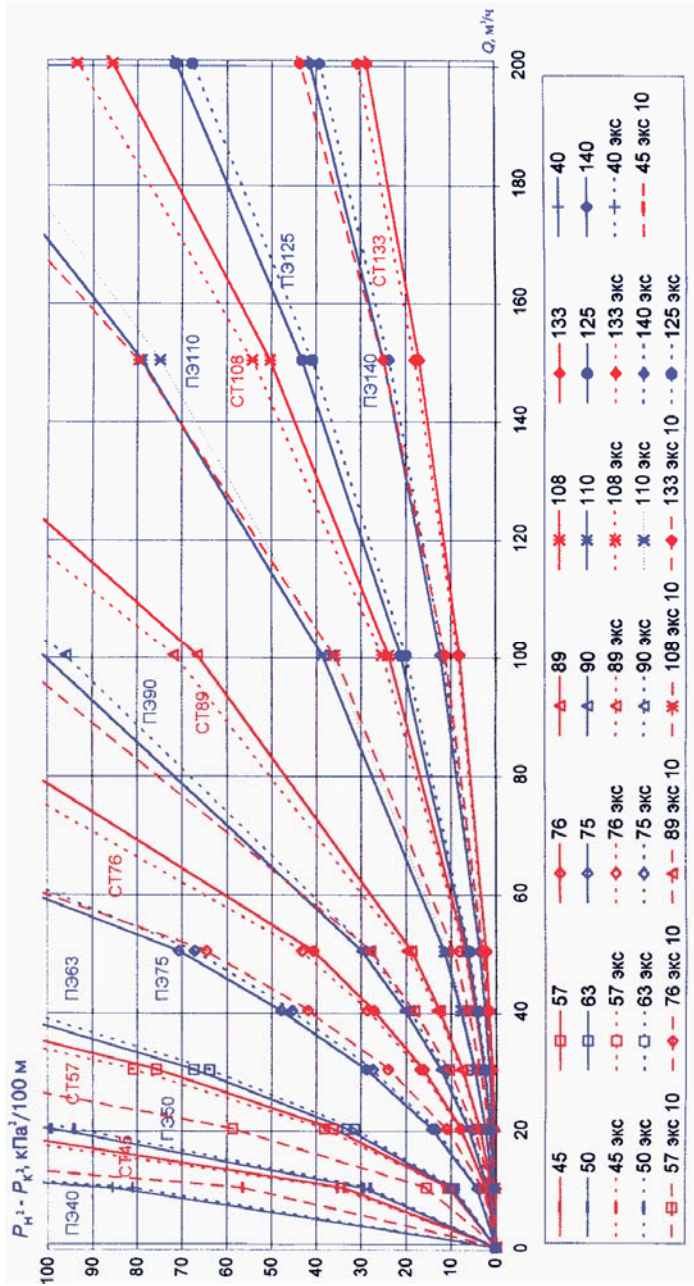


Рис. Д3г. Удельные потери давления для стальных и полиэтиленовых труб (новых и бывших в эксплуатации) высокого давления ( $Q(V) = 0-200 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\rho_0 = 0,73 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ )



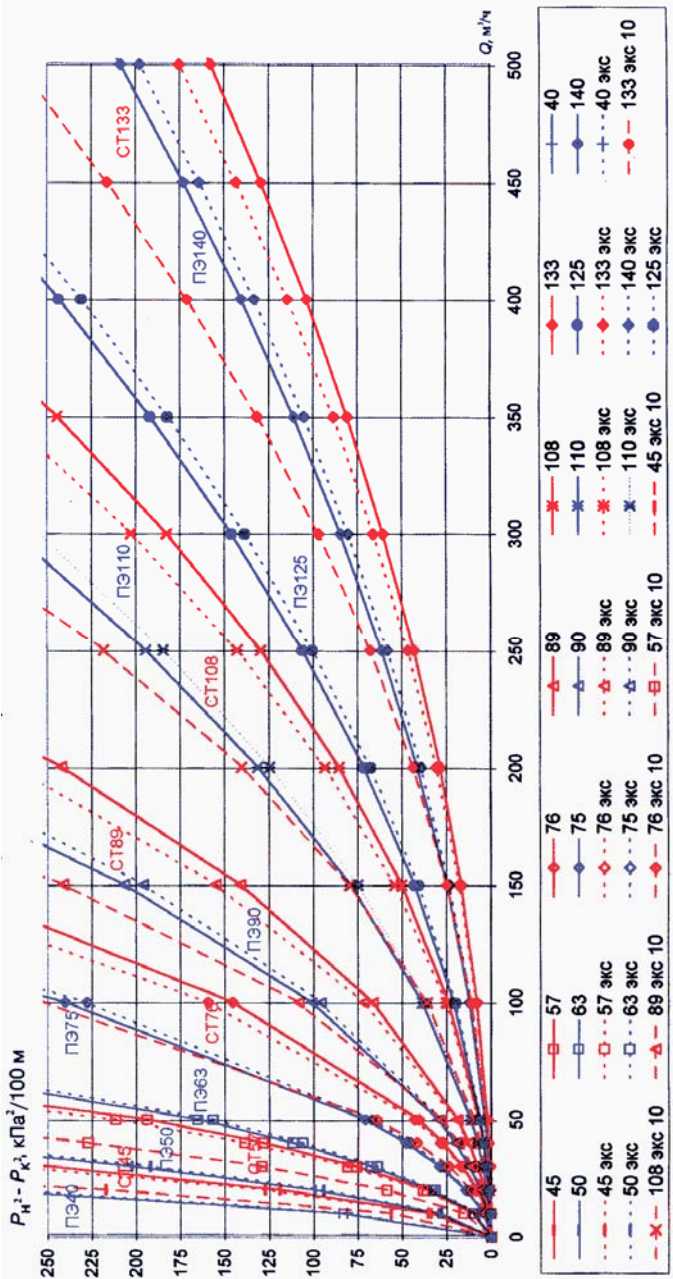


Рис. Д3д. Удельные потери давления для стальных и полиэтиленовых труб (новых и бывших в эксплуатации) высокого давления ( $Q(V) = 0-500 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\rho_0 = 0,73 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\nu = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ )

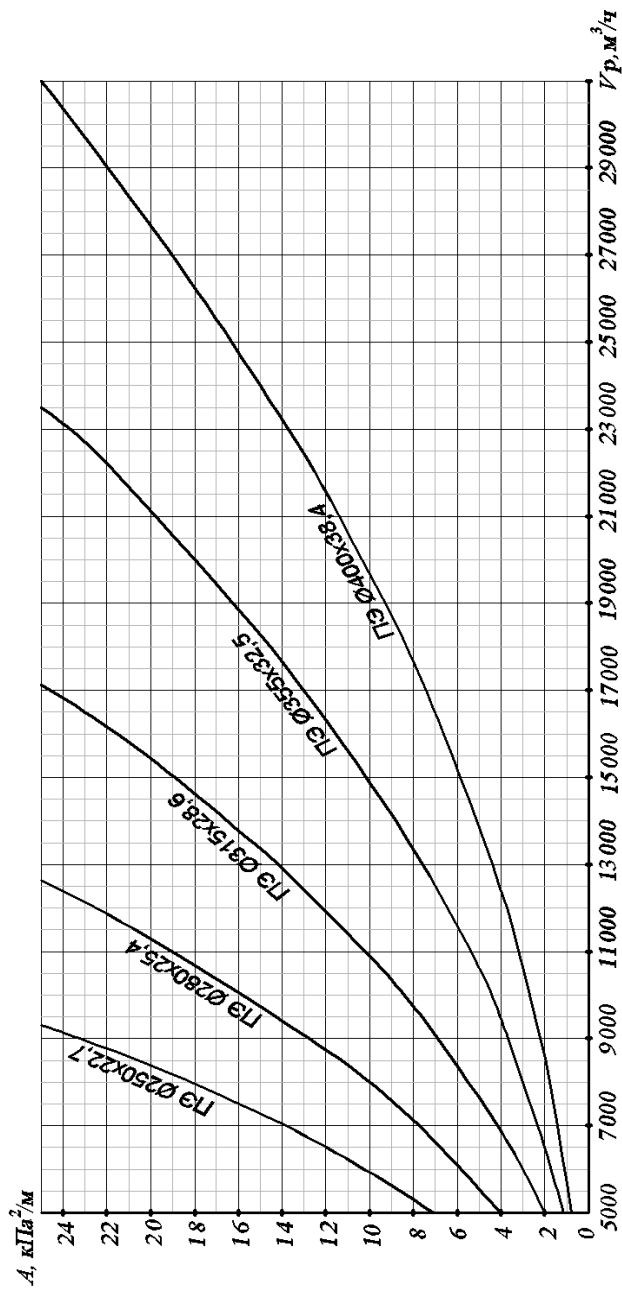


Рис. Д4. Удельные потери давления для полиэтиленовых газопроводов высокого давления

$$(Q(V) = 5000 - 30\,000 \text{ м}^3/\text{ч}, \rho_0 = 0,73 \text{ кг}/\text{м}^3, \nu = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с})$$

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. Использование полиэтиленовых труб для строительства распределительных газопроводов.....	3
Глава 2. Гидравлический расчет газопроводов из полиэтиленовых труб.....	8
Глава 3. Расчет разветвленной газовой сети среднего (высокого) давления.....	13
Глава 4. Гидравлический расчет кольцевой сети среднего (высокого) давления.....	35
Глава 5. Расчет газопроводов низкого давления из полиэтиленовых труб.....	66
 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	 78
 ПРИЛОЖЕНИЯ.....	 79
Приложение А. Удельные потери давления для полиэтиленовых газопроводов низкого давления $R$ ( $SDR 17,6$ ).....	79
Приложение Б. Среднеквадратичные потери давления для полиэтиленовых газопроводов среднего давления $A$ ( $SDR 17,6$ ).....	84
Приложение В. Среднеквадратичные потери давления для полиэтиленовых газопроводов высокого давления $A$ ( $SDR 11$ ).....	89
Приложение Г. Среднеквадратичные потери давления для полиэтиленовых газопроводов высокого давления $A$ ( $SDR 9$ ).....	94
Приложение Д. Номограммы для расчета диаметра газопровода.....	98

Учебное издание

**АРТИХОВИЧ** Валерий Васильевич  
**ВОЛЧЕК** Елена Геннадьевна  
**ШИБЕКО** Александр Сергеевич

## **РАСЧЕТ ГАЗОПРОВОДОВ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ**

Учебно-методическое пособие  
по курсовому и дипломному проектированию для студентов  
специальности 1-70 04 02 «Теплогоснабжение,  
вентиляция и охрана воздушного бассейна»

Редактор *Т. В. Грищенкова*  
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 23.10.2018. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 6,74. Уч.-изд. л. 5,27. Тираж 100. Заказ 214.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.