Н. И. ПЕШЕХОНОВ



ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

(Примеры расчета)

ИЗДАТЕЛЬСТВО «БУДІВЕЛЬНИК»
КИЕВ — 1970

6С9.4
П31

УДК 696.2

Проектирование газоснабжения (Примеры расчета). *Пешехонов Н. И.*, Киев, «Будівельник», 1970, стр. 148.

В книге освещены вопросы проектирования систем газоснабжения населенных мест, отдельных зданий и предприятий. Приведены примеры определения расхода газа потребителями, выбора и расчета систем газоснабжения, газовой аппаратуры и оборудования.

Книга рассчитана на инженеров — проектировщиков, строителей и эксплуатационников городских газовых хозяйств и промышленных предприятий, а также может быть полезна студентам строительных вузов и учащимся техникумов.

Рисунков 25, таблиц 28, библиография из 13 позиций.

3—19—1
96—69М

КИЕВСКАЯ КНИЖНАЯ ТИПОГРАФИЯ № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ГАЗА ПО НОМИНАЛЬНЫМ РАСХОДАМ ГАЗА ПРИБОРАМИ

Все элементы систем газоснабжения рассчитываются на максимальные часовые расходы газа, так называемые р а с ч е т н ы е р а с х о д ы. При наличии разных потребителей система распределения газа рассчитывается на совмещенный расчетный расход, определяемый по суточному графику потребления газа всеми потребителями.

Расчетные расходы газа потребителями определяют несколькими способами: на основании данных проектов газоснабжения; по номинальным расходам газа газовыми приборами или по теплопроизводительности установок; по нормам годового расхода газа потребителями; по укрупненным показателям.

Для отопления и вентиляции расход газа определяется по строительному объему отапливаемых и вентилируемых зданий.

Расходы газа сосредоточенными потребителями (более 50 *нм*^{3}/*ч* на ввод) необходимо определять отдельно для каждого потребителя. При равномерном распределении потребителей с расчетными расходами менее 50 *нм*^{3}/*ч* на ввод (жилые и некоторые общественные здания) расход газа определяется по жилым кварталам в целом.

Способ определения расхода газа по номинальным расходам газовыми приборами применяется в том случае, когда известно количество устанавливаемых приборов и их типы,— при проектировании внутреннего газоснабжения, квартальных сетей и сетей промышленных предприятий. Номинальные (расчетные) расходы газа газовыми приборами и горелочными устройствами учитываются согласно паспортным данным заводов-изготовителей.

Номинальные расходы газа *q* (*ккал*/*ч*) газовыми приборами коммунально-бытового назначения (СНиП II-Г. 11—66)

Плита 2-конфорочная без духового шкафа . . .	3200
То же, с духовым шкафом	6000
Плита 3-конфорочная с духовым шкафом . .	7760
То же, 4-конфорочная	9600
Плита ресторанная 2-конфорочная без духового шкафа	16000
То же, с комбиинированным верхом и 2 духовыми шкафами	60000
Плиты всех типов, переводимые с твердого топлива на газообразное (на 1 *м*^{2} жарочной поверхности)	30000

ПГ-4	9600
ВПГ-18-1-13	18000
АГВ-20-3-У	20000
Котел для приготовления пищи (на каждые 100 *л* емкости)	20000
Кипятильник (на 100 *л* кипятка)	16480
Шкаф ресторанный духовой	12000
Водонагреватель проточный быстродействующий для ванн	18000—25000
То же, для кухни	8000
Водонагреватель емкостный с запасом воды 80 *л*	6000
То же, с запасом воды 120 *л*	12000
Камин газовый	1440
Холодильник газовый	160
Стиральная машина (производительность 5 *кг/ч* сухого белья)	4960
Лабораторная горелка большая	2000
То же, малая	960

Пересчет номинальных расходов из *ккал* в *нм*^{3} газа производится по формуле

$$v = \frac{q}{Q_н^р} \ нм^3/ч. \qquad (1)$$

Если известна теплопроизводительность установки,

$$v = \frac{Q}{\eta Q_н^р} \ нм^3/ч. \qquad (2)$$

Расчетный расход несколькими приборами определяется по формуле

$$V = \sum_{i=1}^{m} K_0 \frac{q_i}{Q_н^р} n_i \ нм^3/ч. \qquad (3)$$

Здесь q_i — номинальный расход газа одним или несколькими приборами;

n_i — количество однотипных приборов или групп приборов;

m — количество типов или групп приборов;

K_0 — коэффициент одновременности действия для однотипных приборов или групп приборов (табл. 1);

$Q_н^р$ — низшая теплота сгорания газа, *ккал/нм*^{3};

Q — теплопроизводительность установки, *ккал/ч*;

η — к. п. д. установки.

Пример 1. Определить расчетный расход газа в одной квартире с различными ассортиментами приборов при $Q_н^р = 8500$ *ккал/нм*^{3}.

Расход газа в *нм*^{3}*/ч* одним прибором или несколькими однотипными определяем по формулам (1) и (3). При установке 2-конфорочной плиты с духовым шкафом П-2

$$V = \frac{q}{Q_н^р} = \frac{6000}{8500} = 0{,}71 \ нм^3/ч.$$

При установке П-2+ГК и коэффициенте одновременности $K_0 = -0{,}75$ (см. табл. 1)

$$V = K_0 \frac{q}{Q_н^р} n = 0{,}75 \cdot \frac{6000 + 25000}{8500} \cdot 1 = 2{,}74 \ нм^3/ч.$$

Таблица 1. **Значение коэффициента одновременности K_0 для жилых зданий (СНиП II-Г. 11—66)**

Количество квартир	Плиты и другие приборы					
	4-конфорочная	2-конфорочная	4-конфорочная и газовый проточный водонагреватель	2-конфорочная и газовый проточный водонагреватель	4-конфорочная и емкостный водонагреватель	2-конфорочная и емкостный водонагреватель
1	1	1	0,72	0,75	1	1
2	0,65	0,84	0,46	0,48	0,59	0,71
3	0,45	0,73	0,35	0,37	0,42	0,55
4	0,35	0,59	0,31	0,325	0,34	0,44
5	0,29	0,48	0,28	0,29	0,287	0,38
6	0,28	0,41	0,26	0,27	0,274	0,34
7	0,27	0,36	0,25	0,26	0,263	0,30
8	0,265	0,32	0,24	0,25	0,257	0,28
9	0,258	0,289	0,23	0,24	0,249	0,26
10	0,254	0,263	0,22	0,23	0,243	0,25
11	0,250	0,258	0,21	0,22	0,237	0,245
12	0,245	0,254	0,207	0,215	0,232	0,240
13	0,243	0,249	0,200	0,210	0,229	0,236
14	0,241	0,245	0,195	0,205	0,226	0,231
15	0,240	0,242	0,190	0,200	0,223	0,228
20	0,235	0,230	0,181	0,190	0,217	0,222
25	0,233	0,221	0,178	0,185	0,215	0,219
30	0,231	0,218	0,176	0,184	0,213	0,216
35	0,229	0,215	0,174	0,183	0,211	0,213
40	0,227	0,213	0,172	0,18	0,209	0,211
45	0,225	0,212	0,171	0,179	0,206	0,208
50	0,223	0,211	0,170	0,178	0,205	0,205
60	0,220	0,207	0,166	0,175	0,202	0,202
70	0,217	0,205	0,164	0,174	0,199	0,199
80	0,214	0,204	0,163	0,172	0,197	0,198
90	0,212	0,203	0,161	0,171	0,195	0,196
100	0,21	0,202	0,16	0,17	0,193	0,196
Дом	0,18					

Примечания: 1. В коммунальных квартирах, кухни которых укомплектованы несколькими однотипными приборами, расчетные расходы газа принимаются с такими же коэффициентами одновременности, как для нескольких квартир, каждая из которых укомплектована одним прибором данного типа.

2. Для квартир, оборудованных газовой бытовой плитой (2- или 4-конфорочной) и отопительными печами, величина K_0 принимается, как для квартир, оборудованных такой же плитой и емкостными водонагревателями.

Таким же образом определяем расход газа соответственно при установке П-4+ГК, П-2+АГВ-80 и П-4+АГВ-80, $нм^3/ч$:

$$V = 0{,}72 \cdot \frac{9600 + 25000}{8500} \cdot 1 = 2{,}93;$$

$$V = 1 \cdot \frac{6000 + 6000}{8500} \cdot 1 = 1{,}41;$$

$$V = 1 \cdot \frac{9600 + 6000}{8500} \cdot 1 = 1{,}84.$$

Пример 2. Определить расчетный расход газа в 16-квартирном жилом доме.

Расход газа определяем по формуле (3). При наличии во всех квартирах 4-конфорочных плит с духовым шкафом (ассортимент П-4)

$$V = \sum K_0 \frac{q_i}{Q_н^р} n = 0{,}239 \cdot \frac{9600}{8500} \cdot 16 = 4{,}33 \ нм^3/ч.$$

Соответственно при П-4+ГК и П-4+АГВ-80 расход газа будет:

$$V = 0{,}188 \cdot \frac{9600 + 23000}{8500} \cdot 16 = 11{,}52 \ нм^3/ч;$$

$$V = 0{,}222 \cdot \frac{9600 + 6000}{8500} \cdot 16 = 6{,}51 \ нм^3/ч.$$

При установке в 8 квартирах П-4+ГК и в остальных 8 П-2+ГК

$$V = 0{,}188 \cdot \frac{9600 + 23000}{8500} \cdot 8 + 0{,}198 \cdot \frac{6000 + 23000}{8500} \cdot 8 = 11{,}16 \ нм^3/ч.$$

При установке в 4 квартирах П-4 и в 12 — П-4+ГК

$$V = 0{,}239 \cdot \frac{9600}{8500} \cdot 4 + 0{,}188 \cdot \frac{9600 + 23000}{8500} \cdot 12 = 9{,}73 \ нм^3/ч.$$

Коэффициенты одновременности K_0 во всех случаях принимаются по суммарному количеству ассортиментов — для 16 квартир.

Пример 3. Определить расчетный расход газа в жилом доме на 40 квартир со столовой. В 20 квартирах установлены П-4+ГК; в 20 квартирах П-2+ГК; в столовой — плита ресторанная с комбинированным верхом и 2 духовыми шкафами, 4 варочных котла емкостью по 100 *л* и кипятильник на 200 *л*.

Рассчитываем расход газа в квартирах по формуле (3)

$$V = 0{,}172 \cdot \frac{9600 + 23000}{8500} \cdot 20 + 0{,}18 \cdot \frac{6000 + 23000}{8500} \cdot 20 = 25{,}5 \ нм^3/ч.$$

Расход газа приборами столовой определяем по формуле (1) соответственно плитой ресторанной, варочными котлами и кипятильником:

$$V = \frac{60000}{8500} = 7{,}06 \ нм^3/ч;$$

$$V = \frac{20000}{8500} \cdot 4 = 9{,}41 \ нм^3/ч;$$

$$V = \frac{16480}{8500} \cdot 2 = 3{,}88 \ нм^3/ч.$$

Так как расчетный расход газа в жилом доме (обычно от 18 до 20 *ч*) не совпадает по времени с расходом в столовой (обычно от 14 до 17 *ч*), вводим для столовой коэффициент 0,8. Таким образом суммарный расход газа

$$V = 25{,}5 + 0{,}8\,(7{,}06 + 9{,}41 + 3{,}88) = 41{,}78 \ нм^3/ч.$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ГАЗА ПО ГОДОВЫМ НОРМАМ

Способ определения расхода газа по годовым нормам применяется для равномерно распределенных потребителей, когда количество устанавливаемых приборов неизвестно. Годовые нормы расхода газа на хозяйственно-бытовые и коммунальные нужды приведены в табл. 2.

Таблица 2. **Нормы расхода газа на хозяйственно-бытовые и коммунальные нужды и количество расчетных единиц потребления газа (СНиП II-Г. 13—66 и СНиП II-К. 2—62)**

Назначение расходуемого газа	Расчетная единица потребления	Норма расхода газа q, тыс. *ккал*	Количество расчетных единиц потребления газа m на 1 тыс. жителей
Приготовление пищи в квартирах с централизованным горячим водоснабжением	1 чел. в год	640	850
Приготовление пищи и горячей воды на хозяйственные нужды в квартирах при отсутствии централизованного горячего водоснабжения и кухонного водонагревателя (без стирки белья)	То же	850	850
Нагревание воды в квартирах для ванн или душа	»	460	По проценту квартир с газовыми колонками
Стирка белья в домашних условиях	1 *т* сухого белья	2100	50
В детских яслях:			
приготовление пищи	1 ребенок	490	40
приготовление горячей воды для хозяйственно-бытовых нужд (без стирки белья)	То же	430	40
То же, в детских садах	»	570	50
	»	320	50
В больницах и родильных домах:			
для приготовления пищи	1 койка в год	760	9

Продолжение табл. 2

Назначение расходуемого газа	Расчетная единица потребления	Норма расхода газа q, тыс. *ккал*	Количество расчетных единиц потребления газа m на 1 тыс. жителей
для приготовления горячей воды на хозяйственно-бытовые нужды (без стирки белья) и лечебные процедуры	1 койка в год	2200	9
для стирки и дезинфекции белья	1 *т* сухого белья	4800	4,32
В поликлиниках для лечебных процедур (без стирки белья)	1 посетитель в год (на лечебную процедуру)	20	Водолечение — 600, грязелечение — 300
В школах, вузах и техникумах для подогревания завтраков и лабораторных нужд	1 учащийся в год	40	180
В учебных заведениях трудовых резервов и школах-интернатах для лабораторных нужд, приготовления пищи и горячей воды на хозяйственно-бытовые нужды	То же	700	По специальному заданию
В общежитиях высших и средних специальных учебных заведений для приготовления пищи и горячей воды на хозяйственно-бытовые нужды	1 место в год	500	То же
В гостиницах без ресторанов с ваннами во всех номерах	1 место в год	1200	См. примечание 2
То же, с ваннами в 25% номеров	То же	850	То же
В ресторанах при гостиницах	1 место в год	2	365 рационов
Стирка белья:			
в квартирах и в немеханизированных прачечных	1 *т* сухого белья	2100	50
в немеханизированных прачечных с сушильными шкафами	То же	3000	30
в механизированных прачечных (стирка, сушка и глаженье)	»	4800	54
Дезинфекция белья:			
в паровых камерах	1 *т* сухого белья	535	По специальному заданию
в огневых камерах	То же	300	То же
Мытье в банях без ванн	1 помывка	9	36 помывок в год на 1 жителя, не имеющего горячего водоснабжения в квартире
То же, в ваннах	То же	12	
Приготовление обедов на предприятиях общественного питания	1 обед	1,0	92400
То же, завтраков и ужинов	1 завтрак или ужин	0,5	47000

Продолжение табл. 2

Назначение расходуемого газа	Расчетная единица потребления	Норма расхода газа q, тыс. *ккал*	Количество расчетных единиц потребления газа m на 1 тыс. жителей
Выпечка хлебобулочных и кондитерских изделий:			
хлеба формового	1 *т* изделий	420	219,0
подового	То же	1090	
батонов, булок, сдобы	»	950	
кондитерских изделий	»	1450	36,5
Предприятия и учреждения бытового обслуживания населения	До 10% от суммарного расхода газа всеми потребителями		

Примечания: 1. При определении количества расчетных единиц m ориентировочно принимают 50—60 учащихся техникумов на 1 тыс. жителей; для вузов — в городах с населением более 100 тыс. жителей — 30—40 учащихся на 1 тыс. жителей. Для общежитий, кроме этого, учитывается процент обеспеченности студентов общежитиями.

2. Для гостиниц величина m определяется в зависимости от численности населения в населенном месте: до 50 тыс. жителей — 3 места; 50—100 тыс. жителей — 4 места; свыше 100 тыс. жителей — 5 мест. Для отдельно стоящих гостиниц расход газа ресторанами определяют по действительному количеству мест в ресторанах (1,5 посадок на место в час и 13 в сутки).

3. На выпечку хлебобулочных и кондитерских изделий в среднем принимают 760 тыс. *ккал/т*.

4. Норма расхода газа 810 тыс. *ккал* для приготовления пищи и горячей воды уменьшается до 710 тыс. *ккал* при использовании жидкого газа.

Количество расчетных единиц потребления m для существующих населенных мест принимается по данным горисполкомов с учетом возможного их увеличения, а для проектируемых — по данным проектов планировки и застройки. При отсутствии таких данных количество расчетных единиц потребления определяется по СНиП II-К. 2—62. Исходными данными является количество жителей в населенном месте (в целом и в отдельных кварталах и микрорайонах). СНиП II-К. 2—62 рекомендует определять количество жителей по плотности жилищного фонда (табл. 3) и норме жилой площади на 1 жителя. При смешанной этажности плотность жилищного фонда пропорциональна соотношению зданий разной этажности.

Количество жителей определяем по формуле

$$n = \frac{SF}{f}, \qquad (4)$$

где S — площадь квартала в красных линиях, *га*;

F — плотность жилищного фонда, *м²/га*;

f — норма жилой площади на 1 жителя, *м²/чел.*

В площадь кварталов включаются площади школ, детских яслей и садов, предприятий торговли, питания и бытового обслуживания населения, внутриквартальные и микрорайонные зеле-

ные насаждения; не включаются площади улиц, проспектов и площадей, садов, парков и участков, занятых зданиями, которые не являются обычными для жилых массивов. Приведенное в табл. 3 количество жителей на 1 *га* застройки принято по верхнему пределу плотности при $f=9$ *м²/чел.*

Таблица 3. **Плотность жилищного фонда в *м²* жилой площади на 1 *га* микрорайона (СНиП II-К. 2—62)**

Наименование показателей	Этажность застройки							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Жилая площадь F, *м²*	2000—1800	2600—2400	2800—2600	3200—2800	3400—3000	3600—3200	3800—3400	4200—3600
Количество жителей, чел.	222	289	311	356	378	400	422	467

Количество жителей усадебной застройки определяется по площади одной усадьбы: в городах 300—600 *м²*, вне городов 700—1200 *м²* при 3—5 чел. на усадьбу

$$n=\frac{S'}{f'}\ n', \tag{5}$$

где S' — площадь усадебной застройки, *га*;

f' — средняя площадь одной усадьбы, *га*;

n' — количество жителей в усадьбе (3—5 чел.).

При этом площади под общественными и коммунальными зданиями, площади улиц, садов и парков не учитываются.

Количество расчетных единиц потребления m, отнесенное к 1 тыс. жителей, определяется по данным СНиП II-К. 2—62 (см. табл. 2).

Годовой расход газа определяется по формуле

$$V_{\text{год}}=v\ \frac{n}{1000}\ m\ \text{нм}^3/\text{год}. \tag{6}$$

Расчетный расход газа определяется как доля годового расхода

$$V=K_m V_{\text{год}}\ \text{нм}^3/\text{ч}, \tag{7}$$

где K_m — коэффициент часового максимума (табл. 4).

Коэффициент часового максимума для населенных мест принимается в зависимости от общей численности населения, обслуживаемого данными газовыми сетями, одинаковыми для всех районов, гидравлически связанных между собой. Для районных сетей, гидравлически не связанных между собой, K_m принимается отдельно для каждого района.

Значения коэффициента часового максимума K_m для коммунально-бытовых предприятий (СНиП II-Г. 13—66)

Бани	1/1600—1/2300
Прачечные	1/2300—1/3000

Больницы	1/2500—1/3000
Гостиницы	1/1800—1/2200
Предприятия общественного питания	1/1800—1/2200

Для бань и прачечных коэффициенты часового максимума приняты с учетом расхода газа на нужды отопления и вентиляции.

Таблица 4. **Значения коэффициента часового максимума K_m (без учета отопления) для населенных мест (СНиП II-Г. 13—66)**

Количество жителей, снабжаемых газом, тыс. чел.	Коэффициент часового максимума K_m	Количество жителей, снабжаемых газом, тыс. чел.	Коэффициент часового максимума K_m
1	1/1800	40	1/2500
2	1/2000	50	1/2600
3	1/2050	100	1/2800
5	1/2100	300	1/3000
10	1/2200	500	1/3300
20	1/2300	750	1/3500
30	1/2400	1000 и более	1/3700

Расход газа по отдельным кварталам и районам определяется пропорционально количеству жителей, пользующихся газом,

$$V_{кв} = \frac{n_{кв}}{n_з} V_з \ нм^3/ч, \qquad (8)$$

где $V_з$ — расход газа в зоне с одинаковой плотностью нагрузки;

$n_з$ и $n_{кв}$ — количество жителей в зоне и в квартале.

Пример 4. Определить расход газа на хозяйственно-бытовые нужды 1 чел. при всех возможных вариантах горячего водоснабжения в квартирах при $Q_н^р = 8500$ *ккал/нм*^{3}.

Определяем расходы газа по данным табл. 2 и формуле (1). При централизованном горячем водоснабжении газ в квартирах расходуется только для приготовления пищи

$$V_{год} = \frac{q}{Q_н^р} = \frac{640 \cdot 10^3}{8500} = 75{,}3 \ нм^3/год \cdot чел.$$

При наличии в квартирах только газовой плиты и отсутствии централизованного горячего водоснабжения и газовых колонок газ расходуется на приготовление пищи и горячей воды для хозяйственно-бытовых нужд и стирки белья

$$V_{год} = \frac{810 \cdot 10^3}{8500} + \frac{2100 \cdot 10^3}{8500} \cdot 0{,}05 = 107{,}7 \ нм^3/год \cdot чел.$$

Количество стираемого в квартирах белья принимается 0,05 *т/год·чел.*

При наличии в квартире газовой плиты и колонки газ расходуется на приготовление пищи и горячей воды на хозяйственно-

бытовые нужды, приготовление горячей воды для ванны и для стирки белья

$$V_{год} = \frac{1270 \cdot 10^3}{8500} + \frac{2100 \quad 10^3}{8500} \cdot 0.05 = 161{,}8 \ нм^3/год \cdot чел.$$

Пример 5. Определить годовой расход природного газа на хозяйственно-бытовые нужды в жилых домах и общественных зданиях, а также на коммунальных предприятиях на 1 тыс. жителей при централизованном горячем водоснабжении.

Определяем расходы газа на все расчетные единицы потребления по табл. 2:

приготовление пищи в жилых домах

$$V_{год} = \frac{q}{Q_н^р} m = \frac{640 \cdot 10^3}{8500} \cdot 850 = 64000 \ нм^3/год;$$

приготовление пищи в детских яслях

$$V_{год} = \frac{490 \cdot 10^3}{8500} \cdot 40 = 2310 \ нм^3/год;$$

приготовление пищи в детских садах

$$V_{год} = \frac{570 \cdot 10^3}{8500} \cdot 50 = 3350 \ нм^3/год;$$

приготовление пищи и стирка белья в больницах и родильных домах

$$V_{год} = \frac{760 \cdot 10^3}{8500} \cdot 9 + \frac{4800 \cdot 10^3}{8500} \cdot 4{,}32 = 3240 \ нм^3/год;$$

в поликлиниках на грязелечение

$$V_{год} = \frac{20 \cdot 10^3}{8500} \cdot 300 = 710 \ нм^3/год;$$

приготовление завтраков в школе и на лабораторные нужды

$$V_{год} = \frac{40 \cdot 10^3}{8500} \cdot 180 = 850 \ нм^3/год;$$

в общежитиях вузов и средних специальных учебных заведений

$$V_{год} = \frac{500 \cdot 10^3}{8500} (60 + 40) = 5880 \ нм^3/год;$$

приготовление пищи в ресторанах (в среднем 4 места на 1000 жителей) при гостиницах

$$V_{год} = \frac{2 \cdot 10^3}{8500} \cdot 4 \cdot 365 = 340 \ нм^3/год;$$

в самодеятельных прачечных (средняя норма)

$$V_{год} = \frac{3000 \cdot 10^3}{8500} \cdot 30 = 10590 \ нм^3/год:$$

в коммунальных прачечных

$$V_{год} = \frac{4800 \cdot 10^3}{8500} \cdot 54 = 30490 \ нм^3/год;$$

мытье в банях (в среднем 30% квартир, не имеющих централизованного горячего водоснабжения и газовых колонок)

$$V_{год} = \frac{9 \cdot 10^3}{8500} \cdot 300 \cdot 36 = 11440 \ нм^3/год;$$

приготовление пищи на предприятиях общественного питания

$$V_{год} = \frac{10^3}{8500} \cdot 92400 + \frac{0{,}5 \cdot 10^3}{8500} \cdot 47000 = 13640 \ нм^3/год;$$

для выпечки хлеба (760 тыс. *ккал/т*) и для выпечки кондитерских изделий (950 тыс. *ккал/т*)

$$V_{год} = \frac{760 \cdot 10^3}{8500} \cdot 219 + \frac{950 \cdot 10^3}{8500} \cdot 36{,}5 = 23660 \ нм^3/год.$$

Суммарный годовой расход газа на хозяйственные и коммунальные нужды на 1 тыс. жителей с учетом 10% на мелкие промышленные предприятия и предприятия бытового обслуживания составит:

$$V_{год} = 64000 + 2310 + 3350 + 3240 + 710 + 850 + 5880 + 340 + 10590 + 30490 + 11440 + 13640 + 23660 = 170500 \cdot 1{,}1 = 187550 \ нм^3/год.$$

Суммарный расход газа на 1 чел.

$$V_{год} = \frac{187550}{1000} \approx 188 \ нм^3/год \cdot чел.$$

Пример 6. Определить расходы газа в гостинице на 400 мест с ванными в 25% номеров и с рестораном на 200 мест; $Q_н^р = 8500$ *ккал/нм*^{3}.

Норма расхода газа гостиницей 850 тыс. *ккал/год* на 1 место. Годовой расход газа составит

$$V_{год} = \frac{850 \cdot 10^3}{8500} \cdot 400 = 40000 \ нм^3/год;$$

расчетный расход газа

$$V = K_m V_{год} = \frac{1}{2000} \cdot 40000 = 20 \ нм^3/ч.$$

Норма расхода газа на один обед в ресторане составляет 1000 *ккал* или $v = \frac{1000}{8500} = 0{,}12 \ нм^3$. Часовой расход газа на приготовление пищи в ресторане определяем по количеству посетителей. При 1,5 посадок на 1 место количество обедов за 1 *ч* составит $p = 1{,}5 \cdot 200 = 300$.

Расчетный расход газа рестораном

$$V = 300 \cdot 0{,}12 = 36 \ нм^3/ч.$$

Суммарный расчетный расход газа в гостинице с рестораном

$$V = 20 + 36 = 56 \ нм^3/ч.$$

Пример 7. Определить расход газа банно-прачечным комбинатом, обслуживающим город с населением 102 825 чел. Количество жителей, живущих в квартирах без газовых колонок,— 16 824 чел.

Норма расхода газа на одну помывку по данным табл. 2

$$v = \frac{9000}{8500} = 1{,}06 \ нм^3.$$

Количество помывок в год

$$m = n \cdot 36 = 16824 \cdot 36 = 605700.$$

Годовой и расчетный расходы газа баней соответственно составят:

$$V_{год} = 1{,}06 \cdot 605700 = 642000 \ нм^3/год;$$

$$V = K_m V_{год} = \frac{1}{2000} \cdot 642000 = 321 \ нм^3/ч.$$

Норма расхода газа на 1 $т$ сухого белья

$$v = \frac{q}{8500} = \frac{4800000}{8500} = 564{,}7 \ нм^3/ \ .$$

Количество стираемого белья

$$m_1 = 102825 \cdot \frac{54}{1000} = 5551 \ т/год.$$

Годовой и расчетный расходы газа на стирку белья равны:

$$V_{год} = 564{,}7 \cdot 5551 = 3135000 \ нм^3/год;$$

$$V = K_m V_{год} = \frac{1}{2700} \ 3135000 = 1161 \ нм^3/ч.$$

Таким образом, расход газа банно-прачечным комбинатом (без отопления) составляет

$$V = 321 + 1161 = 1482 \ нм^3/ч.$$

Пример 8. Определить годовой и расчетный расходы газа хлебозаводом, обслуживающим город с населением 102 825 чел.; $Q_н^р = 8500 \ ккал/нм^3$.

Определяем норму расхода газа для выпечки 1 $т$ пшеничного хлеба и кондитерских изделий (см. табл. 3):

$$v = \frac{760000}{8500} = 89{,}4 \ нм^3/т;$$

$$v = \frac{950000}{8500} = 111{,}8 \ нм^3/т.$$

Количество хлеба и кондитерских изделий, выпекаемых в год, соответственно равно:

$$m_1 = 102825 \cdot \frac{m}{1000} = 102825 \cdot \frac{219}{1000} = 22520 \ т/год;$$

$$m_2 = 102825 \cdot \frac{m}{1000} = 102825 \cdot \frac{36{,}5}{1000} = 3750 \ т/год.$$

Годовой расход газа на выпечку хлеба и кондитерских изделий соответственно составит:

$$V_{год} = m_1 v = 22520 \cdot 89{,}4 = 2013300 \ нм^3/год;$$

$$V_{год} = m_2 v = 3750 \cdot 111{,}8 = 419250 \ нм^3/год.$$

Расход газа за 1 *ч*:

$$V = K_m V_{год} = \frac{1}{6000} \cdot 2013300 = 336 \ нм^3/ч;$$

$$V = K_m V_{год} = \frac{1}{6000} \cdot 419250 = 70 \ нм^3/ч.$$

Пример 9. Определить расчетный расход газа в больнице на 600 мест с поликлиникой на 1200 посещений; $Q_н^р = 8500$ *ккал/нм*^{3}.

Определяем норму расхода газа для приготовления пищи и горячей воды на 1 место

$$v = \frac{q}{Q_н^р} = \frac{760 \cdot 10^3 + 2200 \cdot 10^3}{8500} = 348{,}2 \ нм^3/год;$$

расчетный расход газа

$$V = vmK_m = 348{,}2 \cdot 600 \cdot \frac{1}{3000} = 69{,}6 \ нм^3/ч.$$

Норма расхода газа на стирку белья

$$v = \frac{q}{Q_н^р} = \frac{4800 \cdot 10^3}{8500} = 564{,}7 \ нм^3/т;$$

выход сухого белья на 600 коек при норме 40 *кг* на 1 койку · в месяц

$$m_1 = \frac{40 \cdot 600 \cdot 12}{1000} = 288 \ т/год;$$

расчетный расход газа на стирку белья

$$V = vm_1 K_m = 564{,}7 \cdot 288 \cdot \frac{1}{3000} = 54{,}2 \ нм^3/ч.$$

Поликлиника обслуживает лечебными процедурами город с населением 102 825 чел. Количество процедур водолечения и грязелечения

$$m_2 = 102825 \cdot \frac{600 + 300}{1000} = 92543.$$

Норма расхода газа на 1 процедуру

$$v = \frac{q}{Q_н^р} = \frac{20000}{8500} = 2{,}35 \ нм^3;$$

расчетный расход газа на лечебные процедуры

$$V = vm_2K_m = 2{,}35 \cdot 92543 \cdot \frac{1}{3000} = 72{,}5 \ нм^3/год.$$

Суммарный расход газа

$$V = 69{,}6 + 54{,}2 + 72{,}5 = 196{,}3 \ нм^3/год.$$

Коэффициенты часового максимума здесь приняты максимальными.

РАСХОД ГАЗА НА ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЮ

Расчетный расход газа на отопление и вентиляцию определяется по максимальному часовому расходу тепла на эти нужды

$$V_{о.в} = \frac{\Sigma (Q_о + Q_в)}{Q_н^р \eta} \ нм^3/ч, \qquad (9)$$

где $Q_о$ и $Q_в$ — максимальные часовые расходы тепла соответственно на отопление и вентиляцию каждого отдельного здания, *ккал/ч*.

Для местных котельных принимается $\eta = 0{,}8 \div 0{,}85$; для районных котельных (с учетом к. п. д. тепловых сетей) — 0,8; для квартирного отопления от АГВ — 0,8; для печного отопления — $0{,}7 \div 0{,}8$.

Значения $Q_о$ и $Q_в$ принимаются по типовым проектам зданий. При отсутствии типовых проектов максимальный часовой расход тепла на отопление определяется по удельным отопительным характеристикам зданий по формуле

$$Q_о = \Sigma a q_0 (t_{вн} - t_{н.о}) V_н \ ккал/ч, \qquad (10)$$

где q_0 — удельная отопительная характеристика здания, *ккал/м³·ч·град* (табл. 5);

a — коэффициент, учитывающий изменение q_0 в зависимости от $t_{н.о}$ (табл. 5);

$t_{вн}$ — усредненная расчетная температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, *град* (см. стр. 17);

$t_{н.о}$ — расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления, *град*;

$V_н$ — наружный строительный объем отапливаемых зданий, *м³*.

Для печного отопления зданий (с периодической топкой и аккумуляцией тепла в теплоемких печах) расход тепла составляет 7% суточного расхода и определяется по формуле

$$Q_о = 0{,}07 a q_0 (t_{вн} - t_{н.о}) V_н \ ккал/ч. \qquad (11)$$

Таблица 5. **Удельные отопительные характеристики жилых и общественных зданий q_0 при $t_{н.о} = -30°$ С (СНиП II-Г. 10—62)**

Этажность застройки	Удельная отопительная характеристика q_0, *ккал/м³·ч·град*
1	0,6—0,7
2—3	0,4—0,5
4—5	0,35—0,4
6 и более	0,3—0,4

Примечания: 1. При $t_{н.о} \geqslant -10°$ С поправочный коэффициент $a = 1{,}2$; при $t_{н.о} = -20°$ С $a = 1{,}1$ и при $t_{н.о} \leqslant -40°$ С $a = 0{,}9$.

2. Если нет сведений об этажности общественных зданий, значение q_0 принимается равным 0,4 *ккал/м³·ч·град*.

Усредненная расчетная температура внутреннего воздуха $t_{вн}$, *град* (СНиП II-Г. 10—62)

Жилые здания, гостиницы, общежития, административные здания	18
Учебные заведения, общеобразовательные школы-интернаты, лаборатории, предприятия общественного питания, клубы, Дома культуры	16
Театры, магазины, прачечные, пожарные депо	15
Кинотеатры	14
Гаражи	10
Детские ясли-сады, поликлиники, амбулатории, диспансеры, больницы	20
Бани	25

Примечание. Если нет указаний о назначении общественных зданий, расчетная температура внутреннего воздуха для всех зданий принимается +18° С.

Расчетный расход тепла на вентиляцию без ограничения определяется по формуле

$$Q_в = q_в (t_{вн} - t_{н.о}) V_н \ ккал/ч, \qquad (12)$$

где $q_в$ — удельная вентиляционная характеристика здания, *ккал/м³·ч·град*.

Удельные вентиляционные характеристики общественных зданий $q_в$, *ккал/м³·ч·град*

Административные, научно-исследовательские и проектные институты	0,18
Клубы	0,2
Театры, кинотеатры	0,4
Магазины, учебные заведения, пожарные депо	0,1
Поликлиники, диспансеры, амбулатории	0,25
Больницы	0,3
Бани, лаборатории	1
Предприятия общественного питания, гаражи	0,7

Прачечные	0,8
Детские ясли и сады	0,1
Школы общеобразовательные	0,08

Примечание. При отсутствии перечня общественных зданий принимается $q_в = 0{,}2$ *ккал/м³ · ч · град.*

Для зданий, в которых применяется вентиляция с ограничением (общественные и коммунальные здания населенных мест, некоторые производственные здания с незначительными выделениями тепла и влаги), расход тепла на вентиляцию определяется по формуле

$$Q_в = q_в (t_{вн} - t_{н.в})\, V_н \ \textit{ккал/ч}, \qquad (13)$$

где $t_{н.в}$ — расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции, *град.*

Значения $t_{н.о}$ и $t_{н.в}$ принимаются по СНиП II-А. 6—62.

Строительные объемы зданий (объемы по наружному обмеру без объемов чердака и подвала) принимаются по типовым проектам или определяются по формуле

$$V_н = nfK \ \textit{м}^3, \qquad (14)$$

где n — количество жителей;

f — норма жилой площади на жителя, $м^2$;

K — коэффициент строительной кубатуры.

Коэффициент строительной кубатуры (отношение кубатуры здания к его жилой площади) определяется по проектам типовых серий домов данного района, при их отсутствии принимается $K = 6{,}0$.

Строительный объем отдельных отапливаемых общественных зданий можно определить по удельной кубатуре, приходящейся на расчетную единицу, а строительный объем общественных зданий в населенном месте — по кубатуре общественных зданий, приходящихся на 1 тыс. жителей (табл. 6).

Пример 10. Определить расход газа встроенной котельной, подающей тепло для отопления и вентиляции 4-этажного административного здания строительным объемом $V_н = 20000$ $м^3$, расположенного в г. Жданове. $Q^р_н = 8500$ *ккал/нм³*.

Определяем расход тепла на отопление здания по формуле (10)

$$Q_о = aq_о (t_{вн} - t_{н.о})\, V_н = 1{,}1 \cdot 0{,}4\,[18 - (-20)] \cdot 20000 = 334400 \ \textit{ккал/ч}.$$

Расход тепла на вентиляцию по формуле (13)

$$Q_в = q_в (t_{вн} - t_{н.в})\, V_н = 0{,}18 \cdot [18 - (-9)] \cdot 20000 = 97200 \ \textit{ккал/ч}.$$

Расход газа котельной определяем по формуле (9)

$$V_{о.в} = \frac{\Sigma (Q_о + Q_в)}{Q^р_н \eta} = \frac{334400 + 97200}{8500 \cdot 0{,}8} = 63{,}5 \ \textit{нм}^3/\textit{ч}.$$

Таблица 6. **Строительный объем отапливаемых общественных зданий**

Назначение зданий	Строительный объем здания ($м^3$ на 1 тыс. жителей) в зависимости от количества жителей в населенном месте, тыс. чел.					Удельная кубатура	
	от 2 до 12	50	100	250	свыше 250	Расчетная единица	Количество, $м^3$
Детские ясли			1000			1 место	25
Детские сады			1400			То же	28
Школы	4300	3600	3600	3600	3600	1 учащийся	20
Средние специальные учебные заведения:	—	2400	2400	2400	2400		
школы-интернаты, техникумы						То же	37—40
школы трудрезервов						»	60
Вузы	—	—	—	1200	1600	»	50—60
Учреждения здравоохранения:	1220	2400	2480	2510	2490		
поликлиники						1 посетитель в смену	23
больницы						1 койка	200-225
родильные дома						То же	180-190
диспансеры						»	240
Культурно-просветительные учреждения:	4000	1750	1750	2400	2650		
Дома культуры, клубы						1 место	40
кинотеатры						То же	16
театры						»	45
Предприятия общественного питания	1040	730	730	730	730	»	28
Торговые предприятия:	430	1450	1450	1450	1450		
универмаги						»	200
продовольственные магазины						»	190
промтоварные магазины						»	170
Коммунальные и бытовые предприятия:	1080	1900	2000	2100	2100		
гостиницы						1 место	100
бани						То же	62
прачечные						1 *кг* белья в смену	4,8
Административные здания	600	1140	1140	1210	1160	—	
Итого кубатура на 1 жителя	15,0	17,8	18,0	20,0	20,6		

РАСХОД ГАЗА НА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Расход тепла на централизованное горячее водоснабжение от районных котельных определяется по нормам расхода горячей воды на 1 жителя в сутки по формуле

$$Q_{г.в} = K_c K_ч \frac{m(a+b)}{24} (65 - t_х) \; ккал/ч, \qquad (15)$$

где m — количество жителей в населенном месте или районе, охваченных централизованным горячим водоснабжением;

a — норма расхода горячей воды (при температуре 65° С) для жилых зданий (принимается 80—100 *л* на 1 жителя в сутки по СНиП II-Г. 8—62);

b — норма расхода горячей воды (при температуре 65° С) для всех общественных зданий (принимается 20 *л* на 1 жителя в сутки);

$t_х$ — температура водопроводной воды (при отсутствии точных данных принимается $t_х = 5°$ С);

$K_с$, $K_ч$ — суточный и часовой коэффициенты неравномерности потребления; $K_с = 1{,}2$, $K_ч = 1{,}7 \div 2{,}0$.

Для жилых районов, где все квартиры оборудованы ваннами, принимают $a = 90$ *л*. Тогда

$$Q_{г.в} = 1{,}2 \cdot 2 \cdot \frac{m\,(90 + 20)}{24} \cdot (65 - 5) = 660m \text{ ккал/ч}; \qquad (16)$$

при неполном охвате жителей ваннами расход горячей воды для жилых зданий определяют из выражения [1]

$$a = 55K_{ох} + 35, \qquad (17)$$

где $K_{ох}$ — коэффициент охвата ваннами;

35 — расход горячей воды кухонными кранами в квартирах, не имеющих ванн, *л* на 1 чел. в сутки.

Для жителей, не охваченных горячим водоснабжением, $a = 0$, и учитывается только $b = 20$ *л/сутки·чел.* Для небольших районов и кварталов значение b берется по фактическому наличию общественных зданий.

Расход газа котельными с горячим водоснабжением

$$V = \frac{Q_о + Q_в + Q_{г.в}}{Q_н^р \eta} \text{ нм}^3/\text{ч}. \qquad (18)$$

Пример 11. Определить расчетный расход газа для централизованного теплоснабжения (отопления и горячего водоснабжения) города Харьковской области. Общее количество жителей 102 825 чел.; из них в существующей 2—3-этажной зоне проживает 19 543, в индивидуальной 3143 и в 4—5-этажной — 80 139 чел. Теплоснабжение должно осуществляться от единой районной котельной.

Определяем кубатуру жилых зданий исходя из нормы жилой площади на 1 чел. $f = 9$ *м*^{2} по формуле (14)

$$V_ж = nfK = 102825 \cdot 9 \cdot 6 = 5553000 \text{ м}^3.$$

Кубатуру общественных зданий определяем по данным табл. 6 — по 18 *м*^{3} на 1 жителя

$$V_{об} = n \cdot 18 = 102825 \cdot 18 = 1850000 \text{ м}^3.$$

Расход тепла на отопление и вентиляцию жилых и общественных зданий определяем по формулам (10) и (12)

$$Q_{о.в} = aq_0 (t_{вн} - t_{н.о}) (V_ж + V_{об}) + q_в (t_{вн} - t_{н.в}) V_{об} =$$
$$= 1{,}1 \cdot 0{,}4 \cdot [18 - (-23)] (5553000 + 1850000) 10^{-6} + 0{,}2 \cdot [18 - (-11)] \cdot 1850000 \cdot 10^{-6} = 133{,}6 + 10{,}7 = 143{,}2 \ Гкал/ч.$$

Значения $t_{вн}$, q_0, a и $q_в$ принимаем согласно табл. 5 и стр. 17, $t_{н.о}$ и $t_{н.в}$ — по СНиП II-А. 6—62.

Далее определяем расход тепла на централизованное горячее водоснабжение. Так как в зонах различной этажности охват централизованным горячим водоснабжением различный, расчет производим отдельно для каждой зоны в *л* на 1 чел. в сутки.

Зона 4—5-этажной застройки горячей водой охвачена полностью. Расход горячей воды для жилых зданий по формуле (17)

$$a = 55K_{ох} + 35 = 55 \cdot 1{,}0 + 35 = 90 \ л/сутки \cdot чел.$$

В зоне 2—3-этажной застройки горячей водой снабжается 30% жителей. Расход горячей воды для жилых зданий

$$a = 55 \cdot 0{,}30 + 35 = 51{,}5 \ л/сутки \cdot чел.$$

В зоне индивидуальной застройки отсутствует канализация, поэтому ванны в домах не устанавливаются и $a=0$. При наличии канализации установка ванн возможна, и расход воды определяется по формуле (17).

Расход горячей воды для общественных зданий всех зон принимается $b=20$ *л/сутки·чел.*

Расход тепла на горячее водоснабжение определяем по формуле (15):

$$Q_{г.в} = 1{,}2 \cdot 2{,}0 \cdot \frac{80139 \cdot (90 + 20) + 19543 \cdot (51{,}5 + 20) + 3143 \cdot 20}{24} \times$$
$$\times (65 - 5) 10^{-6} = 61{,}65 \ Гкал/ч.$$

По формуле (18) определяем часовой расход газа

$$V = \frac{(Q_{о.в} + Q_{г.в})}{Q_н^р \eta} = \frac{(143{,}2 + 61{,}65) \cdot 10^6}{8500 \cdot 0{,}8} = 30125 \ нм^3/ч.$$

РАСХОД ГАЗА ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

Расход газа промышленными предприятиями на технологические нужды определяется по данным технологических проектов этих предприятий, укрупненным показателям специализированных проектных организаций или по расходам топлива и газа аналогичными существующими предприятиями.

Если известен расход какого-либо другого топлива (при переходе на газ) или другой аналогичный потребитель, расход газа можно определить путем пересчета по формуле

$$V = G \frac{Q^{р}_{н.пр}\,\eta}{Q^{р}_{н}\,\eta_{г}}\ нм^3/ч, \qquad (19)$$

где G — расход применяемого потребителем топлива, *кг* (для дров — $м^3$);

$Q^{р}_{н.пр}$ — рабочая теплота сгорания применяемого топлива;

$Q^{р}_{н}$ — рабочая теплота сгорания газа, на который переводится потребитель, *ккал/нм*^{3};

η, $\eta_{г}$ — к. п. д. установок потребителя при работе на заменяемом топливе и на замещающем газе.

Усредненная теплота сгорания различных видов топлива $Q^{р}_{н.пр}$, *ккал/кг*

Каменный уголь	
В среднем для всех марок и сортов	6455
Для антрацитных марок:	
А	6540
Д	5280
АК	7080
АШ	6065
АРШ	6445
Нефтяное топливо	
Мазут	9800
Дизельное и моторное топливо	10000
Бензин	10445
Керосин	10260
Торф (в среднем для УССР)	
Кусковой	2730
Фрезерный	2450
Дрова складские всех пород 33%-ной влажности ($м^3$)	1302
Кокс	6500

Необходимо учитывать влияние применения газа вместо другого топлива на увеличение производительности установки и изменение режима работы, а также реконструкцию самих установок, потребляющих газ.

СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

ВЫБОР СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Для газоснабжения населенных мест применяются одноступенчатые, двух-, трех- и многоступенчатые системы газоснабжения (рис. 1).

Городские системы газоснабжения присоединяются к магистральным газопроводам через газораспределительные станции (ГРС), а малые системы — через контрольно-регуляторные пункты (КРП). Связь между газопроводами различных давлений должна осуществляться через газорегуляторные пункты (ГРП). ГРП в зависимости от величины давления газа на вводе делятся на ГРП среднего давления (до 3 *кгс/см*^{2}) и высокого давления (от 3 до 12 *кгс/см*^{2}). Аналогичные установки внутри здания называются газорегуляторными установками (ГРУ).

Выбор системы газоснабжения (количество ступеней давления) производится исходя из следующих соображений: чем больше давление газа в газопроводе, тем меньше его диаметр и стоимость, но зато усложняется прокладка сети — необходимо выдерживать большие разрывы до зданий и сооружений, не по всем улицам можно проложить сеть высокого давления. С увеличением количества ступеней давления в системе добавляются новые газопроводы и ГРП, но уменьшаются диаметры последующих ступеней давления.

При проектировании городских систем должны выдерживаться следующие принципы: кольцевание основных транзитных загородных магистралей; кольцевание транзитных внутригородских линий и питание их из нескольких точек. Для повышения надежности желательно иметь два или несколько колец. Распределительные сети должны быть многократно кольцевыми с питанием их из нескольких пунктов и возможностью питания каждого участка с двух сторон. Только для небольших поселков можно применять тупиковые сети и питание из одной точки. Ответвления на кварталы, к отдельным группам зданий и дворовые сети устраиваются тупиковые.

Выбор оптимального решения при проектировании систем газоснабжения надежнее всего производить на основе технико-экономического сравнения вариантов.

Для поселков и небольших городов с населением до 30 50 тыс. жителей рекомендуются одноступенчатые системы газо

снабжения (см. рис. 1, *а*). Газ от ГРС или газового завода поступает в сеть низкого давления и распределяется по территории города. При газоснабжении от газового завода на нем всегда устанавливаются газгольдеры. При этом проверяется вариант с двусторонним расположением газгольдеров (на заводе и с противоположной стороны поселка).

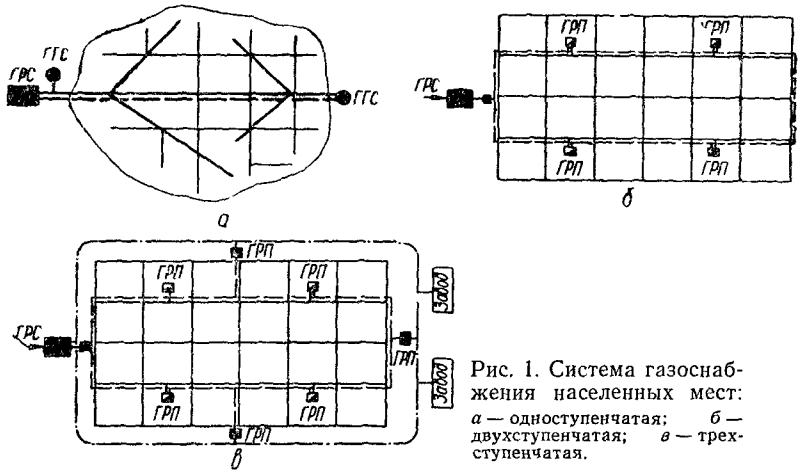


Рис. 1. Система газоснабжения населенных мест: *а* — одноступенчатая; *б* — двухступенчатая; *в* — трехступенчатая.

При разреженной застройке с малоэтажными зданиями возможен вариант одноступенчатой системы низкого (0,05 *кгс/см*^{2}) или среднего давления с установкой квартирных или домовых регуляторов-стабилизаторов давления. Такие системы требуют меньших диаметров сети, благодаря чему снижается ее стоимость; недостаток ее — сложность в эксплуатации из-за большого количества регуляторных пунктов.

Для городов с населением 50—250 тыс. жителей рекомендуются двухступенчатые системы газоснабжения (см. рис. 1, *б*). В двухступенчатых системах газ от ГРС по сети среднего или высокого давления подается к ГРП и крупным потребителям, а от ГРП по сети низкого давления распределяется по территории города. Давление в первой ступени при природном газе обычно равно 3 *кгс/см*^{2}, но возможно и 6 *кгс/см*^{2}, если это не вызывает удлинения и усложнения прокладки сетей из-за необходимости выдерживать большие разрывы до зданий и вскрытия уличных покрытий.

При застройке крупными кварталами и дорогих уличных покрытиях целесообразно применять двухступенчатую систему со шкафными регуляторными пунктами. При этой системе по территории города прокладывается уличная распределительная сеть среднего давления, которая питает внутриквартальные сети низкого давления через шкафные ГРП. Сеть первой ступени устраи-

вается кольцевая и прокладывается через улицу, вследствие чего значительно уменьшается протяженность сети. Квартальная сеть небольших кварталов делается тупиковой, а для крупных кварталов — кольцевой с одной или несколькими точками питания. Сети соседних кварталов и микрорайонов могут соединяться между собой, что повышает надежность газоснабжения. При отсутствии таких соединений на шкафных ГРП должны устанавливаться резервные регуляторы давления. Сокращение протяженности сети низкого давления дает возможность уменьшить давление на выходе из ГРП до 200 *кгс/м*^{2} вместо 300 *кгс/м*^{2}, вследствие чего давление у потребителей будет более равномерным, уменьшаются колебания давления при изменении нагрузки.

Трехступенчатую систему в городах можно применять при повышенных требованиях к надежности, при большой территории и неудобной планировке города (например город вытянут вдоль реки узкой лентой), при наличии газгольдеров высокого давления или промышленных предприятий, требующих газ высокого давления.

Для городов с населением более 250 тыс. жителей рекомендуются трехступенчатые системы газоснабжения (см. рис. 1, *в*). Вокруг города прокладывается магистральный газопровод высокого давления, служащий для подачи газа в отдельные районы города и к крупным промышленным предприятиям. При наличии газгольдеров принимается давление 12 *кгс/см*^{2}, при отсутствии газгольдеров и плотной застройке — 6 *кгс/см*^{2}. Газ из сети первой ступени давления через ГРП высокого давления подается в сеть второй ступени, служащую для подачи газа к городским ГРП, мелким и средним промышленным предприятиям и некоторым коммунальным предприятиям. Из ГРП газ по сети низкого давления распределяется по всей территории застройки. Давление во второй ступени обычно среднее. Распределительные сети низкого давления (0,03 *кгс/см*^{2}) могут быть общегородскими с питанием от ГРП и квартальными с питанием от шкафных ГРП.

Для крупных городов и центров промышленных районов целесообразно применять дополнительное окружное кольцо с давлением 20—25 *кгс/см*^{2}. Это кольцо получает газ из магистральных газопроводов, распределяет его вокруг города и подает в городские сети высокого давления и в магистрали к промышленным районам, городам-спутникам и подземным хранилищам газа.

При проектировании газоснабжения городов большое значение имеет правильный выбор количества ГРС и ГРП, их производительность и размещение. С увеличением их количества уменьшаются радиусы действия и нагрузки на сеть, а следовательно, диаметры и стоимость сети. Зато увеличивается стоимость ГРС и ГРП, удорожается и усложняется эксплуатация системы.

Количество ГРС и их размещение определяются количеством и местами подвода газа магистральными газопроводами. На

каждом подводе необходима отдельная ГРС. По типовым проектам ГРС имеют производительность до 300—400 тыс. *нм³/ч* газа; при большей производительности выгоднее ставить две ГРС с разных сторон города, чем дублировать одну. ГРС должны размещаться за пределами населенного пункта в зоне, не подлежащей застройке. При этом должны быть выдержаны минимально допустимые расстояния до населенных пунктов, промышленных предприятий и отдельных зданий, требуемые СНиП II-Д. 10—62.

Производительность одной ГРП, питающей сеть среднего давления, составляет 25—50 тыс. *нм³/ч*. ГРП размещаются вокруг города так, чтобы обеспечить подвод газа к сети следующей ступени давления с разных сторон и по кратчайшему пути к центрам нагрузок каждого района.

Для ГРП, питающей сеть низкого давления, оптимальная производительность $V_{оп} = 1500 \div 2000$ *нм³/ч*, оптимальный радиус действия $R_{оп} = 0{,}5 + 1$ *км*. С учетом этого количество ГРП определяется по формулам:

$$n = \frac{\Sigma V_{ГРП}}{1500 \div 2000}\ ; \qquad (20)$$

$$n = \frac{F}{2R_{оп}^2}\ , \qquad (21)$$

где $\Sigma V_{ГРП}$ — суммарный расход газа через городские ГРП, *нм³/ч*;

F — газифицируемая площадь, включая площадь проездов, *м²*;

$R_{оп}$ — оптимальный радиус действия ГРП, *км*.

Производительность шкафных ГРП определяется нагрузкой одного квартала или присоединяемой группы зданий. Максимальная нагрузка на шкафный ГРП — до 400—500 *нм³/ч* при давлении 200 *кгс/м²*. Так как в квартальных сетях возможность резервирования сети питанием из нескольких точек ограничена, в каждом пункте устанавливается резервный регулятор.

Полученное по формуле (20) и (21) количество ГРП, их фактические нагрузки и местоположение уточняются по местным условиям, исходя из планировки города и расположения отдельных районов.

Согласно СНиП II-К.2—62 селитебные территории должны расчленяться на районы и микрорайоны с разрывами между ними не менее 75—100 *м* с использованием естественных и искусственных рубежей (рек, каналов, железных дорог). При численности населения микрорайона 6; 12 и 18 тыс. чел. расход газа микрорайоном соответственно составит 400, 800 и 1300 *нм³/ч*, а для городских районов при численности населения 24; 36 и 60 тыс. чел.— соответственно 1600, 2000 и 4000 *нм³/ч*. Поэтому конструктивно очень удобно установить в каждом микрорайоне одну ГРП или

2—3 шкафные ГРП и в каждом жилом районе 1—2 ГРП. Если при этом произойдет расчленение городской сети на плохо связанные между собой районы, необходимо принять меры к повышению их надежности (например установить на ГРП резервные регуляторы давления).

Если селитебная территория представляет собой большой массив, не расчлененный на отдельные районы, необходимо стремиться, чтобы районы действия каждого ГРП приближались к квадрату. При этом протяженность сети от ГРП до самого дальнего потребителя и расходы газа по сети будут наименьшими, а сеть оптимальной.

Все устройства для регулирования давления газа должны быть однотипными, с одинаковым оборудованием, что позволит упростить их обслуживание. Для этого желательно установить на ГРП регуляторы давления типа РДУК.

Каждый ГРП должен размещаться в центре района его действия и как можно ближе к центру нагрузки района. Если эти центры не совпадают (зоны разной этажности), ГРП необходимо размещать ближе к зоне повышенной нагрузки. При выборе места для ГРП необходимо соблюдать все нормы СНиПа и правила безопасности Госгортехнадзора по размещению и допустимых расстояний до зданий, сооружений, дорог.

ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫЕ ПУНКТЫ

Газорегуляторные пункты (ГРП) выполняются по разработанным Мосгазпроектом типовым проектам ГС-02-04 (табл. 7). ГРП запроектированы для давлений на входе 3, 6 и 12 *кгс/см*^{2} и для давлений на выходе от 0,01 до 6 *кгс/см*^{2}. Всего разработано 20 типоразмеров ГРП производительностью от 50 до 50000 *нм*^{3}*/ч*. Типовые проекты разработаны на базе универсальных регуляторов давления типа РДУК2. Производительность ГРП выбирается по производительности установленного регулятора давления.

Исходя из выбранной системы газоснабжения устанавливается необходимое количество ниток, давление на выходе и необходимость измерения расхода газа. После этого по требуемой производительности каждой нитки и располагаемому перепаду давления выбирают диаметр регулятора давления типа РДУК2 и его сопла, а по ним подбирают типоразмеры ГРП, типовые чертежи и привязывают ГРП к местности. На вводах и выводах газа из ГРП на расстоянии не ближе 5 *м* и не далее 10 *м* от ГРП устанавливаются колодцы с запорными устройствами.

Шкафные ГРП, разработанные Мосгазпроектом (типовой проект ГС-02-05), предназначаются для редуцирования давления газа с 12, 6 и 3 *кгс/см*^{2} на входе до 0,01—0,05 *кгс/см*^{2} на выходе (табл. 8).

Таблица 7. **Варианты типовых ГРП**

Шифр ГРП	Регуляторы давления	Количество	Прибор учета расхода газа	Типоразмер здания ГРП
ГРП-1	РДУК2-50	1	Дифманометр	I
ГРП-2	РДУК2-50	1	Счетчик РС-1000	II
ГРП-3	РДУК2-50	1	—	I
ГРП-4	РДУК2-50	2	Дифманометр	II
ГРП-5	РДУК2-50	2	Счетчик РС-1000	II
ГРП-6	РДУК2-50	2	—	I
ГРП-7	РДУК2-100	1	Дифманометр	I
ГРП-8	РДУК2-100	1	—	I
ГРП-9	РДУК2-100	2	Дифманометр	II
ГРП-10	РДУК2-100	2	—	II
ГРП-11	РДУК2-200	1	Дифманометр	III
ГРП-12	РДУК2-200	1	—	II
ГРП-13	РДУК2-200	2	Дифманометр	IV
ГРП-14	РДУК2-200	2	—	III
ГРП-15	РДУК2-100, РДУК2-50	По 1	Дифманометр	II
ГРП-16	РДУК2-100, РДУК2-50	» 1	—	II
ГРП-17	РДУК2-200, РДУК2-50	» 1	Дифманометр	IV
ГРП-18	РДУК2-200, РДУК2-50	» 1	—	III
ГРП-19	РДУК2-200, РДУК2-100	» 1	Дифманометр	IV
ГРП-20	РДУК2-200, РДУК2-100	» 1	—	III

Примечание. Типоразмер I предусматривает наружные размеры здания 3,76×6,5 *м* (ширина и длина), типоразмер II — 5,26×6,46, III — 6,5×6,76 и IV — 6,5×8,26.

Таблица 8. **Техническая характеристика шкафных ГРП**

Шифр установки	Регулятор давления		Пропускная способность $V_п$, *нм³/ч*, (γ=0,73 *кгс/нм³*) при давлениях на входе P_1, *кгс/см²*				Давление газа на выходе P_2, *кгс/см²*	Габаритные размеры шкафа, *мм*		
	Тип	Количество	1	3	6	12		Ширина	Глубина	Высота
ШП-1	РДУК2-50	1	450 —	— 1200	— 2000	— 2000	0,01—0,05 0,05—0,5	1030	614	1060
ШП-2	РД-50М	2	300/25	500/20	550/15	300/8	0,01—0,025	1150	615	1100
ШП-3	РД-32М	2	40/10	80/10	110/6	80/4	0,01—0,025	920	465	960
ШП-4	РДК-00	2		—	5	—	0,01—0,03	700	400	600

Примечания: 1. Производительность указана ориентировочная при максимальном давлении ступени и при работе одного регулятора (второй — резервный). Действительная производительность пункта должна определяться расчетом пропускной способности регулятора давления в рабочих условиях.

2. Минимальный перепад давления газа $P_1 - P_2 = 1000 \div 1500$ *кгс/м²*.

3. В знаменателе приведены соответствующие диаметры сопла d_c в *мм*.

Регуляторы давления выбираются по расчетному (максимальному часовому) расходу газа при требуемом перепаде давления. Пропускную способность регуляторов рекомендуется принимать на 15—20% больше максимального расчетного расхода газа (СНиП II-Г.13—66). Если в начальный период эксплуатации минимальный расход газа меньше минимального расхода, обеспечивающего устойчивую работу регулятора, необходимо предусматривать временную установку регулятора с малой пропускной способностью. При резких суточных колебаниях расхода газа устанавливают два и более регуляторов.

Основные данные о регуляторах давления и области их применения приведены в табл. 9.

Пропускная способность регуляторов давления определяется по паспортным данным заводов-изготовителей, полученным экспериментальным путем.

Если условия работы регулятора отличаются от паспортных, необходимо сделать пересчет производительности на рабочие условия. Пересчет производим по формулам, указанным в паспортах, или по следующим формулам:

при $\frac{P_2}{P_1} > 0{,}55$

$$V = V_{\text{п}} \sqrt{\frac{\Delta P P_2 \gamma_{\text{п}}}{\Delta P_{\text{п}} P_{2\text{п}} \gamma}}\ ; \qquad (22)$$

при $\frac{P_2}{P_1} \leqslant 0{,}55$

$$V = 50\, V_{\text{п}} P_1 \sqrt{\frac{\gamma_{\text{п}}}{\Delta P_{\text{п}} P_{2\text{п}} \gamma}}\ . \qquad (23)$$

Подставляя табличные значения γ, ΔP, P_1 и P_2 в формулы (22) и (23), при $\frac{P_2}{P_1} > 0{,}55$, получим

$$V = 0{,}031\, V_{\text{п}} \sqrt{\frac{\Delta P P_2}{\gamma}}\ \text{нм}^3/\text{ч}; \qquad (24)$$

при $\frac{P_2}{P_1} \leqslant 0{,}55$

$$V = 1{,}57\, V_{\text{п}} \frac{P_1}{\sqrt{\gamma}}\ \text{нм}^3/\text{ч}. \qquad (25)$$

Индексом п обозначены паспортные данные. По формулам (24) и (25) определяется максимальная пропускная способность регулятора. Устойчивая работа регулятора будет при загрузке в пределах от 10 до 80% максимальной.

Пример 12. Определить пропускную способность регулятора типа РДУК2-100 с клапаном $d = 70$ *мм* для природного газа с удельным весом $\gamma = 0{,}73$ *кг/нм*^{3} при $t = +15°$ С; начальное давление $P_1 = 1{,}5$ *ата*, $P_2 = 1{,}03$ *ата*.

Таблица 9. **Характеристика регуляторов давления**

Тип регулятора	Условный проход $L_у$, *мм*	Диаметр клапана *d*, *мм*	Максимальное допустимое давление перед регулятором P_1, *кгс/см²*	Конечное давление P_2, *кгс/м²*	Максимальная пропускная способность (при γ=1,0 *кг/м³*, ΔP=1000 *кгс/м²*, $P_{2абс}$=1,01 *кгс/см²*) $V_п$, *м³/ч*	Область применения
РДГ-6	15	1,6	16	100—300	0,9	На баллонах жидкого газа
РДК-00	15	1,5	16	160—500	0,45	Для жидкого газа
РДК1-00	15	3,0		100—300	1,90	Для природного газа
РЖГД-20	20	6	16	100—300	7,2	Для жидкого газа
РД-20(25)	20—25	5,0 6,5 9,5	16	50—250 и 200—500	5,0 8,5 18	В шкафных ГРП и ГРУ
РД-32М	32	4 6 10	16	90—200 и 200—400	4,0 7,8 12	В шкафных ГРП и ГРУ и установках жидкого газа
РД-50М	50	8 11 15 20 25	16	90—150 и 150—250	16 30 51 78 100	То же
РСД-32	32	5,0 6,5 9,5	3	1000 - 11000	5,0 8,5 18	В ГРУ, где необходимо среднее давление газа
РСД-50	50	13 19 25			35 75 130	
РДС-80	80	34	12	0,005—0,6 *ати* с пилотом КН-2 и 0,3—6 *ати* с пилотом КВ-2	360	На ГРП и ГРУ (размеры указаны с пилотами)
РДС-100	100	42	12		510	
РДС-150	150	62	12		1300	
РДС-200	200	90	12		2500	
РДС-300	300	140	6		6000	
РДУК2-50	50	35	12	0,006—0,6 *ати* с пилотом КН-2 и 0,6—6,0 *ати* с пилотом КВ-2	240	На ГРП, ГРУ и шкафных ГРП
РДУК2-100	100	50			650	
РДУК2-100	100	70			950	
РДУК2-200	200	105			2000	
РДУК2-200	200	140			2900	

Определяем отношение давлений после и до регулятора

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1{,}03}{1{,}5} = 0{,}687 > 0{,}55.$$

Далее определяем пропускную способность регулятора по паспортной производительности (при $\Delta P_п = 1000$ *кгс/м²*, $V_п = 950$ *нм³/ч*). Так как $\frac{P_2}{P_2} > 0{,}55$, то применяем формулу (24)

$$V = 0{,}031\, V_п \sqrt{\frac{\Delta P P_2}{\gamma}} = 0{,}031 \cdot 950 \sqrt{\frac{(15000 - 10300) \cdot 1{,}03}{0{,}73}} = 2400 \text{ нм}^3/\text{ч}.$$

Пределы устойчивой работы регулятора от 10 до 80% будут

$$V_{уст} = (0{,}1 \div 0{,}8)\, V = (0{,}1 \div 0{,}8) \cdot 2400 = 240 \div 1920 \text{ нм}^3/\text{ч}.$$

Пример 13. Определить пропускную способность регулятора для условий предыдущей задачи; начальное давление $P_1 = 3$ *ата*.

Определяем отношение давлений до и после регулятора

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1{,}03}{3} = 0{,}344 < 0{,}55.$$

Пропускную способность регулятора по паспортной производительности (при $\Delta P_п = 1000$ *кгс/м²* и $\gamma_п = 1{,}0$ *кг/нм³*) для случая $\frac{P_2}{P_1} < 0{,}55$ определяем по формуле (25)

$$V = 1{,}57\, V_п \frac{P_1}{\sqrt{\gamma}} = 1{,}57 \cdot 950 \cdot \frac{3}{\sqrt{0{,}73}} = 5240 \text{ нм}^3/\text{ч}.$$

Пределы устойчивой работы регулятора

$$V_{уст} = (0{,}1 \div 0{,}8)\, V = (0{,}1 \div 0{,}8) \cdot 5240 = 520 \div 4190 \text{ нм}^3/\text{ч}.$$

Очистка газа от пыли производится перед регуляторами давления, счетчиками и измерительными диафрагмами для предохранения их от стирания. При условных диаметрах $D_у > 50$ *мм* применяются волосяные фильтры (рис. 2), а при диаметрах 50 *мм* и менее — сетчатые.

Фильтры подбираются по графику (см. рис. 2), на котором показано падение давления в фильтрах в зависимости от пропускной способности при $P = 1$ *ата* и $\gamma = 1$ *кг/нм³*. Падение давления в незагрязненном фильтре не должно превышать 100—200 *кгс/м²*.

Падение давления при рабочих параметрах газа и расчетном расходе V определяется по формуле

$$\Delta P = \Delta P_{гр} \left(\frac{V}{V_{гр}}\right)^2 \frac{\gamma}{P} \text{ кгс/м}^2, \qquad (26)$$

где $\Delta P_{гр}$ — падение давления по графику, *кгс/м²*;

$V_{гр}$ — расход газа по графику, *нм³/ч*;

γ — удельный вес газа, проходящего через фильтр, *кг/нм³*;

P — давление газа перед фильтром, *ата*.

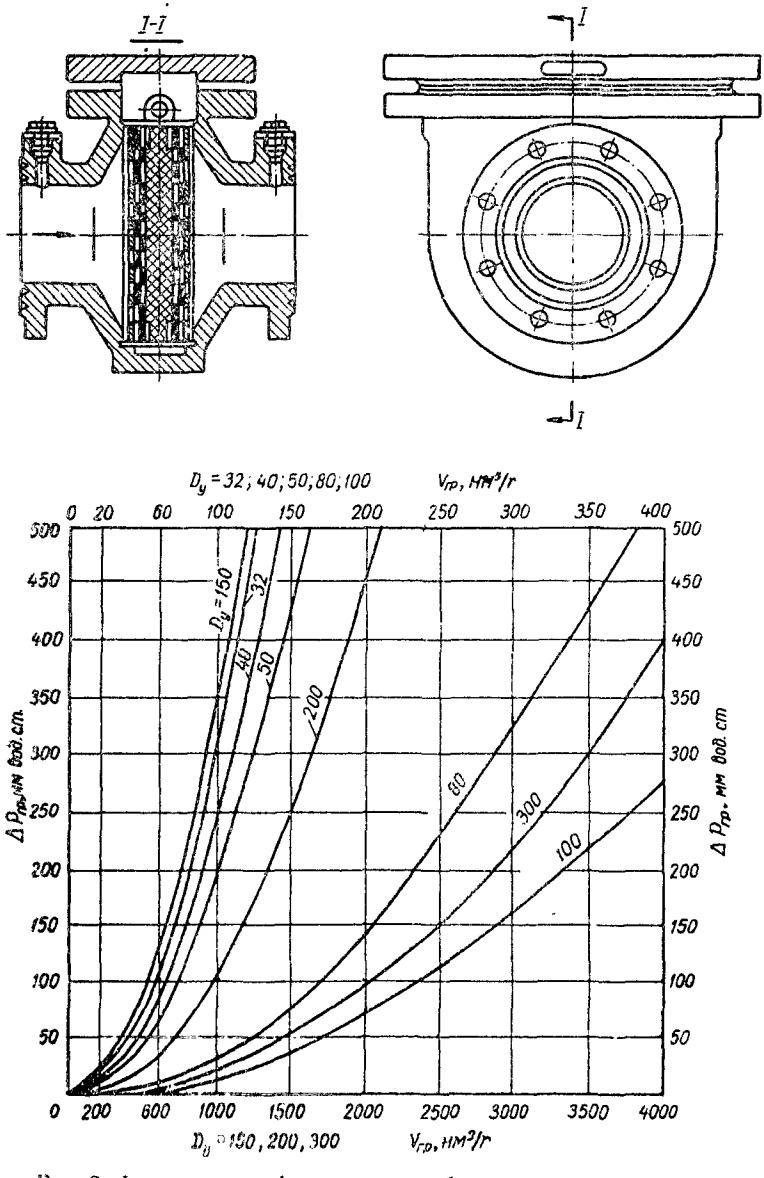


Рис. 2. Фильтры и график для их подбора.

Допустимый расход газа через фильтр равен

$$V = V_{гр} \sqrt{\frac{\Delta P}{\Delta P_{гр}} \cdot \frac{P}{\gamma}} \quad н.м.ч^3. \qquad (27)$$

Пример 14. Определить потерю давления в фильтре с условным диаметром 50 *мм* при расходе 400 *нм³/ч* газа с удельным весом $\gamma = 0{,}73$ *кг/нм³* и давлением $P = 1{,}5$ *ата*.

По графику на рис. 2 определить перепад давления невозможно, так как при диаметре 50 *мм* точка расхода $V_{гр} = 400$ *нм³/ч* выходит за пределы графика. Поэтому определяем значение $\Delta P_{гр}$ при другой производительности. Принимаем $V_{гр} = 100$ *нм³/ч*, так как при этом получим удобное для пересчета $\Delta P_{гр} = 200$ *кгс/м²*.

$$\Delta P = \Delta P_{гр} \left(\frac{V}{V_{гр}}\right)^2 \frac{\gamma}{P} = 200 \cdot \left(\frac{400}{100}\right)^2 \cdot \frac{0{,}73}{1{,}5} = 1558 \text{ кгс/м}^2.$$

Пример 15. Определить пропускную способность волосяного фильтра с условным диаметром 50 *мм* при падении в нем давления $\Delta P = 500$ и 300 *кгс/м²* для природного газа с удельным весом $\gamma = 0{,}73$ *кг/нм³* и $P = 1{,}5$ *ата*.

По графику на рис. 2 при $\Delta P_{гр} = 500$ *кгс/м²* производительность фильтра $V_{гр} = 162$ *нм³/ч*. Действительную пропускную способность определяем по формуле (27)

$$V = V_{гр} \sqrt{\frac{\Delta P}{\Delta P_{гр}} \cdot \frac{P}{\gamma}} = 162 \sqrt{\frac{500}{500} \cdot \frac{1{,}5}{0{,}73}} = 232 \text{ нм}^3/\text{ч}.$$

При перепаде давления 300 *кгс/м²* получим $V_{гр} = 122$ *нм³/ч* и

$$V = 122 \sqrt{\frac{1{,}5}{0{,}73}} = 174 \text{ нм}^3/\text{ч}.$$

Пример 16. Подобрать волосяной фильтр пропускной способностью $V = 1500$ *нм³/ч* для газа с удельным весом $\gamma = 0{,}73$ *кг/нм³* при давлении перед фильтром $P = 1{,}5$ *ата*.

По графику определяем падение давления $\Delta P_{гр}$ для фильтров разных диаметров и пересчитываем его на рабочие параметры. Удобнее определить $\Delta P_{гр}$ при расчетном расходе $V = 1500$ *нм³/ч*; при этом отпадает необходимость пересчета ΔP по расходу.

Для диаметра $D_у = 300$ *мм* находим $\Delta P_{гр} = 58$ *мм вод. ст.* Действительное падение давления определяем по формуле (26)

$$\Delta P = \Delta P_{гр} \left(\frac{V}{V_{гр}}\right)^2 \frac{\gamma}{P} = 58 \cdot \left(\frac{1500}{1500}\right)^2 \cdot \frac{0{,}73}{1{,}5} = 28 \text{ кгс/м}^2.$$

Для $D_у = 200$ *мм* аналогично находим $\Delta P_{гр} = 255$ *кгс/м²* и $\Delta P = 255 \dfrac{0{,}73}{1{,}5} = 125$ *кгс/м²*.

Для $D_у = 150$ *мм* расчетная точка выходит за пределы графика, поэтому определяем $\Delta P_{гр}$ при другом расходе. Удобно принять $V = 1000$ *нм³/ч*, тогда $\Delta P_{гр} = 350$ *кгс/м²* и $\Delta P = 350 \cdot \left(\dfrac{1500}{1000}\right)^2 \cdot \dfrac{0{,}73}{1{,}5} =$ $= 384$ *кгс/м²*.

Фильтр должен иметь сопротивление до 200 *мм вод. ст.*, поэтому принимаем к установке фильтр диаметром $D_у = 200$ *мм* с сопротивлением $\Delta P = 125$ *мм вод. ст.*

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В основе проектирования наружных сетей лежит гидравлический расчет газопроводов. При гидравлических расчетах встречаются два случая: в газопроводах низкого давления изменение удельного объема газа при его движении по газопроводу невелико (до 2%) и им пренебрегают; в газопроводах среднего и высокого давления оно существенно, и его необходимо учитывать.

Так как формулы для гидравлического расчета газопроводов довольно сложны, вместо них пользуются таблицами или номограммами, построенными по этим формулам (рис. 3 и 4).

Потери давления в местных сопротивлениях СНиП II-Г.13—66 рекомендует учитывать увеличением расчетной длины газопроводов на 5—10%. Для газопроводов низкого давления при наличии значительных разностей отметок местности и при расчете домовых систем многоэтажных зданий необходимо учитывать гидростатический напор $H_г$, возникающий вследствие разности удельных весов воздуха и газа и определяемый по формуле

$$H_г = Z\,(1{,}293 - \gamma)\ кгс/м^2, \qquad (28)$$

где Z — разность абсолютных отметок начала и конца рассчитываемого участка газопровода, *м*;

1,293 — удельный вес воздуха, *кгс/нм*^{3};

γ — удельный вес газа, *кгс/нм*^{3}.

Если гидростатический напор действует в направлении давления газа, он прибавляется к последнему (когда газ легче воздуха и движется вверх или когда газ тяжелее воздуха, но движется вниз). Если гидростатический напор действует против давления газа, он вычитается из последнего.

Газопроводы рассчитываются на перепад (разность) давлений в начале и конце газопроводов $\Delta P = P_н - P_к$. Чем больше перепад давления, тем меньше будут диаметры сети, поэтому $P_н$ необходимо брать как можно больше, а $P_к$ — как можно меньше. В то же время перепад давления на всех регуляторных установках должен обеспечить нормальную работу регуляторов давления и покрыть потери в арматуре и фильтрах. Желательно принимать $\Delta P > 0{,}5\ кгс/см^2$.

Давление на входе в ГРС принимается равным минимальному давлению газа, поступающего из магистрального газопровода. Начальное давление в сетях среднего и высокого давления при-

нимается максимально возможным для данной ступени давления, т. е. 12; 6 и 3 *кгс/см*². Конечное давление в сети высокого и среднего давления принимается на 0,5 *кгс/см*² выше начальных давлений последующих ступеней:

для сети 12 *кгс/см*² $P_н = 12{,}0$; $P_к = 6{,}5$ *кгс/см*²;
для сети 6 *кгс/см*² $P_н = 6{,}0$; $P_к = 3{,}5$ *кгс/см*²;
для сети 3 *кгс/см*² $P_н = 3{,}0$; $P_к = 0{,}5$ *кгс/см*².

При наличии газгольдеров высокого давления (2,5—20 *кгс/см*² по ГОСТ 5172—63) давление перед ними принимается на 20% выше давления в газгольдерах, т. е. 3—24 *кгс/см*². В городских системах могут устанавливаться газгольдеры на давление до 10 *кгс/см*².

Для увеличения запаса газа в газгольдерах желательно отбирать от них газ с меньшим давлением. Для сети среднего давления рекомендуется давление $P_н = 0{,}8 \div 1{,}0$ *кгс/см*² [12]. Для сети низкого давления обычное $P_н = 0{,}02 \div 0{,}03$ *кгс/см*².

При применении инжекционных горелок среднего давления давление перед ГРП принимается как сумма давления газа перед горелкой при номинальной нагрузке в три раза больше минимальной (0,9 *кгс/см*²), потери давления в заводской сети (0,2 *кгс/см*²) и перепада давления на заводской ГРП (0,5 *кгс/см*²)

$$P_к = 0{,}9 + 0{,}2 + 0{,}5 = 1{,}6 \text{ кгс/см}^2.$$

Перепад давления в сети низкого давления определяется из условия, что давление перед ближайшим прибором не должно превышать максимально допустимой величины P_{max}, а перед самым дальним прибором не должно быть меньше минимально необходимого по условиям сжигания газа. Например, для природного газа

$$\Delta P = P_{max} - P_{min} = 280 - 100 = 180 \text{ кгс/м}^2.$$

Полученный перепад давления распределяется на перепад в уличной распределительной, дворовой (квартальной) и домовой сетях (табл. 10).

Для промышленных предприятий, использующих газ низкого давления, начальное и конечное давление и потеря давления в зданиях принимаются те же, что и для городских систем, а все остальное падение давления расходуется в наружных сетях.

Для сетей с несколькими последовательными участками расчетный перепад давления распределяется по всем последовательно подключенным участкам пропорционально их длинам, т. е. удельное падение давления последовательно подключенных участков принимается приблизительно одинаковым:

для сети низкого давления

$$h_{ср} = \frac{\Delta P}{\Sigma l_р} \text{ кгс/м}^2 \cdot \text{м}; \qquad (29)$$

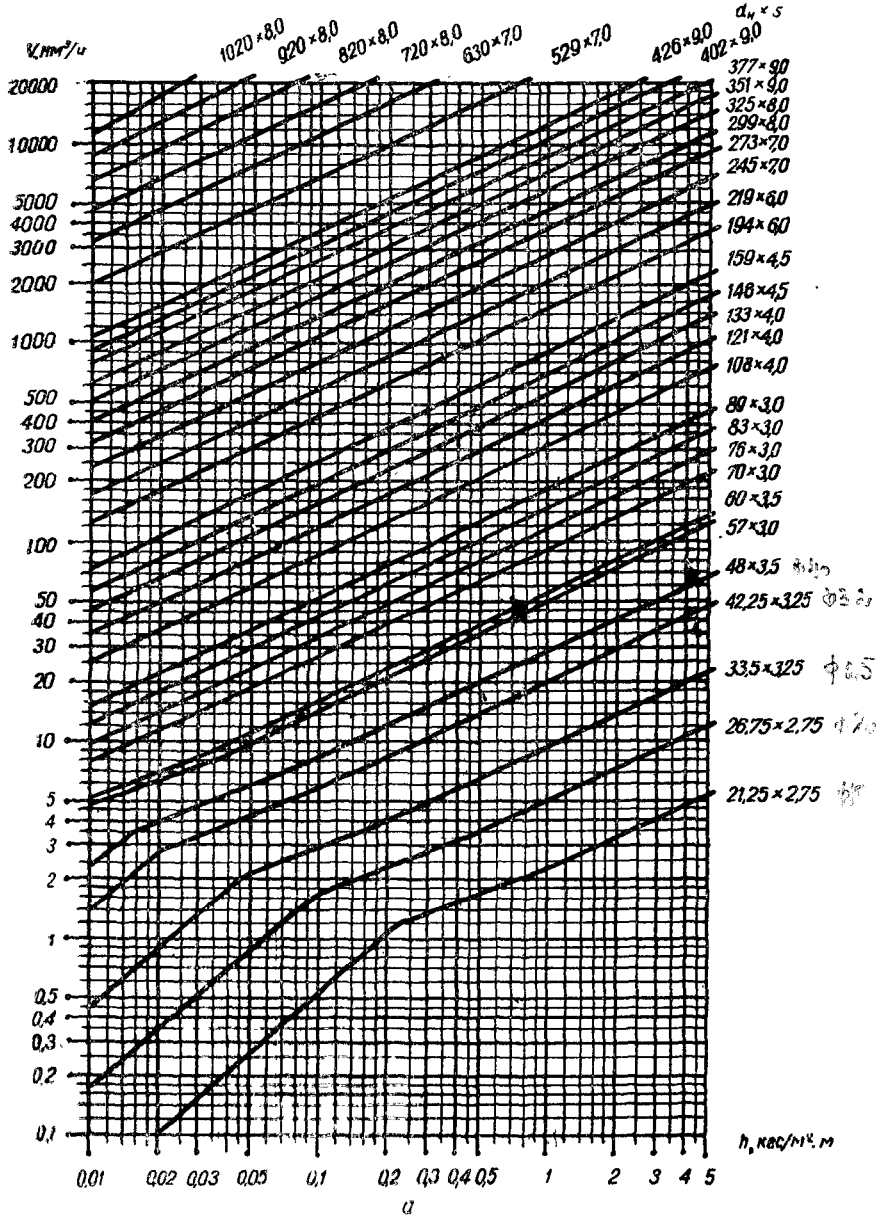
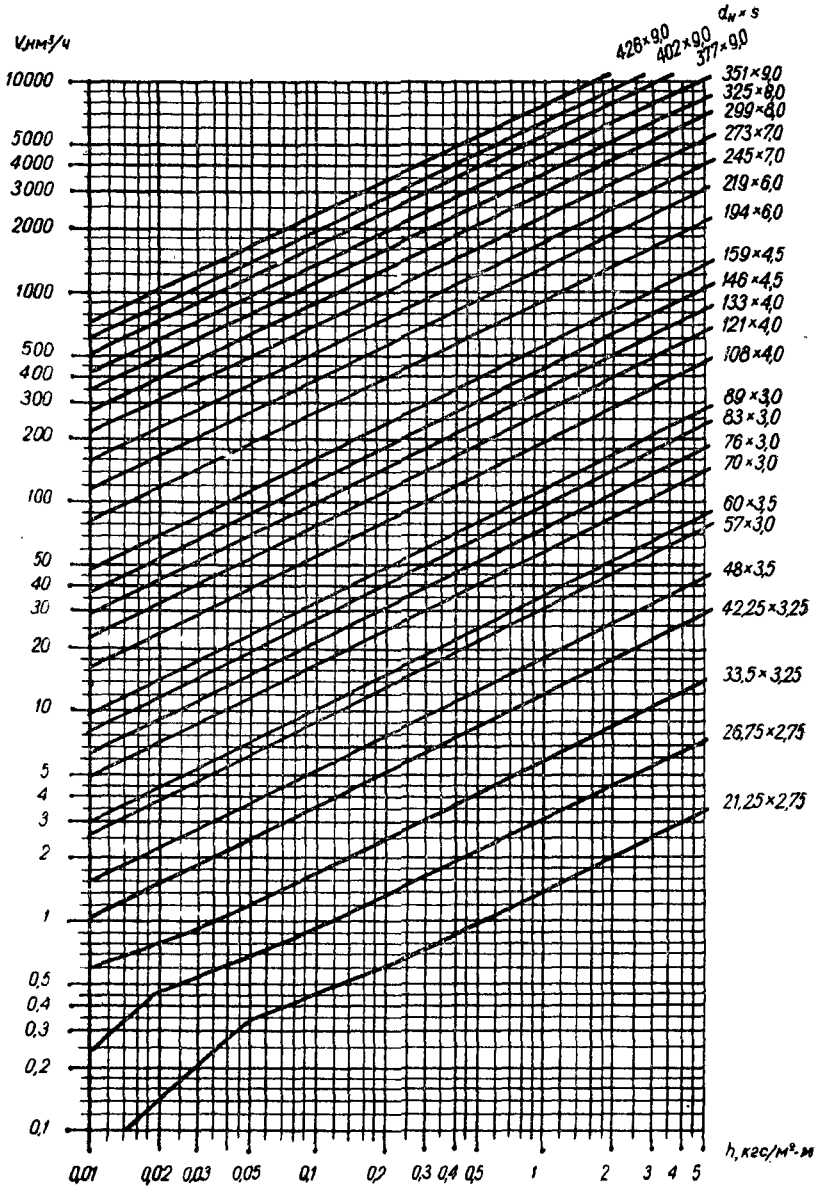


Рис. 3. Номограммы для расчета
a – приро[illegible]ого газа ($\gamma = 0{,}73$ кг/нм³; $\nu = 11{,}3 \times 10^{-6}$ м²/сек);



б

газопроводов низкого давления:

б — жидкого газа (пропана; $\gamma=2$ *кг/нм*^{3}; $\nu=3{,}7\cdot10^{-6}$ *м*^{2}/*сек*).

Таблица 10. **Давление газа перед приборами и расчетные перепады давления, *кгс/м²* (СНиП II-Г. 11—66 и СНиП II-Г. 13—66)**

Вид газа	Давление на выходе из ГРП	Давление газа перед бытовыми приборами			Расчетный перепад давления в сетях				
		номинальное	максимальное	минимальное	суммарный	в распределительной	в квартальной и домовой	в квартальной и дворовой	в домовой
Все виды природных газов, газовоздушные смеси сжиженных газов и другие газы с $Q_н = 8000 \div 10000$ *ккал/нм³* при номинальном давлении газа перед бытовыми приборами 200 *кгс/м²*	300	200	280	100	180	120	60	25 / 35	35 / 25
То же, при номинальном давлении газа перед приборами 130 *кгс/м²*	200	130	180	65	115	80	35	10 / 20	25 / 15
То же, при давлении на выходе из ГРП 500 *кгс/м²*	500	200	280	100	300	240	60	25 / 35	35 / 25
Искусственные и смешанные газы с $Q_н = 3500 \div 4500$ *ккал/нм³*	200	130	180	65	115	80	35	10 / 20	25 / 15
Сжиженные углеводородные газы с $Q_н = 22000 \div 28000$ *ккал/нм³*	400	300	360	200	180	120	60	25 / 35	35 / 25

Примечания: 1. В числителе приведены расчетные перепады давления при многоэтажной застройке, в знаменателе — при одноэтажной застройке.
2. В системе с давлением 500 *мм вод. ст.* необходимо учесть перепад давления в регуляторах-стабилизаторах по месту их установки.

для сетей среднего и высокого давления

$$h_{ср} = \frac{P_н^2 - P_к^2}{\Sigma L_р} \; ama^2/км, \qquad (30)$$

где $h_{ср}$ — удельное падение давления на участке, определяемое по номограммам на рис. 3;

$P_н$, $P_к$ — давление в начале и конце участков, *ата*;

ΔP — падение давления на участке, *кгс/м²*;

$l_р$, $L_р$ — расчетные длины участков соответственно в *м* и в *км*.

Однако технико-экономические расчеты показывают, что в начальных участках сети (при больших диаметрах) выгоднее принимать повышенные значения h, а в конечных участках сети

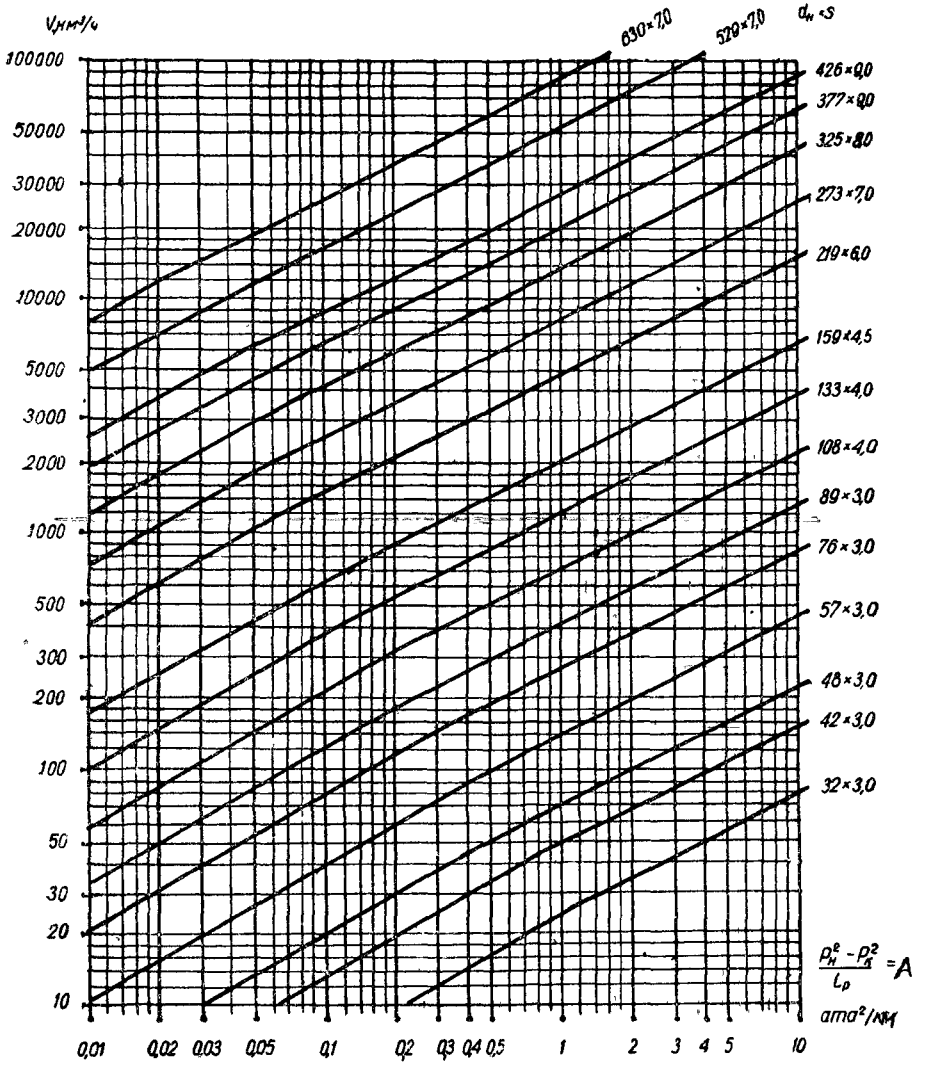


Рис. 4. Номограмма для расчета газопроводов среднего и высокого давлений (природный газ; $\gamma = 0{,}73$ кг/нм^3);

(при меньших диаметрах) — пониженные значения сравнительно со средними.

По аналогичным выражениям определяются падения давления на участках и давления в конце участков:

для сетей низкого давления

$$\Delta P = hl_{\text{р}} \tag{31}$$

и

$$P_{\text{к}} = P_{\text{н}} - \Delta P; \tag{32}$$

для сетей среднего и высокого давления

$$P_{\text{к}} = \sqrt{P_{\text{н}}^2 - AL_{\text{р}}}, \tag{33}$$

где $A = \frac{P_{\text{н}}^2 - P_{\text{к}}^2}{L_{\text{р}}}$ — комплексная величина, определяемая по номограмме на рис. 4.

Для сложных сетей давления на концах расчетных участков определяются путем последовательного применения формул (32) и (33).

Метод определения расчетных расходов газа в сети зависит от вида нагрузки (сосредоточенной, равномерно распределенной или смешанной) и от конфигурации сети (одиночный газопровод, разветвленная тупиковая или кольцевая сеть).

Рабочие чертежи наружных сетей выполняются по мере необходимости отдельными частями — по районам, кварталам или отдельным участкам. Если после составления проектного задания были внесены какие-либо изменения в проекты застройки объекта, делаются все необходимые пересчеты.

Рабочие чертежи состоят из трех элементов: 1) плана трассы района, улицы, участка и т. д.; 2) продольного профиля по трассе газопроводов; 3) чертежей сооружений и деталей — ГРП, ШП, колодцев, контрольных трубок и контрольных пунктов, конденсатосборников (для влажного газа) и т. д.

МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ГАЗОПРОВОДОВ

Расчет одиночных газопроводов. При проектировании наружных газопроводов как сосредоточенные нагрузки учитываются потребители с расходом газа больше 50 *нм*^{3}/*ч* на ввод, а также потребители с меньшими расходами, но подсоединяемые по отдельным длинным отводам. Сосредоточенных потребителей рекомендуется подсоединять к сети среднего или высокого давления через регулятор давления, иначе их отключение будет оказывать заметное влияние на режим давлений в сети. По сосредоточенным нагрузкам проектируются также внутриквартальные и домовые сети и ответвления и сети промышленных предприятий и цехов, когда количество потребителей, их местоположение и расход газа точно известны.

Газопровод к сосредоточенному потребителю (рис. 5, *а*) должен пропустить все необходимое количество газа, так что расчетный расход газа в газопроводе равен расчетному расходу газа сосредоточенным потребителем $V_{\text{с}}$.

При проектировании сложных сетей невозможно учесть всех мелких потребителей, поэтому принимают, что такие потребители распределены равномерно по всей территории застройки, и разбор газа из сети производится равномерно по всей длине сети Таким образом, разбор газа из каждого участка сети будет пропорционален длине участка.

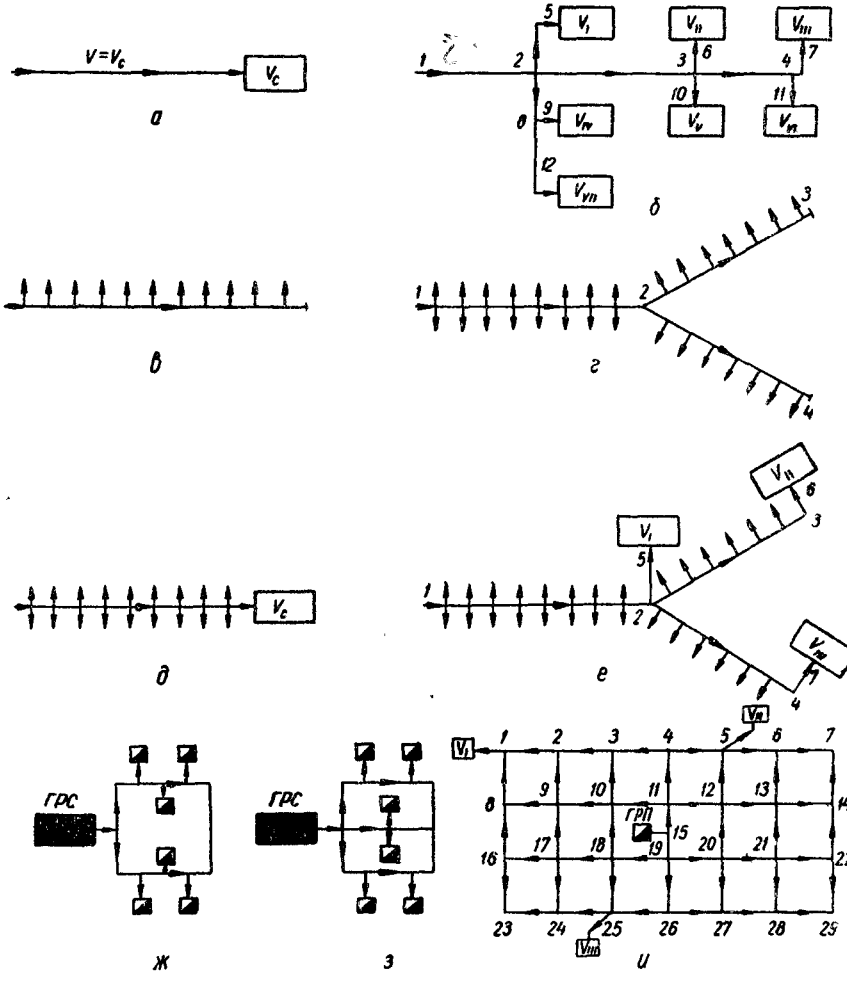


Рис. 5. Виды газопроводов и газовых сетей:

а — одиночный газопровод с сосредоточенной нагрузкой; *б* — разветвленная тупиковая сеть с сосредоточенными нагрузками; *в* — одиночный газопровод с равномерно распределенной нагрузкой; *г* — разветвленная сеть с равномерно распределенной нагрузкой; *д* — одиночный газопровод с комбинированной нагрузкой; *е* — разветвленная сеть с комбинированной нагрузкой; *ж*, *з* — кольцевая сеть среднего или высокого давления; *и* сложная кольцевая сеть низкого давления.

Количество газа, которое разбирается с участка сети при равномерно распределенной нагрузке (путевой расход), определяется по формуле

$$V_п = v_l l \ нм^3/ч, \tag{34}$$

где v_l — удельный расход газа с 1 *м* участка, $нм^3/ч \cdot м$;

l — длина участка газопровода, *м*.

Удельный расход газа определяется по формуле

$$v_l = \frac{V}{\Sigma l}, \tag{35}$$

где V — суммарный расчетный расход газа всеми равномерно распределенными потребителями, подсоединенными к данной сети, $нм^3/ч$;

Σl — суммарная длина сети, *м*.

При наличии зон с различной нагрузкой удельные расходы газа для каждой зоны определяются отдельно. При этом необходимо учитывать возможность как одностороннего, так и двустороннего разбора газа с участка. При необходимости повышенной точности расчета удельные расходы газа вычисляются отдельно для каждого квартала.

При равномерно распределенной нагрузке (рис. 5, *в*) количество газа, проходящего по газопроводу, меняется по длине от нуля в конце участка до максимального, равного путевому расходу, в начале участка. Чтобы иметь возможность применять номограммы для гидравлического расчета газопроводов, которые составлены для постоянных расходов газа на участке, действительный переменный расход газа заменяют фиктивным расходом, постоянным по всему участку, так чтобы падение давления на участке, полученное в результате расчета, было таким же, каким оно будет при действительном переменном расходе. Этот фиктивный расход называется эквивалентным расходом $V_{эк}$.

Если принять, что падение давления пропорционально квадрату расхода газа, $V_{эк} = \alpha V_п$, где коэффициент α меняется в зависимости от количества точек разбора газа на участке и от отношения путевого расхода газа к сумме путевого и транзитного расходов $\alpha = f\left(n, \frac{V}{V_п + V_т}\right)$. Для участков с количеством точек отбора $n \geqslant 10$ значение α меняется от 0,500 (в начальных участках сети с относительно большими транзитными расходами) до 0,592 (на конечных участках при отсутствии транзитных расходов).

В практике проектирования принимают

$$V_{эк} \approx 0{,}55 V_п \ нм^3/ч. \tag{36}$$

Таким образом, для одиночного газопровода с равномерно распределенной нагрузкой расчетный расход равен эквивалентному

$$V = V_{эк} \ нм^3/ч. \tag{37}$$

При смешанной нагрузке (рис. 5, *д*) расчетный расход одиночного газопровода равен

$$V = V_{эк} + V_c, \ нм^3/ч. \qquad (38)$$

Расчет разветвленных тупиковых сетей. Разветвленные сети газопровода (рис. 5, *б*, *г* и *е*) рассчитываются последовательно по расчетным участкам, т. е. участкам между двумя соседними разветвлениями (узловыми точками). Каждый участок разветвленной сети может иметь равномерно распределенную нагрузку и сосредоточенную в конце участка.

Расчетные расходы газа по участкам определяют как сумму эквивалентного расхода газа $V_{эк}$ от путевого расхода рассчитываемого участка и транзитного расхода $V_т$, проходящего на все последующие участки,

$$V = V_{эк} + V_т, \ нм^3/ч. \qquad (39)$$

Эквивалентные расходы газа $V_{эк}$ определяются по формуле (36). Транзитные расходы определяются как сумма всех путевых и сосредоточенных расходов, проходящих транзитом через рассчитываемый участок, т. е. как сумма всех путевых и сосредоточенных расходов всех последующих участков

$$V_т = \Sigma (V_п + V_c)_{посл.\ уч}. \qquad (40)$$

Формулой (40) удобно пользоваться для окончательной проверки расчета, однако она требует многократного сложения большого количества чисел. Значительно проще транзитный расход определяется как сумма путевых и транзитных расходов всех участков, присоединяемых к концу рассчитываемого участка, поскольку все остальные расходы входят в транзитные расходы этих участков

$$V_т = \Sigma (V_п + V_т)_{прис.\ уч}. \qquad (41)$$

При чисто сосредоточенных потребителях $V_п = 0$ и $V_{эк} = 0$, а транзитный и расчетный расходы равны сумме расчетных расходов участков, присоединенных к концу рассчитываемого участка,

$$V = V_т = \Sigma V_c = \Sigma V_{прис.\ уч}. \qquad (42)$$

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

Пример 17. Определить расчетные расходы газа по участкам разветвленной сети с сосредоточенными нагрузками (рис. 5, *б*). Расходы газа потребителями в $нм^3/ч$ следующие: $V_I = 30$; $V_{II} = 25$; $V_{III} = 10$; $V_{IV} = 50$; $V_V = 20$; $V_{VI} = 15$; $V_{VII} = 10$.

Определяем расчетные расходы газа концевыми участками сети (отводы к зданиям):

$$V_{2-5} = V_I = 30; \ V_{3-6} = V_{II} = 25; \ V_{4-7} = V_{III} = 10; \ V_{4-11} = V_{VI} = 15; \ V_{3-10} = V_V = 20; \ V_{8-9} = V_{IV} = 50; \ V_{8-12} = V_{VII} = 10.$$

Далее определяем расчетные расходы газа по остальным участкам сети, начиная с конца сети, по формуле (42):

$$V_{3-4} = V_{4-7} + V_{4-11} = 10 + 15 = 25;$$

$$V_{2-3} = V_{3-6} + V_{3-4} + V_{3-10} = 25 + 25 + 20 = 70;$$

$$V_{2-8} = V_{8-9} + V_{8-12} = 50 + 10 = 60;$$

$$V_{1-2} = V_{2-5} + V_{2-3} + V_{2-8} = 30 + 70 + 60 = 160 \ нм^3/ч.$$

Пример 18. Определить расчетные расходы газа по участкам разветвленной сети с равномерно распределенными расходами (рис. 5, *г*). Удельный расход в одну сторону $v_l = 0{,}2$ *нм*^{3}/*ч*·*м*: длины участков:

$$l_{1-2} = 200, \quad l_{2-3} = 80, \quad l_{2-4} = 130 \ м.$$

Определяем путевые расходы по участкам по формуле (34):

$$V_{п\,1-2} = v_l l_{1-2} = 0{,}4 \cdot 200 = 80 \ нм^3/ч;$$

$$V_{п\,2-3} = 0{,}2 \cdot 80 = 16 \ нм^3/ч;$$

$$V_{п\,2-4} = 0{,}2 \cdot 120 = 24 \ нм^3/ч.$$

Эквивалентные расходы газа определяем по формуле (36):

$$V_{эк\,1-2} = 0{,}55 V_{п\,1-2} = 0{,}55 \cdot 80 = 44 \ нм^3/ч;$$

$$V_{эк\,2-3} = 0{,}55 \cdot 16 = 8{,}8 \ нм^3/ч,$$

$$V_{эк\,2-4} = 0{,}55 \cdot 24 = 13{,}2 \ нм^3/ч.$$

Расчетные расходы по участкам определяем по формуле (38) или (39)

$$V_{2-3} = V_{эк\,2-3} + V_{т\,2-3} = 8{,}8 + 0 = 8{,}8;$$

$$V_{2-4} = 13{,}2 + 0 = 13{,}2 \ нм^3/ч.$$

Транзитный расход по участку по формуле (41) равен

$$V_т = \Sigma (V_п + V_т) = (V_п + V_т)_{2-3} + (V_п + V_т)_{2-4} = 16 + 24 = 40 \ нм^3/ч.$$

Расчетный расход участка *1—2* равен

$$V_{1-2} = V_{эк\,1-2} + V_{т\,1-2} = 44 + 40 = 84 \ нм^3/ч.$$

Пример 19. Определить расчетные расходы газа по сети, представленной на рис. 5, *е*. Удельный расход газа в одну сторону $v_l = 0{,}2$ *нм*^{3}/*ч*·*м*; длина участков: $l_{1-2} = 200$ *м*; $l_{2-3} = 80$ *м*; $l_{2\,1} = 120$ *м*; сосредоточенные расходы $V_I = 50$ *нм*^{3}/*ч*; $V_{II} = 40$ *нм*^{3}/*ч*; $V_{III} = 30$ *нм*^{3}/*ч*.

Определяем путевые расходы по участкам сети по формуле (34):

$$V_{п\,1-2} = v_l l_{1\,2} = 0{,}4 \cdot 200 = 80 \ нм^3/ч;$$

$$V_{п\,2\ 3} = 0{,}2 \cdot 80 = 16 \ нм^3/ч;$$

$$V_{п\,2-4} \quad 0{,}4 \cdot 120 = 48 \ нм^3/ч.$$

Эквивалентные расходы определяем по формуле (36):

$$V_{эк\,1-2} = 0{,}55 V_{п\,1-2} = 0{,}55 \cdot 80 = 44 \ нм^3/ч;$$

$$V_{эк\,2-3} = 0{,}55 \cdot 16 = 8{,}8 \ нм^3/ч;$$
$$V_{эк\,2-4} = 0{,}55 \cdot 48 = 26{,}4 \ нм^3/ч.$$

Определяем транзитные расходы по участкам сети, начиная с концевых участков, по формулам (40) и (41):

$$V_{т\,2-3} = V_{II} = 40 \ нм^3/ч; \quad V_{т\,2-4} = V_{III} = 30 \ нм^3/ч;$$
$$V_{т\,1-2} = \Sigma (V_п + V_т)_{прис.\,уч.} = (V_п + V_т)_{2-3} + (V_п + V_т)_{2-4} + V_{т\,2-5} = (16 + 40) + (48 + 30) + 50 = 184 \ нм^3/ч.$$

Расчетные расходы по участкам сети определяем по формуле (39):

$$V_{2-3} = V_{эк\,2-3} + V_{т\,2-3} = 8{,}8 + 40 = 48{,}8 \ нм^3/ч;$$
$$V_{2-4} = V_{эк\,2-4} + V_{т.2-4} = 26{,}4 + 30 = 56{,}4 \ нм^3/ч;$$
$$V_{1-2} = V_{эк\,1-2} + V_{т\,1-2} = 44 + 184 = 228 \ нм^3/ч.$$

Расчет кольцевых сетей. Сети высокого и среднего давления (рис. 5, *ж, з*) обычно состоят из одного кольца с несколькими отводами к ГРП и сосредоточенным потребителям. Такую сеть разбивают на две или несколько частей и каждую рассчитывают отдельно как тупиковую сеть.

Ответственные кольцевые сети среднего и высокого давления разделяются задвижками на несколько секций; в случае повреждения поврежденную секцию можно отключить от остального кольца. Расчет кольца производится на три режима: один нормальный и два аварийных. При аварийных режимах предполагается, что выключаются крайние секции и движение газа по кольцу происходит в одном направлении: при одном режиме — по часовой стрелке, при другом — против часовой стрелки и при уменьшенных нагрузках. Диаметры сети принимаются максимальными из двух аварийных режимов. После этого рассчитывают сеть по полукольцам при полных расчетных нагрузках.

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

Городские сети низкого давления, распределяющие газ по всей территории застройки, представляют собой сложную по конфигурации систему сопряженных колец, которые получают газ от нескольких ГРП и снабжают газом многочисленные ответвления на кварталы и отводы к отдельным зданиям (рис. 5, *и*). При расчете такую сеть разбивают на отдельные районы по количеству точек питания (ГРП), и сеть каждого района рассчитывают отдельно. Расчет сети производится в две стадии. Вначале рассчитывают распределительную (уличную) сеть, а затем внутриквартальную разводку.

В сложных кольцевых сетях можно принять много вариантов распределения потоков газа по сети. Задача проектировщика заключается в том, чтобы выбрать наилучший вариант движения потоков газа и так подобрать диаметры сети, чтобы добиться на-

меченного распределения потоков. Как с точки зрения уменьшения диаметров сети, так и с точки зрения распределения давлений в сети при выборе распределения потоков газа необходимо руководствоваться следующим.

Направления движения потоков газа выбирают так, чтобы газ от точки питания подавался ко всем потребителям по кратчайшему пути. При этом диаметры сети будут наименьшими. Направления движения газа выбираются, начиная от точки питания к периферии. При таком порядке выбора легче избежать возможных ошибок. В результате выявляются нулевые точки — конечные точки встречи потоков газа, идущих по разным направлениям (точки *1*, *7*, *23* и *29* на рис. 5, *и*). При этом в сложных схемах имеются спорные участки, на которых движение газа можно принять как в одном, так и в обратном направлении (в обоих случаях расстояние подачи газа будет одинаково): участки *8—16*, *9—17*, *10—18* и т. д.

Пути движения транзитных потоков газа выбирают так, чтобы, соблюдая первое условие, одновременно добиться как можно более равномерного распределения потоков газа по всем направлениям. Например, на участке *1—2* газ должен двигаться от точки *2* к точке *1*; путь подачи газа к участку *1—2* может идти по трем направлениям: *15—4—2*, *15—11—10—3—2* и *15—11—9—2*, из которых выбирается наилучший.

При этом могут быть различные варианты движения транзитных расходов и питания участков; необходимо выбрать вариант с наиболее равномерным распределением потоков газа по сети. На расчетной схеме показывают «отсечки» — точки, через которые транзитные расходы газа не проходят. Различные расходы газа по разным направлениям приходится допускать только в случае значительной неравномерности распределения нагрузок (разные этажности зданий или различный процент охвата в отдельных частях района, расположение ГРП не в центре нагрузок и т. д.), когда выравнивание нагрузки приводит к удлинению расстояния передачи газа от ГРП до нулевых точек.

Необходимо учитывать также возможность увязки сети. Например, на схеме рис. 11 (см. стр. 79) на участках *35—36*, *40—41*, *49—50*, *53—54* давления с каждой стороны участка при любом направлении движения газа оказываются почти одинаковыми, и транзитный расход через этот участок не пойдет; может даже оказаться, что давление в конце участка больше, чем в начале, и газ пойдет в направлении, обратном принятому. В частности, для схемы на рис. 11 рассматриваемые участки пришлось разбить на две части с отсечкой в серединах участков. Таким образом происходит окончательное разделение кольцевой сети на несколько тупиковых. При расчете каждой такой сети вначале рассчитываются самые длинные направления от ГРП к нулевым точкам.

После расчета всех тупиковых сетей проверяется возможность их совместной работы, т. е. делается увязка сети; расхождения в перепадах давления от ГРП до нулевых точек не должны превышать 10%. Если расхождения окажутся бо́льшими, необходимо скорректировать распределение транзитных расходов и пересчитать (увязать) сеть.

Потребители газа низкого давления равномерно распределенные, но может быть среди них и небольшое количество сосредоточенных потребителей. Расходы газа по сети для равномерно распределенных потребителей определяются по путевым и эквивалентным расходам, а для сосредоточенных — по их расчетным расходам.

Для упрощения транзитные и расчетные расходы газа определяют на расчетной схеме, записывая все расходы газа по сети на расчетной схеме в следующем порядке:

путевой	$V_п$	$V_{эк}$	эквивалентный
транзитный	$V_т$	V	расчетный

Например, для участка *43—44* (см. рис. 11) имеем

100	55
226	281

.

Для вычисления транзитных расходов в соответствии с формулой (41) складываем левые верхние и левые нижние числа в группах участков, присоединенных к концу рассчитываемого участка. Например, для определения транзитного расхода участка *43—44* необходимо сложить путевые и транзитные расходы участков *38—43* и *43—48*.

$$V_{т\,43-44} = (V_п + V_т)_{38-43} + (V_п + V_т)_{43-48} = (67 + 31) + (68 + 60) = 226 \ нм^3/ч.$$

Полученный расход записываем слева внизу в группу расходов участка *43—44*.

Расчетные расходы согласно формуле (39) получим, складывая числа, стоящие справа вверху и слева внизу в группе чисел этого же участка. Например:

100	55
226	281

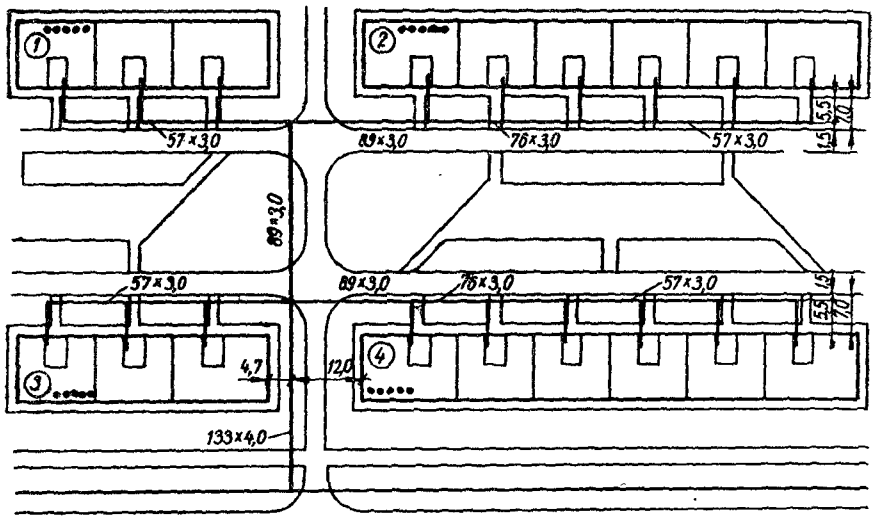
,

$$V_{43-44} = 55 + 226 = 281 \ нм^3/ч.$$

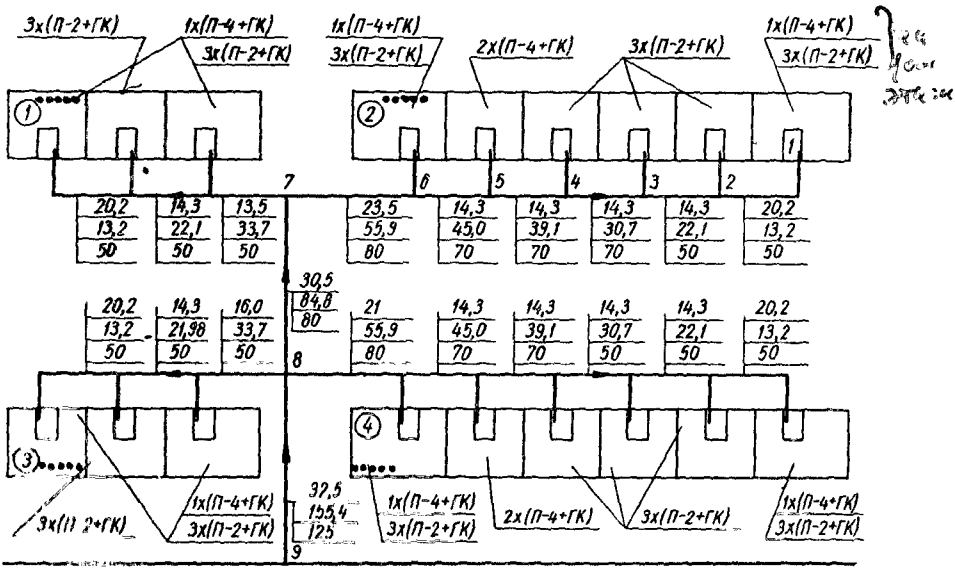
Полученный расход записываем справа внизу в группу участка *43—44*.

Пример 20. Запроектировать ответвление газопровода низкого давления на квартал для снабжения природным газом двух 95- и двух 55-квартирных жилых домов. План газовой сети, количество квартир и ассортимент установленных приборов показаны на рис. 6. $Q_н^р = 8500 \ ккал/нм^3$; $\gamma = 0{,}73 \ кг/нм^3$.

Выбираем вначале трассу для ответвления на квартал и для разводки газопроводов к домам исходя из общей схемы размещения наружных сетей на территории квартала и у жилых зданий. Обычно на расстоянии 4 *м* от зданий прокладывается квар-



а



б

Рис. 6. Газоснабжение домов *1*—*4* на квартале I:
а — план газовой сети; *б* — расчетная схема сети.

тальная канализационная сеть; до проезда остается полоса шириной 3 *м*, посередине которой и размещаем внутриквартальный газопровод. Далее за проездом на расстоянии 0,5 *м* от бровки проезда устанавливаются столбы электропроводки, а еще дальше прокладывается канал теплосети. Ответвление на квартал от распределительной уличной сети предусматривается между домами *3* и *4*. Все газопроводы наносим на план участка застройки и привязываем их к зданиям и проездам, показываем длины всех участков газопроводов.

Рассчитываем диаметры ответвления. Расходы газа определяем по номинальным расходам газа приборами, так как номенклатура и количество установленных приборов точно известны, а гидравлический расчет сети производим по методике расчета разветвленной тупиковой сети с сосредоточенными нагрузками.

Составляем расчетную схему ответвления (рис. 6, *б*), где показываем газовую сеть, длины участков и номера узловых точек сети. На планах зданий показываем количество и ассортимент газовых приборов, устанавливаемых в каждой секции дома. Далее определяем расходы газа по участкам сети (табл. 11).

Проставляем наименования расчетных участков основного направления, начиная от самого дальнего ввода и кончая точкой ответвления газопровода на квартал. Ответвления к другим трем домам и отводы от них будут проставлены после расчета основного направления.

Участок *1—2* питает секцию дома, имеющую 20 квартир, из которых в 5 квартирах установлены 4-конфорочные плиты и газовые колонки и в 15 квартирах — 2-конфорочные плиты и газовые колонки; проставляем ассортименты приборов П-4+ГК и П-2+ГК и количество таких ассортиментов — соответственно 5 и 15. Участок *2—3* дополнительно питает следующую секцию, имеющую 15 квартир с ассортиментом П-2+ГК; прибавляя эти квартиры к предыдущим, получим П-4+ГК для 5 квартир и П-2+ГК для 30 квартир.

Коэффициенты одновременности для различных ассортиментов приборов берем из табл. 1. Так как участок *1—2* питает 5 квартир с ассортиментом П-4+ГК и 15 квартир с ассортиментом П-2+ГК, соответственно найдем $K_0=0{,}181$ и $K_0=0{,}19$ и т. д.

Номинальные расходы газа отдельными приборами и ассортиментами приборов, установленных в квартирах, определяем по формуле (1):

4-конфорочной плитой

$$v_{\text{П-4}} = \frac{q}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}} = \frac{9600}{8500} = 1{,}13 \ нм^3/ч;$$

2-конфорочной плитой

$$v_{\text{П-2}} = \frac{6000}{8500} = 0{,}705 \ нм^3/ч;$$

Таблица 11. **Расчет газопроводов. (Расчет ответвлений сети к дому № 2)**

Номер участка	Приборы в квартирах	Количество квартир	Коэффициент одновременности K_o	Расход газа, $нм^3/ч$			Длина участка, $м$		Условный диаметр газопровода D_y, $мм$	Удельная потеря давления h, $кгс/м^2 \cdot м$	Потеря давления на участке hl_p, $кгс/м^2$
				на одну квартиру	на все квартиры	расчетный V	по плану l	расчетная $l_p = 1{,}1\,l$			
1—2	П-4+ГК П-2+ГК	5 15	0,181 0,190	3,84 3,415	3,5 9,7	13,2	20,2	22,2	50	0,086	1,9
2—3	П-4+ГК П-2+ГК	5 30	0,174 0,183	3,84 3,415	3,3 18,8	22,1	14,3	15,7	50	0,216	3,4
3—4	П-4+ГК П-2+ГК	5 45	0,170 0,178	3,84 3,415	3,3 27,4	30,7	14,3	15,7	70	0,083	1,3
4—5	П-4+ГК П-2+ГК	5 60	0,165 0,175	3,84 3,415	3,2 35,9	39,1	14,3	15,7	70	0,13	2,0
5—6	П-4+ГК П-2+ГК	15 60	0,164 0,173	3,84 3,415	9,5 35,5	45,0	14,2	15,6	70	0,169	2,6
6—7	П-4+ГК П-2+ГК	20 75	0,160 0,170	3,84 3,415	12,3 43,6	55,9	21	23,1	80	0,11	2,5
7—8	П-4+ГК П-2+ГК	30 120	0,155 0,165	3,84 3,415	17,9 67,7	85,6	30,5	33,6	$\frac{100}{80}$	$\frac{0,094}{0,236}$	$\frac{3,2}{7,9}$
8—9	П-4+ГК П-2+ГК	60 240	0,140 0,150	3,84 3,415	32,3 123,1	155,4	32,5	35,8	125	0,093	3,3
								$\Sigma l_p = 177{,}4$			$\Sigma hl_p = \frac{20,2}{24,9}$

Примечание. Значения D_y, h и hl_y после пересчета приведены в знаменателе.

быстродействующим водонагревателем

$$v_{ГК} = \frac{23000}{8500} = 2{,}71 \ нм^3/ч;$$

ассортиментом П-4+ГК

$$v_{П\text{-}4} + v_{ГК} \quad 1{,}13 + 2{,}71 = 3{,}84 \ нм^3/ч;$$

ассортиментом П-2+ГК

$$v_{П\text{-}2} + v_{ГК} = 0{,}705 + 2{,}71 = 3{,}415 \ нм^3/ч.$$

Эти расчеты выполняем в конце табл. 11.

Расходы газа на все квартиры данного ассортимента определяем по формуле (3), т. е. умножаем числа, стоящие в графах 3, 4 и 5. Так, на участке *1—2* расход газа $V = 5 \cdot 0{,}181 \cdot 3{,}84 = 3{,}5 \ нм^3/ч$,

$V = 15 \cdot 0{,}19 \cdot 3{,}415 = 9{,}7$ *нм³/ч*. Аналогично определяем расход газа на участке *2—3* и т. д.

Расчетные расходы газа по участкам определяем как сумму расходов газа разными ассортиментами приборов, снабжаемых расчетным участком, и полученные расходы наносим на расчетную схему сети.

После определения расчетных расходов газа по всем участкам производится гидравлический расчет для определения необходимых диаметров сети. Расчет выполняем в той же таблице.

Длины участков берем из плана сети, расчетные длины принимаем на 10% больше действительной длины для учета потерь в местных сопротивлениях. Подсчитываем сумму расчетных длин всех участков сети основного расчетного направления от точки *1* до точки *9* — $\Sigma l_р = 177{,}4$ *м*.

Расчетный перепад давления для квартальной сети по табл. 10 $\Delta P = 25$ *кгс/м²*. Среднее удельное падение давления по расчетному направлению определяем по формуле (29)

$$h_{ср} = \frac{\Delta P}{\Sigma l_р} = \frac{25}{177{,}4} = 0{,}14 \text{ кгс/м}^2 \cdot \text{м}.$$

Диаметры сети подбираем так, чтобы при расчетных расходах газа действительные удельные падения давления газа на участках как можно ближе приближались к среднему значению $h_{ср}$.

На участке *1—2* расчетный расход $V = 13{,}2$ *нм³/ч*; при $D_у =$ $= 40$ *мм* по номограмме на рис. 3, *а* находим $h = 0{,}34$ *кгс/м²·м*, при $D_у = 50$ *мм* $h = 0{,}086$ *кгс/м²·м*.

Так как для подземной прокладки диаметры менее $D_у = 50$ *мм* не рекомендуются и значение $h = 0{,}086$ ближе к $h_{ср} = 0{,}14$, чем $h = 0{,}34$, принимаем для участка *1—2* диаметр трубы $D_у = 50$ *мм*.

На участке *2—3* расчетный расход $V = 22{,}1$ *нм³/ч*; при диаметре $D_у = 50$ *мм* находим $h = 0{,}216$ *кгс/м²·м*. Значения, более близкого к среднему $h_{ср} = 0{,}14$ *кгс/м²·м*, не будет. Принимаем $D_у = 50$ *мм*.

На участке *7—8* расчетный расход $V = 84{,}8$ *нм³/ч*; при диаметре $D_у = 80$ *мм* находим $h = 0{,}236$ *кгс/м²·м*, при диаметре $D_у = 100$ *мм* $h = 0{,}094$ *кгс/м²·м*. Диаметр $D_у = 100$ *мм* имеет значение h, более близкое к $h_{ср} = 0{,}14$ *кгс/м²·м*; принимаем $D_у = 100$ *мм*.

Аналогично подбираем диаметры всех последовательно включенных участков и определяем для них значение h.

Далее определяем падение давления на участках, равное $hl_р$. Подсчитываем суммарное падение давления в ответвлении по всем последовательно включенным участкам от точки *9* до самого отдаленного ввода $\Sigma hl_р = 20{,}2$ *кгс/м²*. Эта сумма не должна превышать величины, регламентируемой СНиПом (см. табл. 10) для дворовой сети — 25 *кгс/м²*, а также не должна быть значительно меньше ее.

Необходимо проверить, нельзя ли уменьшить диаметр какого-либо участка сети, используя излишек давления. Наиболее под-

ходящим для этого является участок *7—8*, так как он дает наименьшее значение h. Принимаем для этого участка ближайший меньший $D_у = 80$ *мм* вместо $D_у = 100$ *мм*.

Получим $h = 0{,}236$ *кгс/м²·м*, $hl_р = 0{,}236 \cdot 33{,}6 = 7{,}9$ *кгс/м²*; $\Sigma hl_р = 24{,}9$ *кгс/м²*.

Так как $\Sigma hl_р$ в последнем случае получилось в пределах 25 *кгс/м²*, заменяем диаметр газопровода участка *7—8* на $D_у = 80$ *мм*. Окончательно принятые диаметры проставлены в расчетной таблице.

После расчета ответвления по расчетному направлению движения газа приступают к расчету ответвлений к другим домам.

Пример 21. Проверить распределение потоков газа и расчет расходов газа в сети низкого давления, представленной на рис. 7, *а*, и, если необходимо, исправить их. Необходимая производительность ГРП $V_{ГРП} = 2080$ *нм³/ч*.

Сверяем расчетный расход газа на выводе из ГРП $V_{ГРП\text{-}19} = 2066$ *нм³/ч* с производительностью ГРП, расхождение составляет менее 1% и вполне допустимо.

Проверяем правильность выбора направлений движения газа. По схеме видно, что все потоки газа идут от ГРП к нулевым точкам по кратчайшим направлениям, участков с «обратным» движением газа не имеется; нулевые точки выбраны правильно. Спорным является только направление движения газа на перемычках между магистралями *2—31* и *3—32*; по этим участкам газ движется в одном и том же направлении слева направо, в связи с чем имеет место перегрузка левой части схемы и недогрузка правой.

Проверяем распределение транзитных расходов газа по сети. Чем ближе к ГРП, тем больше расхождение, поэтому проверку начинаем от ГРП. Так как ГРП расположен в середине сети и удельные расходы газа одинаковы, расходы газа на участках сети, симметричных относительно ГРП, должны быть приблизительно равны. В действительности имеем расхождение почти в четыре раза (в *нм³/ч*):

транзитные расходы $V_{т18-19} = 1595$; $V_{т19-20} = 421$;

расчетные расходы $V_{18-19} = 1606$; $V_{19-20} = 437{,}5$.

Сравним также транзитные расходы газа на соответствующих участках правой и левой частей сети (в *нм³/ч*):

$$V_{т\,14-18} = 792, \quad V_{т\,15-20} = 100,$$

$$V_{т\,18-23} = 562, \quad V_{т\,20-24} = 89.$$

Из сравнения видно, что все расходы на левой магистрали *2—31* больше, чем на правой магистрали *3—32*; левая часть схемы перегружена. Причина заключается в том, что очень большая часть транзитных расходов отнесена на перемычки между магистралями *2—31* и *3—32*.

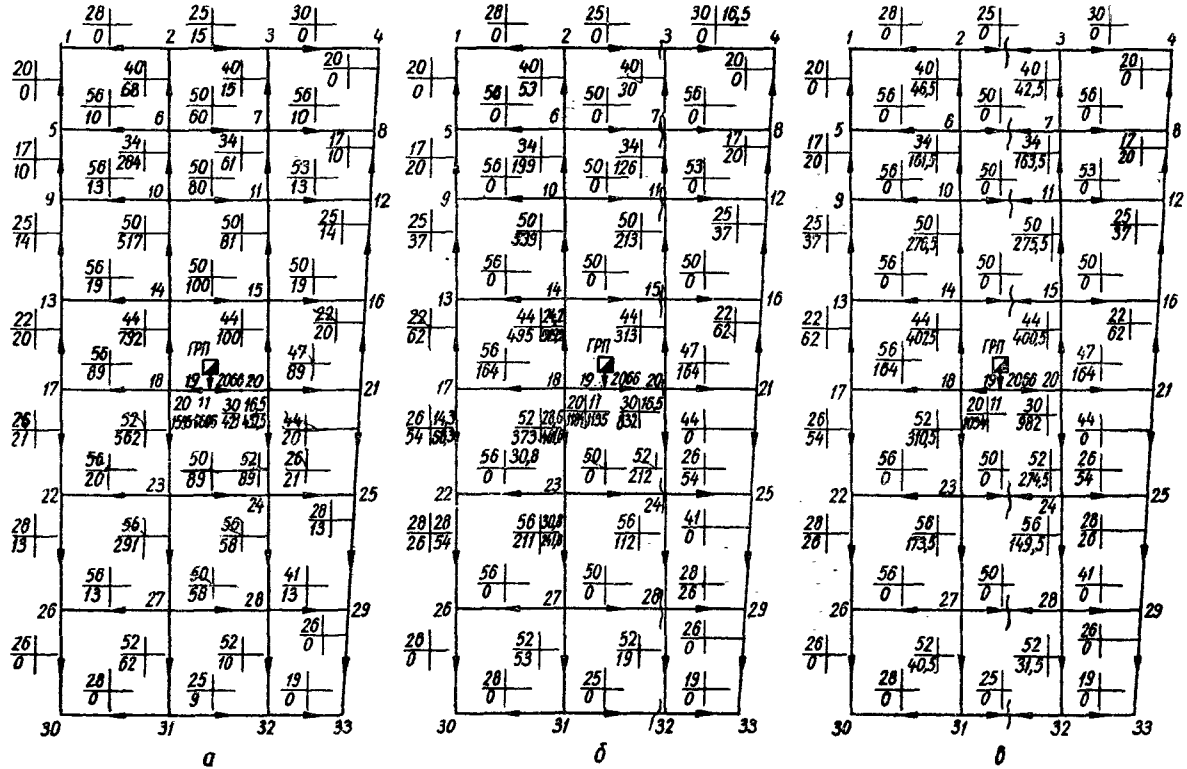


Рис. 7. Расчетные схемы сети: *а, б, в* соответственно — 1, 2 и 3-й варианты.

$\frac{40}{68}$ — путевой расход, транзитный расход

Велика также разница в расходах между магистралями *1—30* и *2—31* и между магистралями *3—32* и *4—33*.

Для выравнивания нагрузок все транзитные расходы переносим с перемычек на правую магистраль *3—32*. Кроме того, переносим часть нагрузки с обеих внутренних магистралей на наружные, сделав отсечки и у них. Расчет для этого варианта приведен на расчетной схеме рис. 7, *б*. Транзитные расходы на всех спорных участках *2—3*, *6—7*, *10—11* и других равны нулю, вследствие чего транзитные расходы газа на участках магистрали *2—31* уменьшились, а на участках магистрали *3—32* увеличились. Транзитные расходы на перемычках между магистралями *1—30* и *2—31* и между магистралями *3—32* и *4—33* тоже равны нулю, зато транзитные расходы на магистралях *1—30* и *4—33* увеличились.

Проверяем равномерность распределения транзитных расходов по этому варианту, сравнивая транзитные расходы по соответствующим участкам (в *нм*^{3}/*ч*): $V_{т18-19}=1184$, а $V_{т19-20}=832$. Разница значительно уменьшилась:

$$V_{т\,14-18}=495, \quad V_{т\,15-20}=313,$$
$$V_{т\,18-23}=373, \quad V_{т\,20-24}=212.$$

Из сравнения расходов видно, что транзитные расходы газа по магистрали *2—31* уменьшились, а по магистрали *3—32* увеличились. Увеличились также транзитные расходы на обоих крайних магистралях (участки *5—9*, *9—13* и т. д. и участки *8—12*, *12—16* и т. д.) за счет уменьшения расходов на магистралях *2—31* и *3—32* (в *нм*^{3}/*ч*):

$$V_{т\,13-17}=62, \quad V_{т\,14-18}=495;$$
$$V_{т\,15-20}=164, \quad V_{т\,16-21}=62.$$

В результате распределение газа по сети стало равномерным.

Дальнейшее выравнивание расходов можно получить, если принять на спорных перемычках попеременно различное направление движения газа: участок *2—3* — слева направо, участок *6—7* — справа налево и т. д. Расчетная схема для этого варианта показана на рис. 7, *в*.

Проверяем равномерность распределения расходов по этому варианту (в *нм*^{3}/*ч*):

$$V_{т\,18-19}=1034, \quad V_{т\,19-20}=982;$$
$$V_{т\,14-18}=395, \quad V_{т\,15-20}=413;$$
$$V_{т\,18-23}=298, \quad V_{т\,20-24}=287;$$
$$V_{т\,13-17}=62, \quad V_{т\,14-18}=395;$$
$$V_{т\,15-20}=164, \quad V_{т\,16-21}=62.$$

Равномернее будет также и распределение расчетных расходов. Большую равномерность распределения расходов в этой схеме получить трудно.

Однако такое распределение транзитных расходов нежелательно с точки зрения увязки сети. При равных длинах магистралей *2—31* и *3—32* возможно наличие близких по величине давлений газа с разных сторон перемычек и, следовательно, малый перепад давлений на перемычках. Поэтому разбиваем каждый участок на два (ставим отсечки на серединах участков) и определяем транзитные расходы газа для такого варианта. Новое распределение транзитных расходов и вычисления выполнены на рис. 7, *в*.

Проверим равномерность распределения транзитных расходов газа по этому варианту (в *нм*^{3}/*ч*):

$$V_{т\ 18-19} = 1034, \quad V_{т\ 19-20} = 982;$$
$$V_{т\ 14-18} = 407{,}5 \quad V_{т\ 15-20} = 400{,}5;$$
$$V_{т\ 18-23} = 310{,}5 \quad V_{т\ 20-24} = 274{,}5,$$

Большей равномерности распределения расходов в этой схеме добиться невозможно.

Пример 22. Определить пропускную способность транзитного газопровода среднего давления для подачи газа от ГРС к промышленному предприятию в количестве $V = 3000$ *нм*^{3}/*ч*. Длина газопровода $L = 5$ *км*, необходимое давление газа на вводе в заводскую ГРП $P_к = 1{,}6$ *кгс*/*см*^{2} $= 2{,}6$ *ата*. Определить также давление газа перед ГРП при различных диаметрах газопровода.

Для одного и того же расхода газа может подойти газопровод различного диаметра, но падение давления в нем и давление перед ГРП будет различное. Определим необходимый диаметр методом подбора. Начальное давление $P_н = 4$ *ата*.

Расчетная длина газопровода $L_р = 1{,}05 \cdot 5 = 5{,}25$ *км*. Задаемся диаметром газопровода $D_у = 250$ *мм* и определяем по номограмме на рис. 4 при расходе газа $V = 3000$ *нм*^{3}/*ч* значение $A = 0{,}14$.

Тогда конечное давление перед ГРП по формуле (33) равно

$$P_к = \sqrt{P_н^2 - AL_р} = \sqrt{4^2 - 0{,}14 \cdot 5{,}25} = 3{,}91 \ ата.$$

Задаемся диаметром газопровода $D_у = 200$ *мм*, находим для него новое значение $A = 0{,}41$ и определяем давление перед ГРП при этом диаметре

$$P_к = \sqrt{4^2 - 0{,}41 \cdot 5{,}25} = 3{,}7 \ ата.$$

При диаметре $D_у = 150$ *мм* $A = 2{,}3$ и

$$P_к = \sqrt{4^2 - 2{,}3 \cdot 5{,}25} = 1{,}98 \ ата.$$

Из полученных данных видно, что наиболее подходящим диаметром будет $D_у = 200$ *мм*. Бо́льшие диаметры при излишнем давлении окажутся более дорогими, а меньшие не обеспечат необходимого давления перед ГРП.

Задачу можно решить проще, если определить предварительно максимально допустимое значение A для газопровода

$$A = \frac{P_н^2 - P_к^2}{L_р} = \frac{4^2 - 2{,}6^2}{5{,}25} = 1{,}75.$$

Далее по номограмме подбираем диаметр, для которого действительное значение A будет ближайшим меньшим: $D_у = 200$ *мм*.

Давление перед ГРП при этом диаметре определяется так же, как и в прежнем варианте решения.

Пример 23. Требуется выполнить гидравлический расчет тупиковой разветвленной сети среднего давления (рис. 8). Давление в начале сети $P_н = 4$ *ата*, перед потребителями — $P_к = 1{,}5$ *ата*.

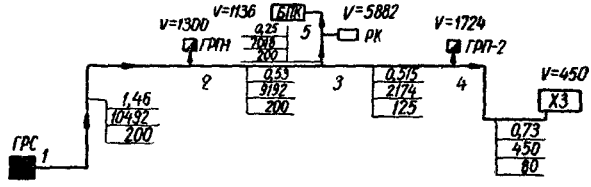


Рис. 8. Расчетная схема тупиковой сети среднего давления:

РК — районная котельная; ХЗ — хлебозавод; БПК — банно-прачечный комбинат

1,46 — длина участка, *км*;

10492 — расчетный расход газа, *нм³/ч*;

200 — условный диаметр газопровода, *мм*.

Расчет газопровода производим по методике расчета разветвленных тупиковых газопроводов высокого и среднего давления.

Нумеруем все узлы ответвления сети и проставляем на расчетной схеме длины участков, определяя их по длине кварталов и ширине улиц. Далее определяем и проставляем на расчетной схеме расходы газа по участкам сети.

Расходы газа на отводах к потребителям равны расходам газа потребителями (в *нм³/ч*):

$$V_{4-ГРП-2} = 1724;\ V_{5-БПК} = 1136;\ V_{5-РК-1} = 5882.$$

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

$$V_{3-5} = V_{5\ БПК} + V_{5-РК-1} = 1136 + 5882 = 7018\ нм^3/ч.$$

Расходы газа по основной магистрали определяем аналогично: $V_{4\ 3} = 450\ нм^3/ч$;

$$V_{3-4} = V_{4-ГРП-2} + V_{4\ 3} = 1724 + 450 = 2174\ нм^3/ч \text{ и т. д.}$$

Наносим эти расходы на расчетную схему и составляем расчетную таблицу (табл. 12). Проставляем номера расчетных участков только основной магистрали, начиная от ГРС до конечного потребителя (хлебозавод). Ответвления и отводы от основной магистрали будут рассчитываться после расчета магистрали.

Таблица 12. **Расчет сети среднего давления**

Номер участка	Длина участка, км: по плану L	Длина участка, км: расчетная $L_р = 1{,}1\,L$	Расчетный расход газа V, нм³/ч	Условный диаметр газопровода $D_у$, мм	A	$A\,L_р$	Давление на участке, ата: в начале $P_н$	Давление на участке, ата: в конце $P_к = \sqrt{P_н^2 - AL_р}$
Расчет магистрали ГРС-3—ХЗ								
		$A_{ср} = \frac{P_н^2 - P_к^2}{\Sigma L_р} = \frac{4^2 - 1{,}5^2}{3{,}53} = 3{,}9$						
ГРС-2	1,46	1,61	10492	200	4,9	7,89	4	2,84
2—3	0,53	0,58	9192	200	3,8	2,20	2,84	2,43
3—4	0,515	0,57	2174	125	3,8	1,71	2,43	2,05
4—ХЗ	0,703	0,77	450	80	1,2	0,92	2,05	1,81
		$\Sigma L_р = 3{,}53$						
Расчет отводов от магистрали ГРС-3—ХЗ								
		$A_д = \frac{2{,}84^2 - 1{,}5^2}{0{,}055} = 106$						
2-ГРП-1	0,05	0,055	1300	80	10	0,55	2,84	2,75
		$A_д = \frac{2{,}05^2 - 1{,}5^2}{0{,}055} = 36$						
4-ГРП-2	0,05	0,055	1724	100	6,7	0,37	2,05	1,96
Расчет ответвлений к банно-прачечному комбинату								
		$A_{ср} = \frac{P_н^2 - P_к^2}{\Sigma L_р} = \frac{2{,}43^2 - 1{,}5^2}{0{,}528} = 6{,}95$						
3—10	0,25	0,275	7018	200	2,3	0,63	2,43	2,30
10-БПК	0,23	0,253	1136	80	7,2	1,82	2,30	1,86
		$\Sigma L_р = 0{,}528$						
Расчет отвода к РК-1								
		$A_д = \frac{2{,}3^2 - 1{,}5^2}{0{,}044} = 69$						
10-РК-1	0,04	0,044	5882	150	8,7	0,38	2,30	2,2

Длину L берем из расчетной схемы. При определении диаметров газопроводов пользуемся номограммой для расчета газопроводов среднего и высокого давления (см. рис. 4).

Номограмма дает зависимость между тремя величинами: расходом газа V, диаметром газопровода и комплексной величиной A, из которых нам известен только расход газа. Таким образом, имеем одно уравнение с двумя неизвестными. Предполагая, что располагаемый перепад давления затрачивается равномерно

по всей магистрали, по номограмме на рис. 4 определяем среднее значение величины A.

$$A_{ср} = \frac{P_н^2 - P_к^2}{\Sigma L_р} = \frac{4^2 - 1{,}5^2}{3{,}53} = 3{,}9.$$

Далее подбираем диаметры магистрали так, чтобы значение A для каждого участка было по возможности ближе к значению $A_{ср} = 3{,}9$.

Определяем диаметр участка ГРС-1, откладывая на шкале расхода номограммы расход газа на участке $V_{ГРС\text{-}2} = 10492$ *нм³/ч* и на шкале $\frac{P_н^2 - P_к^2}{L_р} = A$ полученное значение $A_{ср} = 3{,}9$. Точка пересечения *1* оказалась между линиями диаметров $D_у = 200$ и $D_у = 250$ *мм*. Идя по линии того же расхода вверх или вниз до линии ближайшего диаметра, находим искомый диаметр $D_у = 200$ *мм*.

Проектируем точку пересечения расхода газа с найденным диаметром на ось A и находим действительное значение $A = 4{,}9$. Вносим полученные значения $D_у = 200$ *мм* и $A = 4{,}9$ в расчетную таблицу и определяем давление газа в конце участка по формуле (33)

$$P_к = \sqrt{P_н^2 - AL_р} = \sqrt{4^2 - 4{,}9 \cdot 1{,}61} = 2{,}84 \text{ } ата.$$

Аналогично рассчитываем все остальные участки магистрали, определяем все диаметры, давления в узлах и давление перед последним потребителем — хлебозаводом. При этом конечное давление для одного участка будет начальным давлением для следующего. Если давление перед последним потребителем меньше или значительно больше необходимого, нужно пересчитать какой-либо из участков, добиваясь необходимого давления.

В данном случае имеем давление 1,81 *ата* вместо заданного 1,5 *ата*. Проверяем, можно ли использовать избыточное давление для уменьшения диаметра участка *4* — ХЗ, который имеет наименьшее значение A. Для этого задаемся меньшим диаметром участка и проверяем величину давления на вводе в хлебозавод.

Примем диаметр участка *4* — ХЗ равным 70 *мм*. По номограмме на рис. 4 находим $A = 3{,}0$. Давление перед хлебозаводом

$$P_{ХЗ} = \sqrt{P_н^2 - AL_р} = \sqrt{2{,}05^2 - 3 \cdot 0{,}77} = 1{,}38 \text{ } ата,$$

т. е. меньше необходимого. Оставляем прежний диаметр и расчет магистрали считаем оконченным.

Далее рассчитываем отводы от главной магистрали к отдельным потребителям.

Длина участка *2* — ГРП-1 по плану $L = 0{,}05$ *км*; расчетная длина $l_р = 1{,}1\,L = 0{,}055$ *км*; расчетный расход газа $V_{4\text{-}ГРП\text{-}1} = 450$ *нм³/ч*.

Определяем максимально допустимое значение A для участка по ранее полученному давлению в начале участка ($P_2=2{,}84$ *ата*) и необходимому давлению в конце участка ($P_{\text{ГРП-1}}=1{,}5$ *ата*). По полученному значению

$$A=\frac{P_{\text{н}}^2-P_{\text{к}}^2}{L_{\text{р}}}=\frac{2{,}84-1{,}5^2}{0{,}055}=106$$

подбирается диаметр отвода. В данном случае значение A получилось слишком большим. Принимаем газопровод диаметром 80 *мм*, при этом получим $A=$(10) Находим $P=2{,}75$ *ата*. Все вычисления сделаны в расчетной таблице. Подобным же образом рассчитываем и отвод к ГРП.

Затем рассчитываем ответвления к нескольким зданиям. Если ответвление сложное, оно рассчитывается аналогично основной ветви. Так выполнен расчет к банно-прачечному комбинату. Если ответвление более простое (к двум, трем потребителям), его можно не выделять отдельно, а рассчитывать вместе со всеми отводами.

ПРОЕКТ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА

ЗАДАНИЕ

Запроектировать газоснабжение города, расположенного в Харьковской области. План газовых сетей города приведен на рис. 9; указаны кварталы и микрорайоны города, этажность и расположение сосредоточенных потребителей: банно-прачечный комбинат, гостиница, больничный городок, хлебозавод и котельные. Рельеф территории ровный с разностью отметок поверхности земли до 5 *м*.

Горячее водоснабжение для ванн — местное от газовых колонок. В 4- и 5-этажных домах все квартиры проектируются с ванными колонками; в 2- и 3-этажных и усадебных домах газовые колонки устанавливаются в 30% домов.

Отопление многоэтажной зоны от районных котельных — существующей на квартале *14* мощностью 40 *Гкал/ч* и вновь проектируемой на квартале *54*. Отопление усадеб квартирное.

Гостиница, больничный городок, банно-прачечный комбинат и хлебозавод с кондитерской фабрикой имеют местные котельные. Предусматривается газоснабжение ремонтной мастерской с расходом газа 45 $нм^3/ч$.

Двухэтажная и усадебная зоны и частично трехэтажная зона уже застроены. Остальные запроектированы.

Коммунально-бытовые потребители, не обозначенные на генплане, учитываются как равномерно распределенные: в 2-этажной зоне две школы по 1000 учащихся обслуживают 2-этажную и усадебную зоны; в 3-этажной зоне — больница на 240 коек; в 5-этажной проектируется роддом на 100 коек.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ ГАЗА

Расходы газа определяем отдельно для равномерно распределенных и сосредоточенных потребителей.

Определение количества жителей. Предварительно определяем количество жителей в городе по кварталам. Норму жилищного фонда принимаем близкую к верхнему пределу норм, норму жилой площади — 9 $м^2$ на 1 чел. Например, квартал *59—60* в 5-этажной зоне; размеры квартала по плану 770×320 *м*, площадь $S=$

$7{,}70 \times 3{,}20 = 24{,}86$ *га*, количество жителей определяем по формуле (4)

$$n = \frac{SF}{f} = \frac{24{,}86 \cdot 3100}{9} = 8562 \text{ чел.}$$

Расчет количества жителей по городу сведен в табл. 13.

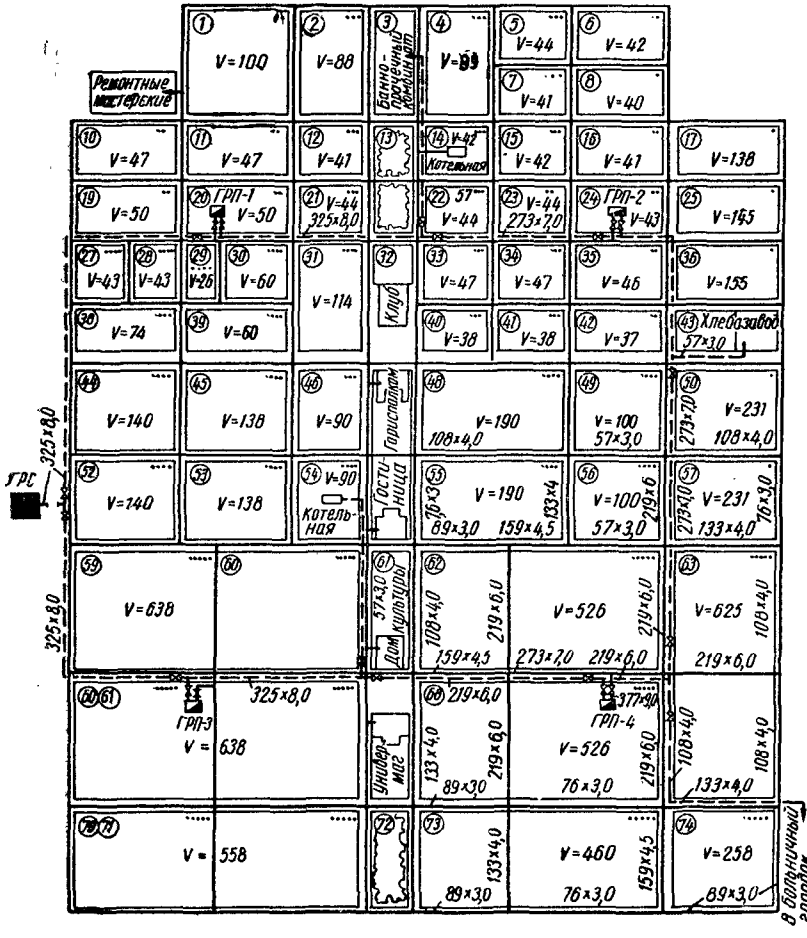


Рис. 9. План газовых сетей города.

Расходы газа на хозяйственно-бытовые нужды равномерно распределенными потребителями. Пользуясь данными табл. 2, определяем годовые расходы газа по зонам отдельно для каждого жилого квартала и сводим их в табл. 14.

Таблица 13. **Расчет количества жителей**

Номер квартала	Длина, *м*	Ширина, *м*	Площадь квартала *S*, *га*	Жилая площадь на квартале, *м²*	Количество жителей *n*, чел.
Зона 5-этажной застройки, $F=3100$ *м²/га*					
59—60	320	777	24,86	77066	8562
62	332	641	20,50	63550	7061
63	675	361	24,36	75516	8391
65—66	320	777	24,86	77062	8562
68	320	641	20,50	63550	7061
70—71	280	777	21,75	67445	7494
73	280	641	17,95	55600	6178
74	280	361	10,10	31310	3467
					56776
Зона 4-этажной застройки, $F=2700$ *м²/га*					
27	150	130	1,95	5265	585
28	150	130	1,95	5265	585
29	150	78	1,17	3159	351
30	150	180	2,70	7290	810
31	284	180	5,11	13797	1533
38	119	280	3,33	8991	999
39	119	227	2,70	7290	810
44	224	280	6,27	16929	1881
45	224	277	6,20	16740	1860
46	224	180	4,03	10881	1209
48	224	380	8,51	22977	2553
49	224	241	5,40	12080	1342
52	224	280	6,27	16929	1881
53	224	277	6,20	16740	1860
54	224	180	4,03	10881	1209
55	224	380	8,51	22977	2553
56	224	241	5,40	12080	1342
					23363
Зона 3-этажной застройки, $F=2500$ *м²/га*					
2	282	180	5,07	12675	1408
4	282	182	5,13	12825	1425
5	136	182	2,48	6200	699
7	131	182	2,38	5950	661
12	133	180	2,39	5975	664
14	133	182	2,42	6050	672
15	133	182	2,42	6050	672
21	140	180	2,52	6300	700
22	140	182	2,55	6375	708
23	140	182	2,55	6375	708
33	150	182	2,73	6825	758
34	150	182	2,73	6825	758
40	119	182	2,17	5425	603
41	119	182	2,17	5425	603
					11039

Продолжение табл. 13

Номер квартала	Длина, *м*	Ширина, *м*	Площадь квартала *S*, *га*	Жилая площадь на квартале, *м²*	Количество жителей *n*, чел.
Зона 2-этажной застройки, $F=1800$ *м²/га*					
1	282	277	7,81	14058	1562
10	133	280	3,72	6696	744
11	133	277	3,68	6624	736
19	140	280	3,92	7056	784
20	140	277	3,88	6984	776
6	136	241	3,28	5904	656
8	131	241	3,16	5688	632
16	133	241	3,21	5778	642
24	140	241	3,37	6066	674
35	150	241	3,62	6516	724
42	119	241	2,87	5166	574
					8504
Зона индивидуальной застройки, 100 *чел/га*					
17	133	361	4,80		480
25	140	361	5,05		505
36	150	361	5,42	—	542
50	224	361	8,08		808
57	224	361	8,08		808
					3143
Всего жителей в городе					102825 чел.

Например, приготовление пищи в квартирах в 5-этажной зоне. Так как по заданию централизованное горячее водоснабжение в городе не предусматривается, приготовление горячей воды на хозяйственные нужды будет производиться на газовых плитах, поэтому берем норму 810000 *ккал/чел·год*. Норму расхода газа определяем по формуле (1):

$$v = \frac{Q}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}} = \frac{810000}{8500} = 95{,}3 \text{ нм}^3/\text{год}.$$

Количество единиц потребления — жителей, которые питаются дома,— по табл. 2 равно 850 чел. на 1 тыс. жителей, или всего в 5-этажной зоне

$$m = n \cdot \frac{850}{1000} = 51776 \cdot \frac{850}{1000} = 48260 \text{ чел}.$$

Годовой расход газа на приготовление пищи в квартирах

$$V_{\text{год}} = mv = 48260 \cdot 95{,}3 = 4599178 \text{ нм}^3/\text{год}.$$

Таблица 14. **Расчет годовых расходов газа на хозяйственно-бытовые нужды равиомерно распределенными потребителями**

Потребители газа	Расчетная единица потребления	Норма расхода		Количество расчетных единиц потребления на 1000 жителей	Общее количество единиц потребления, m	Годовой расход газа $V_{год}$, $нм^3/год$
		q, тыс. $ккал/год$	v, $нм^3/год$			
Зона 5-этажной застройки, n = 56776 чел.						
Приготовление пищи в квартирах	1 чел.	810	95,3	850	48260	4599000
То же, горячей воды	То же	460	54,1	1000	56776	3072000
Стирка белья в квартирах	1 $т$ сухого белья	2100	247,1	50	2839	701000
Детясли	1 ребенок	920	108,2	40	2271	246000
Детсады	То же	890	104,7	50	2839	297000
Школы	1 учащийся	40	4,7	180	10220	48000
Столовые:						
обеды	1 обед	1	0,12	92400	5246100	629000
завтраки и ужины	1 завтрак и ужин	0,5	0,06	47000	2668472	160000
Стирка белья в самодеятельных прачечных	1 $т$ сухого белья	4800	564,7	30,0	1732	978000
Роддом на 100 коек	1 койка	2920	343,5	—	100	34000
Стирка белья в роддоме	1 $т$ сухого белья	4800	564,7	—	48	27100
Мелкие предприятия бытового обслуживания и неучтенные расходы (до 10% от общего расхода)	—	—	—	—	—	1050000
						11840970
Зона 4-этажной застройки, n=23363 чел.						
Приготовление пищи в квартирах	1 чел.	810	95,3	850	19859	1892563
То же, горячей воды	То же	460	54,1	1000	23363	1263940
Стирка белья в квартирах	1 $т$ сухого белья	2100	247,1	50	11682	288610
Детясли	1 ребенок	920	108,2	40	935	101170
Детсады	То же	890	104,7	50	1168	122290

Школы	1 учащийся	40	4,7	180	4205	[illegible]
Столовые:						
обеды	1 обед	1,0	0,12	92400	2158700	259050
завтраки и ужины	1 завтрак и ужин	0,5	0,06	47000	1098000	65886
Стирка белья в самодеятельных прачечных	1 *т* сухого белья	4800	564,7	30,0	712	402070
Мелкие предприятия бытового обслуживания и неучтенные расходы	—	—	—	—	—	441534
						4856873

Зона 3-этажной застройки, n=11039 чел.

Приготовление пищи в квартирах	1 чел.	810	95,3	850	9383	894200
То же, горячей воды	То же	460	54,1	300	3312	179000
Стирка белья в квартирах	1 *т* сухого белья	2100	247,1	50	552	136000
Детясли	1 ребенок	920	108,2	40	442	48000
Детсады	То же	890	104,7	50	552	58000
Школы	1 учащийся	40	4,7	180	2000	9000
Столовые:						
обеды	1 обед	1,0	0,12	92400	1020000	122000
завтраки и ужины	1 завтрак и ужин	0,5	0,06	47000	518800	31000
Стирка белья в самодеятельных прачечных	1 *т* сухого белья	4800	564,7	30,0	336,7	190000
Больница на 240 коек	1 койка	2960	348,2	—	240	84000
Стирка белья в больнице	1 *т* сухого белья	4800	564,7	—	115	65000
Мелкие предприятия бытового обслуживания и неучтенные расходы (до 6% от общего расхода)	—	—	—	—	—	110000
						1927000

Зона 2-этажной застройки, n=8504 (для столовых и прачечных с учетом усадебной зоны 11647)

Приготовление пищи в квартирах	1 чел.	810	95,3	850	7228	688128
То же, горячей воды	То же	460	54,1	300	2550	137960
Стирка белья в квартирах	1 *т* сухого белья	2100	247,1	50	425,2	105070

Продолжение табл. 14

Потребители газа	Расчетная единица потребления	Норма расхода		Количество расчетных единиц потребления на 1000 жителей	Общее количество единиц потребления, m	Годовой расход газа $V_{год}$, $нм^3/год$
		q, тыс. $ккал/год$	v, $м^3/год$			
Детясли	1 ребенок	920	108,2	40	340	36790
Детсады	То же	890	104,7	50	425	44500
Две школы по 1000 учащихся	1 учащийся	40	4,7	—	2000	9400
Столовые:						
обеды	1 обед	1,0	0,12	92400	1076200	129140
завтраки и ужины	1 завтрак и ужин	0,5	0,06	47000	547400	32840
Стирка белья в самодеятельных прачечных	1 $т$ сухого белья	4800	564,7	30,0	355,2	200580
Мелкие предприятия бытового обслуживания и неучтенные расходы (10% от общего расхода)	—	—	—	—	—	138441
						1522849
Зона усадебной застройки, $n=3143$						
Приготовление пищи в квартирах	1 чел.	810	95,3	850	2672	254641
То же, горячей воды	То же	460	54,1	300	943	51016
Стирка белья в квартирах	1 $т$ сухого белья	2100	247,1	50	157,2	38840
Детясли	1 ребенок	920	108,2	40	126	13630
Детсады	То же	890	104,7	50	157	16440
						374567

Общий расход газа $\Sigma V_{год} = 20522300$ $нм^3/год$.

Аналогично определяем годовые расходы газа всеми остальными единицами потребления для всех зон застройки. При этом в различных зонах учитываем различный охват населения газоснабжением и коммунальными услугами. Школы, детсады и детясли в кварталах индивидуального строительства не учитываем, так как они вынесены в ближайшую 2-этажную зону, где их и учитываем. Полученной при этом некоторой неточностью расчета (из-за неучета этих зданий количество жителей в 2-этажной зоне несколько завышено) пренебрегаем.

Некоторые здания рассчитываем по их действительному местоположению и по действительному количеству расчетных единиц: роддом учтен на 100 коек только в 5-этажной зоне, больница на 240 коек — в 3-этажной зоне, две школы на 1000 учащихся каждая — в 2-этажной зоне.

Далее определяем расчетные расходы газа равномерно распределенными потребителями в каждой зоне по формуле (7). Так как газовая сеть всех зон связана гидравлически в единую систему, коэффициент K_m для всех зон одинаков и определяется по суммарному количеству населения (до 100 тыс. чел.). По табл. 4 $K_m = \frac{1}{2800}$.

Расход газа по зонам следующий (в $нм^3/ч$):

$$V_5 = K_m V_{год} = \frac{1}{2800} \cdot 11840970 = 4229;$$

$$V_4 = \frac{1}{2800} \cdot 4856873 = 1736;$$

$$V_3 = \frac{1}{2800} \cdot 1927000 = 689;$$

$$V_2 = \frac{1}{2800} \cdot 1522849 = 543;$$

$$V_{ус} = \frac{1}{2800} \cdot 374567 + 766 = 900.$$

В последнем случае учтен расход газа на печное отопление.

Суммарный расход газа всеми зонами равен

$$V = \Sigma V_з = 8097 \ нм^3/ч.$$

Расчетные расходы газа по кварталам определяем по удельному расходу газа, приходящемуся на 1 жителя, по формуле (8) и сводим в табл. 15.

Таблица 15. **Определение расчетных расходов газа по кварталам**

Номер квартала	Количество жителей, $n_{кв}$	Расчетный расход газа по кварталу, $нм^3/ч$
5-этажная зона $v=0{,}0745$ $нм^3/ч \cdot чел$		
59—60	8562	638
62	7061	526
63	8391	625
65—66	8562	638
68	7061	526
70—71	7494	558
73	6178	460
74	3467	258
		4229
4-этажная зона $v=0{,}0743$ $нм^3/ч \cdot чел$		
27	585	43
28	585	43
29	351	26
30	810	60
31	1533	114
38	999	74
39	810	60
44	1881	140
45	1860	138
46	1209	90
48	2553	190
49	1342	100
52	1881	140
53	1860	138
54	1209	90
55	2553	190
56	1342	100
		1736
3-этажная зона $v=0{,}0623$ $нм^3/ч \cdot чел$		
2	1408	88
4	1425	89
5	699	44
7	661	41
12	664	41
14	672	42
15	672	42
21	700	44
22	708	44
23	708	44
33	758	47
34	758	47
40	603	38
41	603	38
		689
2-этажная зона $v=0{,}0639$ $нм^3/ч \cdot чел$		
1	1562	100
10	744	47
11	736	47
19	784	50
20	776	50
6	656	42
8	632	40
16	642	41
24	674	43
35	724	46
42	574	37
		543
Усадебная зона $v=0{,}286$ $нм^3/ч \cdot чел$		
17	480	138
52	505	145
36	542	155
50	808	231
57	808	231
		900
Всего по городу 8097 $нм^3/ч$		

Например, для 5-этажной зоны

$$v = \frac{V_з}{n_з} = \frac{4229}{56776} = 0{,}0745 \ нм^3/чел;$$

расход газа кварталом *59—60*

$$V_{59-60} = vn_{кв} = 0{,}0745 \cdot 8562 = 638 \ нм^3/ч$$ и т. д.

Расходы газа сосредоточенными потребителями. Расчет годового расхода газа выполняется по каждому потребителю и сводится в таблицу (табл. 16). Отопление сосредоточенных потребителей, имеющих свои котельные, намечено осуществить от этих же котельных.

Таблица 16. **Расход газа на коммунально-бытовые нужды сосредоточенными потребителями**

Потребители газа	Расчетная единица потребления	Норма расхода		Количество расчетных единиц потребления m	Годовой расход $V_{год}$, $нм^3/год$	Коэффициент часового максимума K_m	Расчетный расход V, $нм^3/ч$
		q, тыс. $ккал$	v, $нм^3$				
Гостиница на 400 мест							
Гостиница	1 место	850	100	400	40000	2000	20,0
Ресторан при гостинице	Рацион в сутки	2	0,24	146000	35040	2000	18,0
Отопление	—	—	—	—	—	—	94,6
							132,6
Больница на 600 мест с поликлиникой на 1200 посещений							
Приготовление пищи и горячей воды			—				334,4
Отопление			—				1176,5
							1510,9
Банно-прачечный комбинат							
Баня	1 помывка	9	1,06	572000	606000	2300	264
Прачечная	1 m сухого белья	4800	564,7	5551	3135000	3000	1045
Отопление				—			191,2
							1500,2
Хлебозавод и кондитерская фабрика							
Выпечка хлеба	1 m	760	89,4	22520	2013000	6000	365,5
Выпечка кондитерских изделий	То же	950	111,8	3753	419600	6000	69,9
Отопление				—			14,7
							450,1
Всего							3594

Определяем расход газа гостиницей на 400 мест с рестораном. Объем гостиницы определяем по удельной кубатуре 100 $м^3$ на 1 место (см. табл. 6)

$$V = 400 \cdot 100 = 40000\ м^3.$$

Расход тепла на отопление и вентиляцию определяем по формулам (10) и (13)

$$Q_{о.в} = 1{,}1 \cdot 0{,}3 \cdot [18 - (-23)] \cdot 40000 + 0{,}7 \cdot [18 \quad (-11)]\, 5000 -$$
$$= 0{,}643\ Гкал/ч.$$

Расчетный расход газа

$$V = \frac{Q_{о.в}}{Q^{р}_{н}\eta} = \frac{0{,}643 \cdot 10^{6}}{8500 \cdot 0{,}8} = 94{,}6 \ нм^{3}/ч.$$

Для больницы расход газа на приготовление пищи и горячей воды принимаем по типовому проекту — $V = 334{,}4$ $нм^{3}/ч$. Расход тепла на отопление и вентиляцию $Q_{о.в} = 8000000$ $ккал/ч$, расход газа на эти нужды составляет

$$V_{о.в} = \frac{Q}{Q^{р}_{н}\eta} = \frac{8 \cdot 10^{6}}{8500 \cdot 0{,}8} = 1176{,}5 \ нм^{3}/ч.$$

Для банно-прачечного комбината расход тепла на отопление и вентиляцию по типовому проекту $Q_{о.в} = 1300000$ $ккал/ч$, расход газа

$$V_{о.в} = \frac{1{,}3 \cdot 10^{6}}{8500 \cdot 0{,}8} = 191{,}2 \ нм^{3}/ч.$$

Для хлебозавода расход тепла на отопление и вентиляцию равен 100 000 $ккал/ч$; расход газа составляет

$$V_{о.в} = \frac{0{,}1 \cdot 10^{6}}{8500 \cdot 0{,}8} = 14{,}7 \ нм^{3}/ч.$$

Определяем расход газа районными котельными. Кубатура жилых и общественных зданий в городе подсчитывается по зонам, затем определяется расход тепла на отопление и вентиляцию зданий по формулам (14), (10), (13) и табл. 6.

5-этажная зона:

$$V_{ж} = nfK = 56776 \cdot 9 \cdot 6 = 3066000 \ м^{3};$$

$$V_{0} = n \cdot 18 = 56776 \cdot 18 = \frac{1022000}{4088000} \ м^{3};$$

$$Q_{о.в} = aq_{0}(t_{вн} - t_{н.о})(V_{ж} + V_{0}) + q_{в}(t_{в} - t_{н.в})V_{0} =$$
$$= 1{,}1 \cdot 0{,}35 \cdot [18 - (-23)] \cdot 4088000 + 0{,}2 \cdot [18 - (-11)] \cdot 1022000 = 70{,}46 \ Гкал/ч.$$

4-этажная зона:

$$V_{ж} = 23363 \cdot 9 \cdot 6 = 1262000 \ м^{3}$$

$$V_{0} = 23363 \cdot 18 = \frac{421000 \ м^{3}}{1683000 \ м^{3}};$$

$$Q_{о.в} = 1{,}1 \cdot 0{,}4 \cdot [18 - (-23)] \cdot 1683000 + 0{,}2 \cdot [18 - (-11)] \cdot 421000 = 32{,}8 \ Гкал/ч.$$

3-этажная зона:

$$V_{ж} = 11039 \cdot 9 \cdot 6 = 596000 \ м^{3}.$$

$$V_{0} = 11039 \cdot 18 = \frac{199000 \ м^{3}}{795000 \ м^{3}};$$

$$Q_{о.в} = 1{,}1 \cdot 0{,}4 \cdot [18 - (-23)] \cdot 795000 + 0{,}2 \cdot [18 - (-11)] 199000 = 15{,}49 \ Гкал/ч.$$

9-этажная зона:

$$V_{ж} = 8504 \cdot 6 \cdot 9 = 459000 \ м^3$$

$$V_0 = 8504 \cdot 18 = \frac{153000 \ м^3}{612000 \ м^3};$$

$$Q_{о.в} = 1{,}1 \cdot 0{,}5 \cdot [18 - (-23)] \cdot 612000 + 0{,}2 \cdot [18 - \\ - (-11)] \cdot 153000 = 14{,}69 \ Гкал/ч.$$

Для усадебной зоны

$$V_0 = 3143 \cdot 18 = 56574 \ м^3.$$

Расход тепла на отопление и вентиляцию общественных зданий

$$Q_{о.в} = 1{,}1 \cdot 0{,}5 \cdot [18 - (-23)] \cdot 56574 + 0{,}2 \cdot [18 - \\ - (-11)] \cdot 56574 = 1{,}61 \ Гкал/ч.$$

Расход тепла на отопление и вентиляцию от районных котельных определяем как сумму расходов по всем зонам (кроме усадебной) минус расход от местных котельных (см. табл. 16)

$$Q_к = 70{,}46 + 32{,}8 + 15{,}49 + 14{,}69 + 1{,}61 - 0{,}64 - 8{,}0 - \\ - 1{,}3 - 0{,}1 = 125{,}1 \ Гкал/ч.$$

Теплопроизводительность существующей котельной равна 40 *Гкал/ч*.

Расход газа по формуле (9) составит

$$V = \frac{Q}{Q^р_н \eta} = \frac{40 \cdot 10^6}{8500 \cdot 0{,}8} = 5882 \ нм^3/ч.$$

Необходимая производительность проектируемой котельной равна

$$125{,}1 - 40 = 85{,}1 \approx 90 \ Гкал/ч;$$

расход газа

$$V = \frac{90 \cdot 10^6}{8500 \cdot 0{,}8} = 13240 \ нм^3/ч.$$

Расход газа на отопление квартир усадебной зоны. В зоне имеется 628 усадеб по 270 $м^3$. Отсюда $V_{ж} = 169000 \ м^3$.

Расход тепла на отопление зоны индивидуального строительства при квартирном отоплении от АГВ с круглосуточной работой

$$Q_0 = 1{,}1 \cdot 0{,}7 \cdot [18 - (-23)] \cdot 169000 = 5{,}33 \ Гкал/ч.$$

Расход газа на отопление усадебной зоны

$$V_0 = \frac{5{,}33 \cdot 10^6}{8500 \cdot 0{,}8} = 766{,}6 \ нм^3/ч.$$

ВЫБОР СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА

Для выбора системы газоснабжения пользуемся данными, определенными ранее: количество жителей 102825 чел.; расход газа

равномерно распределенными потребителями 8097 *нм³/ч*, сосредоточенными — 22 761 *нм³/ч*, всего 30858 *нм³/ч*.

При численности населения города до 100 тыс. чел. и при сравнительно большой плотности нагрузки (большая часть города застраивается домами в 5 и 4 этажей, значительно меньшая — в 3 и 2 этажа и совершенно незначительная — в 1 этаж) принимаем двухступенчатую систему газоснабжения с давлением в первой ступени 3 *кгс/см²*, во второй — 0,03 *кгс/см²*. Применение высокого давления 6 *кгс/см²* вместо среднего практически невозможно из-за необходимости выдерживать значительно бо́льшие расстояния до зданий и подземных сооружений.

Одноступенчатая система нецелесообразна, так как приведет к значительному удорожанию сети низкого давления. Применение трехступенчатой системы также нецелесообразно: крупных потребителей за городом нет; загородное кольцо высокого давления будет дублировать кольцо среднего давления и существенно увеличит стоимость сети.

Кольцевая магистраль среднего давления с двусторонним питанием достаточно надежна.

В сети предусматривается установка газорегулировочных пунктов. Применение шкафных пунктов привело бы к удлинению сети среднего давления и усложнению эксплуатации. Так как потребность в газе невелика, принимаем одну ГРС. Место сооружения ГРС — со стороны подхода дальнего газопровода на западной окраине города — на расстоянии 500 *м* от крайней улицы.

Сосредоточенных потребителей подсоединяем к сети среднего давления. Ремонтный завод, расположенный далеко от сети среднего давления, с расходом газа всего 45 *нм³/ч* присоединяем к сети низкого давления.

Количество ГРП определяем по формулам (20) и (21):

$$n = \frac{\Sigma V_{\text{ГРП}}}{1500 \div 2000} = \frac{8097 + 45}{1500 \div 2000} = 5{,}4 \div 4{,}1;$$

$$n = \frac{La}{4R^2} = \frac{37 \cdot 0{,}27}{4 \cdot 0{,}75^2} = 4{,}5.$$

Длину сети низкого давления принимаем ориентировочно равной суммарной длине всех улиц города $L = 37$ *км*. Среднюю длину стороны квартала принимаем по длине квартала *53*, $a = 0{,}27$ *км*.

Уточняем количество ГРП по местным условиям и принимаем к сооружению 4 ГРП. Это количество хорошо увязывается с формой территории застройки: все районы действия ГРП будут близки к квадратам, хорошо связанными между собой; ГРП можно будет разместить в центрах каждого района, обеспечив хорошее взаимное резервирование.

Намечаем районы действия ГРП. Для этого делим территорию застройки на 4 части. С севера на юг удобной границей между

районами будет центральный бульвар шириной 160 *м*; с востока на запад принимаем в качестве границы улицу между кварталами *44* и *52*.

Нагрузку каждого ГРП определяем, суммируя расходы газа кварталами, которые обслуживаются данной ГРП: $V=1300$; 1724; 2202; 2916 *нм*^{3}/*ч*.

При этом можно будет применить два типа ГРП. Уравнивать производительность ГРП за счет перераспределения кварталов между ними нежелательно, так как при этом существенно увеличатся радиусы действия ГРП-1 и ГРП-2.

Выбираем место расположения ГРП. На каждом из четырех районов действия ГРП проводим диагонали и около точек их пересечения находим место, удобное для размещения ГРП. ГРП желательно разместить в отдельно стоящей будке за первым рядом домов, чтобы их не было видно с улицы. При этом должны быть выдержаны все требуемые правилами и нормами расстояния до зданий и сооружений.

Схему сети среднего давления принимаем кольцевой. Трассу кольца выбираем так, чтобы уменьшить общую длину сети среднего давления. На кольце предусматриваем секционирующие задвижки так, чтобы любой поврежденный участок сети можно было отключить с двух сторон и чтобы любого потребителя или группу из двух-трех потребителей можно было бы питать с любой стороны кольца. Например, отводы к ГРП-4 и больничному городку блокируем вместе — подсоединяем к отрезку кольца между двумя задвижками. При аварии справа будет подаваться газ слева и наоборот.

Распределительную сеть низкого давления прокладываем по всем улицам, а в южной части города, где размещаются микрорайоны площадью 20—25 *га*, предусмотрены перемычки и поперек микрорайона; эти перемычки уменьшают диаметры сети и увеличивают ее надежность.

Ответвления и отводы от распределительной сети на кварталы будут запроектированы после составления рабочих чертежей застройки кварталов (см. пример 20).

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СЕТИ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ

Расходы газа потребителями уже вычислены. Давление на выходе из ГРП принимаем равным максимально допустимому для среднего давления $P=4$ *ата*. Давление перед конечными потребителями $P=1{,}5$ *ата*.

Намечаем направление движения газа по сети и определяем резервирующую перемычку — это будет участок, лежащий на противоположном конце кольца относительно ГРС.

Расчет кольцевой сети среднего давления производим при трех режимах работы:

1) аварийный режим I, при котором считаем, что поврежден и выключен участок *1—9* и газ движется по кольцу по часовой стрелке;

2) аварийный режим II, при котором считаем, что поврежден и выключен участок *1—2* и газ движется по кольцу против часо-

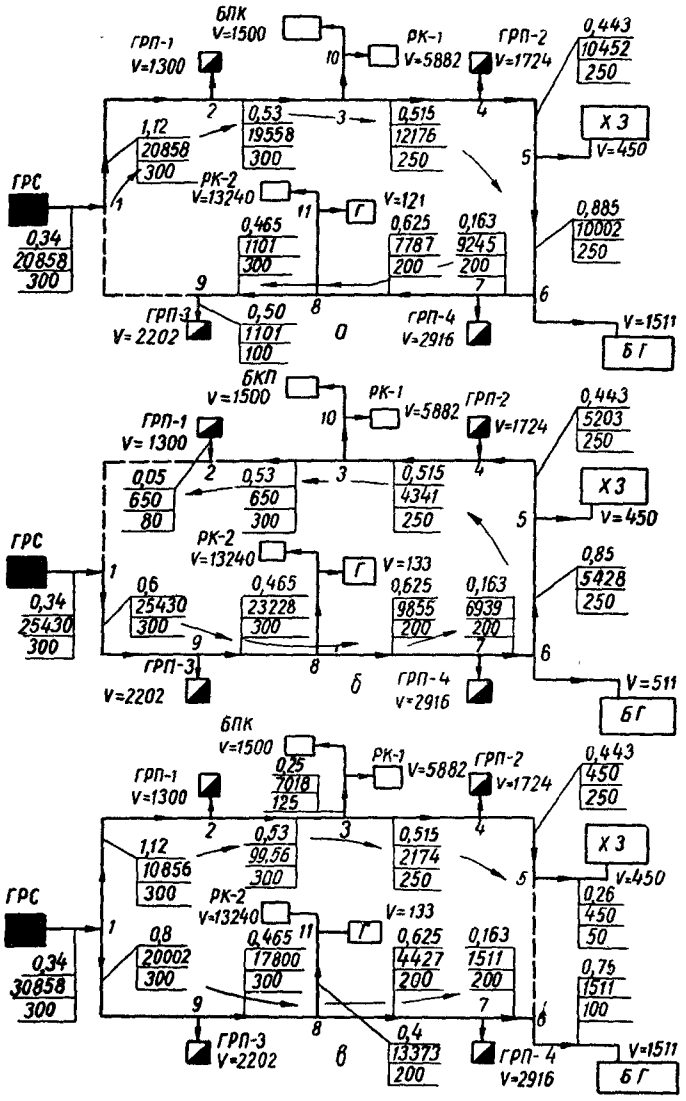


Рис. 10. Расчетные схемы сети среднего давления:

а аварийный режим I; *б* — аварийный режим II; *в* — нормальный режим.

ной стрелки (в обоих случаях считаем, что потребители, присоединенные к поврежденной половине кольца, при аварийном режиме получают 50% от нормальной потребности в газе, остальные — все 100%);

3) нормальный режим.

Расчет аварийного режима I производим в следующем порядке. Составляем расчетную схему кольца при аварийном режиме I (рис. 10, *а*). На схеме показаны все газопроводы среднего давления, ГРС, ГРП и все потребители газа среднего давления. Нумеруем на расчетной схеме все узлы кольца и ответвлений и проставляем длины участков сети.

Далее определяем и проставляем на расчетной схеме расчетные расходы газа по участкам сети.

Расходы газа на отводах к потребителям для верхней половины кольца принимаем равными 100% от расчетных расходов потребителей: к хлебозаводу $V_{5-\text{хз}}=450$ *нм³/ч*, к ГРП-1 $V_{2-\text{грп}=1}=1300$ *нм³/ч* и т. д.; на аварийной половине (нижней) — 50% от расходов потребителей: к гостинице $V_{11-\text{г}}=0{,}5\cdot 133=66$ *нм³/ч*, к ГРП-3 $V_{7-\text{грп}=3}=0{,}5\cdot 2202=1101$ *нм³/ч* и т. д.

Расходы газа на ответвлениях к нескольким потребителям и по участкам кольца определяем как сумму расходов участков, подсоединенных к концу рассчитываемого участка. Вычисления начинаем с конца кольца и выполняем по расчетной схеме:

на участке *8—11* $V_{8-11}=6620+66=6686$ *нм³/ч*;

на участке *7—8* $V_{7-8}=1101+6686=7787$ *нм³/ч*;

на участке *6—7* $V_{6-8}=7787+1458=9245$ *нм³/ч* и т. д.

Далее заполняем расчетную таблицу (табл. 17).

Таблица 17. **Гидравлический расчет сети среднего давления**

Номер участка	Длина, *км*		Расход газа V, *нм³/ч*	Условный диаметр газопровода D_y, *мм*	A	AL_p	Давление на участке, *ата*	
	по плану L	расчетная $L_p=1{,}1\,L$					в начале $P_н$	в конце $P_к$
Аварийный режим I (выключен участок *1—9*) $A_{ср}=\frac{P_и^2-P_к^2}{\Sigma L_p}=\frac{4^2-1{,}5^2}{5{,}61}=2{,}45$								
ГРС—1	0,34	0,37	20858	300	2,2	0,82	4	3,89
1—2	1,12	1,23	20858	300	2,2	2,71	3,89	3,53
2—3	0,53	0,58	19558	300	2,1	1,22	3,53	3,35
3—4	0,515	0,57	12176	250	2,2	1,24	3,35	3,16
4—5	0,443	0,49	10452	250	1,46	0,71	3,16	3,05
5—6	0,855	0,94	10002	250	1,43	1,34	3,05	2,82
6—7	0,163	0,18	9245	200	3,8	0,68	2,82	2,7
7—8	0,625	0,67	7787	200	2,9	1,99	2,7	2,3

Продолжение табл. 17

Номер участка	Длина, км		Расход газа V, нм³/ч	Условный диаметр газопровода D_y, мм	A	AL_p	Давление на участке, ата	
	по плану L	расчетная $L_p = 1{,}1\ L$					в начале $P_н$	в конце $P_к$
8—9	0,465	0,50	1101	300	0,01	0,005	2,3	2,3
9—ГРП-3	0,05	0,055	1101	100	2,8	0,154	2,3	2,26
		$\Sigma L_p = 5{,}61$						

Аварийный режим II (выключен участок *1—2*)

$$A_{ср} = \frac{P_н^2 - P_к^2}{\Sigma L_p} = \frac{4^2 - 1{,}5^2}{5{,}26} = \frac{13{,}75}{5{,}26} = 2{,}62$$

ГРС—1	0,34	0,37	25430	300	4,0	1,5	4	3,8
1—9	0,8	0,88	25430	300	4,0	3,52	3,8	3,31
9—8	0,465	0,50	23228	300	3,1	1,58	3,31	3,06
8—7	0,625	0,69	9855	200	4,1	2,81	3,06	2,56
7—6	0,163	0,18	6939	200	2,0	0,358	2,56	2,5
6—5	0,855	0,94	5428	250	0,4	0,376	2,5	2,42
5—4	0,443	0,49	5203	250	0,37	0,18	2,42	2,38
4—3	0,515	0,57	4341	250	0,23	0,13	2,38	2,36
3—2	0,53	0,58	650	300	0,004	0,0023	2,36	2,36
2—ГРП-1	0,05	0,055	650	80	2,7	0,149	2,36	2,32
		$\Sigma L_p = 5{,}26$						

Нормальный режим

Полукольцо *1—3—5*

$$A_{ср} = \frac{P_н^2 - P_к^2}{\Sigma L_p} = \frac{4^2 - 1{,}5^2}{3{,}525} = 4{,}23$$

ГРС—1	0,34	0,37	30858	300	5,1	1,9	4,0	3,76
1—2	1,12	1,23	10856	300	0,6	0,74	3,76	3,64
2—3	0,53	0,58	9556	300	0,49	0,266	3,64	3,62
3—4	0,515	0,57	2174	250	0,07	0,04	3,62	3,61
4—5	0,443	0,49	450	250	0,005	0,0024	3,61	3,61
5—ХЗ	0,26	0,29	450	50	12	3,43	3,61	3,1
		$\Sigma L_p = 3{,}525$						

Полукольцо *1—8—6*

$$A_{ср} = \frac{P_н^2 - P_к^2}{\Sigma L_p} = \frac{4^2 - 1{,}5^2}{3{,}45} = \frac{13{,}75}{3{,}45} = 4{,}0$$

ГРС—1	0,34	0,37	См. расчет полукольца *1—3—5*					3,76
1—9	0,8	0,88	20002	300	2,1	1,85	3,76	3,5
9—8	0,465	0,50	17800	300	1,8	0,92	3,5	3,38
8—7	0,625	0,69	4427	200	0,9	0,617	3,38	3,24
7—6	0,163	0,18	1511	200	0,11	0,02	3,24	3,24
6—1	0,75	0,83	1511	100	5,1	4,2	3,24	2,48
		$\Sigma L_p = 3{,}45$						

Продолжение табл. 17

Номер участка	Длина, *км*		Расход газа V, *нм³/ч*	Условный диаметр газопровода D_y, *мм*	A	AL_p	Давление на участке. *ата*	
	по плану L	расчетная $L_p = 1{,}1\ G$					в начале $P_н$	в конце $P_к$
Расчет ответвлений								
3—10	0,25	0,275	7382	125	20	5,5	3,62	2,76
10—РК-1	0,04	0,044	5882	125	16	0,705	2,76	2,62
10—БПК	0,23	0,253	1500	80	7	1,77	2,76	2,26
4—ГРП-2	0,05	0,055	1724	100	6,9	0,38	3,61	3,56
7—ГРП-4	0,05	0,055	2916	100	15	0,825	3,24	3,10
8—11	0,40	0,44	13373	200	8,3	3,65	3,38	2,78
11—Г	0,015	0,0165	133	50	0,8	0,013	2,78	2,78
11—РК-2	0,15	0,165	13240	150	20	3,3	2,78	2,12
9—ГРП-3	0,05	0,055	2202	100	11	0,605	3,5	3,41
2—ГРП-1	0,05	0,055	1300	80	11	0,605	3,64	3,56

Диаметры участков сети подбираем, ориентируясь на полученное среднее значение A. При расчетах кольца по аварийным режимам необходимо на одном-трех последних участках кольца принимать заниженные значения A, так как при расчете по другому аварийному режиму по последним участкам будут значительно бóльше расхода газа.

Для определения диаметра участка ГРС-1 пользуемся номограммой на рис. 4. Откладываем на шкале расхода номограммы расход газа по участку ГРС-1, равный 20858 *нм³/ч*, и из полученной точки восстанавливаем перпендикуляр вправо. Откладываем на шкале $\frac{P_н^2 - P_к^2}{L} = A$ величину $A_{ср} = 2{,}45$ и восстанавливаем из этой точки перпендикуляр вверх. Точка пересечения перпендикуляров, как и в большинстве случаев, не попадет на одну из линий диаметров. Поэтому идем по линии того же расхода вправо или влево до точки пересечения с ближней линией диаметром $D_y = 300$ *мм*. Находим для этого диаметра действительное значение $A = 2{,}2$.

Полученные значения D_y и A проставляем в расчетную таблицу и заполняем остальные графы.

Аналогично рассчитываем все остальные участки кольца, только в последнем рассчитываемом участке кольца (участок *8—9*) принимаем завышенный диаметр и незначительное A. В результате получаем диаметры всех участков и все давления в узловых точках при аварийном режиме.

Давление в конечной точке (в данном случае на хлебозаводе) должно быть не менее заданного. Если оно окажется слишком большим, уменьшают диаметр какого-либо участка из числа тех, которые имеют пониженное значение A, и исправляют расчет.

Расчет аварийного режима II выполняем в такой же последовательности. Для потребителей верхней половины кольца расходы принимаем в размере 50% от расчетных и расчет ведем при движении газа против часовой стрелки. Расчетная схема приведена на рис. 10, *б*.

После расчета обоих аварийных режимов принимаем диаметры сети максимальными из двух расчетов. Далее делаем расчет сети при нормальном режиме (рис. 10, *в*), при котором часть потребителей питается по одной половине кольца, а другая часть по другой при 100-процентной нагрузке всех потребителей. Расчет выполнен в той же таблице. Наконец, делаем расчеты всех ответвлений и отводов к потребителям при нормальном режиме.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОЛЬЦЕВОЙ СЕТИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Расчет выполняем для района действия ГРП-4 по методике расчета сложных кольцевых сетей низкого давления.

Составляем расчетную схему сети, питаемой от ГРП-4 (рис. 11). На схеме показываем сеть, ГРП, перемычки к соседним районам, номера и этажность кварталов, нумеруем все узлы разветвления сети слева направо и сверху вниз. Длины участков подсчитываем по генплану города.

Далее определяем путевые и эквивалентные расходы газа по участкам и заносим в расчетную таблицу (табл. 18).

Участок *34—35* подает газ 4-этажным кварталам *48* и *55*, квартал *48* питается от ГРП-2 и в этой таблице не учитывается, участок *36—37* подает газ 1-этажному кварталу *57*. Участок *36—41* подает газ 4-этажному кварталу *56* и 1-этажному *57*; проставляем его дважды: в группу 4-этажных и в группу 1-этажных участков и т. д.

Участки, с которых газ разбирается в обе стороны, но в зоны разной этажности, учитываем дважды, но оба раза как односторонние. Разбор с участка, который питает квартал другого ГРП, пока не учитываем. Например, участок *34—35* питает кварталы *48* и *55*; квартал *48* от ГРП-2 не учитывается, и в таблицу записываем односторонний разбор. Участок *35—40* питает газом два квартала одинаковой этажности — *55* и *56*, т. е. разбор двусторонний. Участок *36—41* питает 4-этажный квартал *56* и 1-этажный *57*, поэтому вписываем его в группу 4-этажных и в группу 1-этажных, оба раза как односторонний.

Далее определяем расчетную длину участков $l_р$ для вычисления путевых расходов газа. Если разбор газа из сети односторонний, то расчетную длину принимаем равной половине длины участка, если двусторонний,— полной длине.

Удельные расходы газа для каждой зоны определяем по формуле (35). Например, из 4-этажных кварталов сеть ГРП-4 обслу-

живает 55 и 56-й с расходом газа $V = 190 + 100 = 290$ *нм*^{3}/*ч*. $\Sigma l_р$ для 4-этажных кварталов равна 1154 *м*. Таким образом,

$$v_l = \frac{290}{1154} = 0{,}25 \text{ нм}^3/\text{ч} \cdot \text{м}.$$

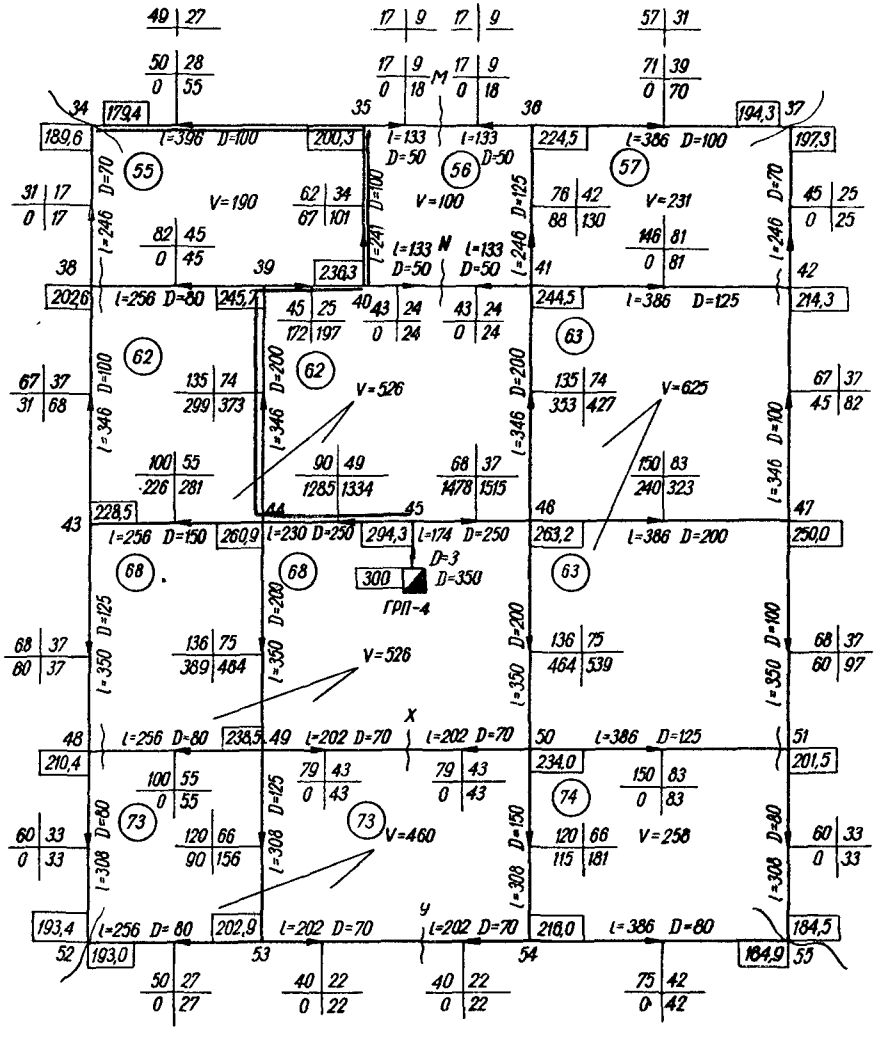


Рис. 11. Расчетная схема сети низкого давления от ГРП-4.

|55| — номер квартала; *34* — номер узла; |189,6| — давление газа в узле *34*. Обозначения расходов газа: $\frac{50}{0}\ \frac{28}{55}$ — 50 — путевой; 28 — эквивалентный; 0 — транзитный; 55 — расчетный.

Таблица 18. **Расчет путевых и эквивалентных расходов**

Номер участка	Длина по плану l, м	Разбор газа	Расчетная длина $l_р$, м	Удельный расход газа v_l, нм³/ч·м	Расход газа на участке, нм³/ч	
					$V_п$	$V_{экв}$
		Зона 4-этажной застройки				
34—35	396	Одностороиний	198		50	28
35—36	266	»	133		33	18
34—38	246	»	123		31	17
35—40	246	Двусторонний	246	0,251	62	34
36—41	246	Односторонний	123		31	17
38—39	256	»	128		32	18
39—40	140	»	70		18	10
40—41	266	»	133		33	18
			1154		290	160
		Зона 1-этажной застройки				
36—37	386	Односторонний	193		71	39
36—41	246	»	123	0,366	45	25
37—42	246	»	123		45	25
41—42	386	»	193		71	39
			632		232	128
		Зона 5-этажной застройки				
38—39	256	Односторонний	128		50	27
39—40	140	»	70		27	15
40—41	266	»	133		52	29
41—42	386	»	193		75	42
38—43	346	»	173		67	37
39—44	346	Двусторонний	346		135	74
41—46	346	»	346		135	74
42—47	346	Односторонний	173		67	37
43—44	256	Двусторонний	256	0,389	100	55
44—45	230	»	230		90	49
45—46	174	»	174		68	37
46—47	386	»	386		150	83
43—48	350	Односторонний	175		68	37
44—49	350	Двусторонний	350		136	75
45-ГРП-2	30	Без разбора	—		—	—
46—50	350	Двусторонний	350		136	75
47—51	350	Односторонний	175		68	37
48—49	256	Двусторонний	256		100	55
49—50	404	»	404		157	86
50—51	386	»	386		150	83
48—52	308	Односторонний	154		60	33
49—53	308	Двусторонний	308		120	66
50—54	308	»	308		120	66
51—55	308	Односторонний	154		60	33
52—53	256	»	128		50	27
53—54	404	»	302		79	43
54—55	386	»	193		75	42
			6151		2395	1317
		Всего от ГРП-4			2917	1605

Путевые расходы газа по участкам определяем по формуле (34). Например, по участку *34—35* $V_п = v_l l_р = 0{,}25 \cdot 198 = 50$ *нм³/ч*; по участку *36—41* в 4-этажной зоне $V_п = 0{,}25 \cdot 133 = 33$ *нм³/ч*, и в 1-этажной $V_п = 0{,}44 \cdot 123 = 55$ *нм³/ч*.

Сумма путевых расходов должна быть равна производительности ГРП без сосредоточенных расходов газа, если они имеются: $\Sigma V_п = 290 + 232 + 2395 = 2917$ *нм³/ч*. Расхождение 2917—2916 = 1 *нм³/ч* допустимо.

Эквивалентные расходы газа по участкам определяем по формуле (36). Например, по участку *34—35* $V_{эк} = 0{,}55\ V_п = 0{,}55 \cdot 50 = 28$ *нм³/ч*. Проверяем правильность определения эквивалентных расходов; их сумма должна быть равна $0{,}55\ V_{ГРП} = 0{,}55 \cdot 2916 = 1604$ *нм³/ч*. Расхождение 1604 — 1599 = 5 *нм³/ч* допустимо.

Далее выбираем и показываем стрелками на схеме направления движения потоков газа по участкам, исходя из условия движения газа по кратчайшим расстояниям, начиная от ГРП к периферии схемы.

Точки *34*, *37*, *52* и *55* являются нулевыми точками, в которых встречаются потоки газа; ставим на них отсечки, обозначающие, что через эти точки газ не проходит.

Участки *35—36*, *40—41*, *49—50* и *53—54* с целью лучшей увязки разбиваем пополам и принимаем на обеих половинах встречное движение газа. В точках *34*, *35* и *36* показываем подвод газа от ГРП-2 к участкам *34—35*, *35—36* и *36—37* для снабжения нижней части кварталов *48*, *49* и *50*. Перемычки к сети ГРП-3 являются чисто резервными; по ним газ не проходит; на расчетной схеме их не показываем.

Намечаем на расчетной схеме основные направления движения газа. Расчет начнем с самого длинного направления ГРП — *44—39—40—35—34*. Затем рассчитываем направление II до той же нулевой точки *34*, направление III и IV — до ближайшей нулевой точки *37* и направления V и VI, VII и VIII.

Движения транзитных расходов по ответвлениям от основных направлений уточняем на расчетной схеме так, чтобы выравнять расходы по различным направлениям. Перед узлами, через которые транзитные расходы не проходят, ставим отсечки. Например, участок *34—38* можно питать газом по двум направлениям: *44—39—38* и *44—43—38*. Так как первое направление загружено больше, принимаем движение газа по направлению *44—43—38*, а на участке *38—39* у узла *38* ставим отсечку, так как газ из участка *38—39* в узел *38* не проходит.

Далее вычисляем на расчетной схеме транзитные расходы газа по участкам как сумму путевых и транзитных расходов участков, подсоединенных к концу рассчитываемого. Участок *34—35* оканчивается нулевой точкой *34*, следовательно, транзитный расход через него не проходит и $V_{т34-35} = 0$. Ставим нуль на схеме под выносной линией слева. Участок *35—36* разделен на две части

отсечкой; транзитный расход по участку *35—36* также равен нулю. Через участок *35—40* проходит газ на участок *34—35* и половину участка *35—36*; транзитный расход по участку $V_{т35-40}$ определяем как сумму соответствующих путевых и транзитных расходов (как сумму чисел, которые в группах расходов стоят слева):

$$V_{т\,35-40} = 50 + 0 + 17 + 0 = 67 \ нм^3/ч.$$

Результат записываем под выносной линией участка *35—40* слева.

Транзитный расход по участку *39—44* определяем как сумму чисел, которые в цифровых группах участков *38—39* и *39—40* стоят слева

$$V_{т\,39-44} = 82 + 0 + 45 + 172 = 299 \ нм^3/ч.$$

Определяем транзитные расходы по направлению II. Участок *34—38* оканчивается нулевой точкой, следовательно, транзитный расход газа через этот участок $V_{т34-38} = 0$. Газ на этот участок подается транзитом через узел *38* в количестве

$$(V_п + V_т)_{34-38} = 31 + 0 = 31 \ нм^3/ч.$$

Этот газ может подаваться через участки *44—39—38* и *44—43—38*. Так как первое направление имеет большую загрузку, то принимаем подачу газа по второму направлению, таким образом, транзитные расходы по участкам составляют: $V_{т38-39} = 0$ и $V_{т38-43} = 31 \ нм^3/ч$.

При необходимости можно распределить этот расход и на оба участка.

Через участок *43—44* проходит газ на участки *38—43* и *43—48*. Предварительно подсчитав транзитный расход $V_{т43-48}$, определяем по формуле (41)

$$V_{т\,43-44} = (V_п + V_т)_{38-43} + (V_п + V_т)_{43-48} = (67 + 31) + (68 + 60) = 226 \ нм^3/ч.$$

Аналогично подсчитываем транзитные расходы по всем участкам сети.

Расчетные расходы газа по участкам подсчитываем на расчетной схеме в соответствии с формулой (39). Для этого в каждой группе чисел, обозначающих расходы, складываем верхнее правое число $V_{эк}$ с нижним левым $V_т$. Так, по участку *34—35* $V = 28+0+27+0=55 \ нм^3/ч$; по половине участка *35—36* $V = 9+0+9+0=18 \ нм^3/ч$. В обоих случаях дополнительно учтен расход газа на кварталы *48* и *49* района ГРП-2.

Проверяем равномерность распределения расходов газа по сети. В данном случае добиться большей равномерности загрузки схемы можно только удлинением пути подачи газа. Например, расход газа по участку *44—49* можно уменьшить, а на участках *43—44* и *43—48* увеличить, если изменить направление движения газа на участке *48—49*, но это нерационально, так как удлинит расстояние передачи газа.

Приступаем к собственно гидравлическому расчету сети, сведенному в расчетную таблицу (табл. 19).

Таблица 19. **Гидравлический расчет сети низкого давления от ГРП-4**

Номер участка	Длина участка		Среднее удельное падение давления $h_{ср}$, *кгс/м²·м*	Расчетный расход газа V, *нм³/ч*	Диаметр $D_у$, *мм*	Падение давления, *кгс/м²*		Давление в узле $P_{уз}$, *кгс/м²*
	действительная l, *м*	расчетная $l_р$, *м*				на 1 *м* h	на участке $hl_р$	
Направление I (ГРП—44—39—40—35—34)								
ГРП—45	50	55		2921	350	0,104	5,7	294,3
45—44	230	253		1334	250	0,132	33,4	260,9
44—39	346	381		373	200	0,04	15,2	245,7
39—40	140	154	0,077	197	150	0,061	9,4	236,3
40—35	246	271		101	100	0,133	36,0	200,3
35—34	396	436		56	100	0,048	20,9	179,4
		1550					120,6	
Направление II (ГРП—43—34)								
ГРП—45—44	—	—		См. расчет направления I			39,1	260,9
44—43	256	282	0,08	281	150	0,115	32,4	228,5
43—38	346	381		68	100	0,068	25,9	202,6
38—34	346	381		17	70	0,034	13,0	189,6
		1044					110,4	
Невязка $\frac{120,6-110,4}{120,6}\cdot 100 = 8,5\%$								
Перемычки								
39—38	256	282	0,15	45	70	0,183	51,5	194,2
35—M	133	146	0,14	18	50	0,125	18,3	182,0
40—N	133	146	0,39	24	50	0,20	29,2	207,1
Направление III (ГРП—46—37)								
ГРП—45	—	—		См. расчет направления I			5,7	294,3
45—46	174	191	0,91	1515	250	0,163	31,1	263,2
46—41	346	380		427	200	0,05	19	244,5
41—36	246	270		129	125	0,074	20	224,5
36—37	386	425		70	100	0,071	30,2	194,3
		1321					106	
Направление IV (ГРП—47—37)								
ГРП—45—46	—	—		См. расчет направления I			36,8	263,2
46—47	386	425	0,08	383	200	0,031	13,2	250
47—42	346	380		82	100	0,094	35,7	214,3
42—37	246	270		25	70	0,065	17,0	197,3
		1075					102,7	
Невязка $\frac{106-102,7}{106}\cdot 100 = 3,1\%$								

Продолжение табл. 19

Номер участка	Длина участка		Среднее удельное падение давления $h_{ср}$, кгс/м²·м	Расчетный расход газа V, нм³/ч	Диаметр $D_у$, мм	Падение давления, кгс/м²		Давление в узле $P_{уз}$, кгс/м²
	действительная l, м	расчетная $l_р$, м				на 1 м h	на участке $hl_р$	
Перемычки								
41—42	386	425	0,071	81	125	0,033	14,0	230,5
36—M	133	146	0,30	18	50	0,125	18,3	206,2
41—N	133	146	0,44	24	50	0,20	29,2	215,3
Направление V (ГРП—43—52)								
ГРП—45_43	—	—	0,067	См. расчет направления II			71,5	228,5
43—48	350	385		97	125	0,047	18,1	210,4
48—52	308	339		33	80	0,05	17,0	193,4
		724					106,6	
Направление VI (ГРП—44—53—52)								
ГРП—45_44	—	—	0,08	См. расчет направления I			39,1	260,9
44—49	350	385		464	200	0,058	22,4	238,5
49—53	308	339		156	125	0,105	35,6	202,9
53—52	256	282		27	80	0,035	9,9	193,0
		1006					107,0	
Невязка $\frac{107-106,6}{107}\cdot 100=0,37\%$								
Перемычки								
53—9	202	222	0,103	22	70	0,104	11,3	191,6
49—48	256	282	0,1	55	80	0,115	29,4	209,1
49—X	202	222	0,264	43	70	0,175	38,8	199,7
Направление VII (ГРП—46—54—55)								
ГРП—45_46	—	—	0,072	См. расчет направления IV			36,8	263,2
46—50	350	385		539	200	0,076	29,2	234,0
50—54	308	339		181	150	0,053	18	216,0
54—55	386	425		42	80	0,073	31,1	184,9
		1149					115,1	
Направление VIII (ГРП—47—55)								
ГРП—45_47	—	—	0,097	См. расчет направления IV			50,0	250
47—51	350	385		97	100	0,126	48,5	201,5
51—55	308	339		33	80	0,05	17,0	184,5
		724					115,5	
Невязка $\frac{115,5-115,1}{115,5}\cdot 100=0,3\%$								
Перемычки								
50 51	386	425	0,076	83	125	0,077	14,4	219,6
50 X	202	222	0,24	43	70	0,175	38,8	195,2
50 У	202	222	0,162	22	70	0,051	11,3	204,7

Расчетные длины участков определяем по формуле $l_р = 1{,}1\,l$, где коэффициент $\alpha = 1{,}1$ учитывает падение давления в местных сопротивлениях, и подсчитываем суммарную расчетную длину направления I от ГРП до нулевой точки — узла *34* — без учета длин боковых ответвлений $\Sigma l_р = 1550$ *м*. Эта расчетная длина служит для определения потерь давления в газопроводах (расчетная длина, полученная в табл. 18, служит для определения путевых расходов газа).

Среднюю удельную потерю давления на рассчитываемом направлении I определяем по формуле (29); расчетный перепад давления в распределительных сетях низкого давления принимаем по табл. 10.

Диаметры участков сети подбираем по номограмме рис. 3, *а*. Диаметры участков принимаем такие, которые при расчетных расходах газа имеют значение h, наиболее близкое к значению $h_{ср}$. Например, по участку ГРП — *45* расчетный расход $V = 2921$ *нм³/ч*; при этом расходе имеем следующие значения h и $D_у$:

при $D_у = 350$ *мм* $h = 0{,}104$ *кгс/м²·м*;

при $D_у = 400$ *мм* $h = 0{,}058$ *кгс/м²·м*.

Принимаем ближайшее значение $D_у = 350$ *мм* и $h = 0{,}104$ *кгс/м²·м*.

Падение давления на участках определяем по формуле (31). Например, по участку ГРП — *45* $\Delta P = hl_р = 0{,}104 \cdot 55 = 5{,}7$ *кгс/м²*.

Суммарное падение давления по направлению I $\Sigma hl_р = 120{,}6$ *кгс/м²* получилось незначительно больше допустимого.

Аналогично рассчитываем направление II к той же нулевой точке. Данные по участкам ГРП — *45* и *44—45* уже получены при расчете направления I.

Суммарное падение давления по направлению II равно 110,4 *кгс/м²*, имеем запас по давлению 120—110,4 = 9,6 *кгс/м²*. Проверяем, нельзя ли использовать его для уменьшения диаметров на каком-либо участке. При этом участки ГРП — *45* и *44—45* пересчитывать нельзя, так как нарушится расчет направления I. Пробуем пересчитать участок *38—34*. Если принять $D_у = 50$ *мм*, получим $h = 0{,}112$ *кгс/м²·м*, $hl_р = 42$ *кгс/м²* и $\Delta P = 139{,}4$ *кгс/м²* вместо допустимых 120 *кгс/м²*. Следовательно, уменьшать диаметры нельзя; принимаем диаметры по таблице.

Чтобы сеть работала при принятом на расчетной схеме распределении потоков газа, потери давления по всем направлениям должны быть равны (допускается невязка до 10%). Определяем невязку расчета по направлениям I и II.

Так как невязка меньше 10% (8,5%), расчет обоих направлений считаем правильным. При работе такой сети произойдет некоторое перераспределение расходов в сети сравнительно с принятым и будет достигнуто полное равенство потерь давления по всем направлениям.

Определяем давление газа в узлах сети. Давление на выходе из ГРП равно 300 *кгс/м²*. Давление газа в конце участка равно давлению газа в начале участка за вычетом потери давления на участке. Например, в узле *45*

$$P_{45} = P_{\text{ГРП}} - (hl_p)_{\text{ГРП}-45} = 300 - 5{,}7 = 294{,}3 \ кгс/м^2.$$

Затем рассчитываем участки, лежащие между направлениями I и II, по разнице давлений на концах участка. Разность давлений на концах участков *38—39*

$$P_{38-39} = P_{39} - P_{38} = 245{,}7 - 202{,}6 = 43{,}1 \ кгс/м^2.$$

Допустимая удельная потеря давления на участке

$$h_д = \frac{\Delta P}{l_p} = \frac{43{,}1}{282} = 0{,}15.$$

По номограмме на рис. 3 ближайшее значение $h = 0{,}183$ будет при диаметре $D_y = 70$ *мм*. Потеря давления на участке

$$hl_p = 0{,}183 \cdot 282 = 51{,}5 \ кгс/м^2;$$

давление в конце участка

$$P_{38} = P_{39} - hl_p = 245{,}7 - 51{,}5 = 194{,}2 \ кгс/м^2,$$

в то время как давление в узле *38*, полученное при расчете направления II, было $P_{38} = 202{,}6$ *кгс/м²*. Невязка $202{,}6 - 194{,}2 = 8{,}4$ *кгс/м²* допустима.

Аналогично рассчитываем все другие направления и перемычки между ними. По участкам, рассчитанным ранее, в расчетную таблицу вписываются только результаты этих расчетов.

При увязке всех направлений расчет сети считается оконченным.

Выбор типового ГРП производим по ранее определенным данным:

при нормальном режиме производительность $V = 2916$ *нм³/ч*, начальное давление $P_1 = 3{,}1$ *ата*, конечное $P_2 = 1{,}03$ *ата*;

при аварийном режиме I производительность $V = 1458$ *нм³/ч*, начальное давление $P_1 = 2{,}65$ *ата*, конечное $P_2 = 1{,}03$ *ата*;

при аварийном режиме II производительность $V = 2916$ *нм³/ч*, начальное давление $P_1 = 2{,}4$ *ата*, конечное $P_2 = 1{,}03$ *ата*.

Для городских систем газоснабжения принимают типовые ГРП по диаметру регулятора (см. табл. 7) без измерения расхода газа. Диаметр регулятора определяют по максимальной производительности при минимальном начальном давлении; это будет аварийный режим II.

Определяем отношение давлений

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1{,}03}{2{,}40} = 0{,}425 < 0{,}55.$$

При отношении давлений меньше критического

$$V = 1{,}57\, V_{\text{п}} \frac{P_1}{\sqrt{\gamma}} .$$

Отсюда минимально необходимое значение $V_{\text{п}}$ с коэффициентом 0,8, учитывающим верхний предел устойчивости регулятора

$$V_{\text{п}} = \frac{V\sqrt{\gamma}}{0{,}8 \cdot 1{,}57 \cdot P_1} = \frac{2916\sqrt{0{,}73}}{0{,}8 \cdot 1{,}57 \cdot 3{,}1} = 639 \ нм^3/ч.$$

По табл. 12 по полученной $V_{\text{п}}$ подбираем регулятор типа РДУК2-100, $d = 50$ *мм*, $V_{\text{п}} = 650$ $нм^3/ч$.

Действительная максимальная пропускная способность регулятора $V_{\max} = 1{,}57\ V_{\text{п}} \frac{P_1}{\sqrt{\gamma}} = 1{,}57 \cdot 650 \cdot \frac{3{,}1}{\sqrt{0{,}73}} = 3704$ $нм^3/ч$.

Пределы устойчивой работы регулятора

$V = (0{,}1 \div 0{,}8)\ V_{\max} = (0{,}1 \div 0{,}8) \cdot 3704 = 370 \div 2960$ $нм^3/ч$.

Окончательно по табл. 10 принимаем ГРП без измерения расхода газа с одним регулятором давления РДУК2-100; это будет тип ГРП-8.

УСТРОЙСТВО ВНУТРЕННЕГО ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Система газоснабжения зданий состоит из ввода в здание, внутренних сетей, газопотребляющих приборов и установок, а иногда (в коммунальных и промышленных зданиях) газорегулировочных установок.

В жилых и общественных зданиях, детских и лечебных учреждениях, учебных заведениях, предприятиях общественного питания допускается использование газа только низкого давления: природного газа — до 0,03 *кгс/см*^{2}, искусственного — до 0,02 *кгс/см*^{2}, жидкого — до 0,04 *кгс/см*^{2}. Подача газа производится от городских сетей низкого давления. Допускается подсоединение жилых и общественных зданий к сети давлением до 6 *кгс/см*^{2} через ГРУ, расположенную снаружи здания.

В котельных и коммунальных предприятиях (банях, прачечных, хлебозаводах, мастерских и т. п.), расположенных в отдельно стоящих зданиях, допускается применение газа с давлением до 6 *кгс/см*^{2}.

В цехах промышленных предприятий допускается давление до 6 *кгс/см*^{2}. Давление 12 *кгс/см*^{2} допускается только в тех случаях, когда это давление необходимо по условиям производства.

В жилых домах приходится делать отдельные вводы в каждую секцию и устанавливать стояки для распределения газа по этажам. Вводы устраиваются в нежилые помещения, доступные для осмотра газопроводов — лестничные клетки, кухни, коридоры. Устройство вводов в подвалы допускается при условии, что длина газопроводов в подвале будет не более 12 *м*. При подземной прокладке лучшим будет ввод в лестничные клетки; при воздушной прокладке по стене здания и размещении кухонь со стороны двора целесообразным являются вводы в кухни; при прокладке квартальной сети по техническим подпольям или техническим коридорам ввод делается в кухни или лестничные клетки через перекрытия над подвалами.

Газовые плиты и таганы разрешается устанавливать в кухнях высотой не менее 2,2 *м*, имеющих окно с форточкой или фрамугой и вентиляционный канал, кубатурой помещения не менее 8 *м*^{3} на две конфорки, 12 *м*^{3} — на три конфорки и 15 *м*^{3} — на четыре конфорки. В существующих зданиях допускается установка плит и таганов в кухнях, не имеющих вентиляционных каналов, при расположении форточки или фрамуг в верхней части окон и в

кухнях без окон при наличии в них вентиляционных каналов и окна с форточкой или фрамугой в смежном нежилом помещении, в которое имеется выход из кухни.

Газовые водонагреватели с отводом продуктов сгорания в дымоходы могут устанавливаться в ванных комнатах, совмещенных санитарных узлах при объеме не менее 7,5 $м^3$ и наличии вентиляционных каналов в кухнях и кубовых.

Отопительные котлы и емкостные водонагреватели могут

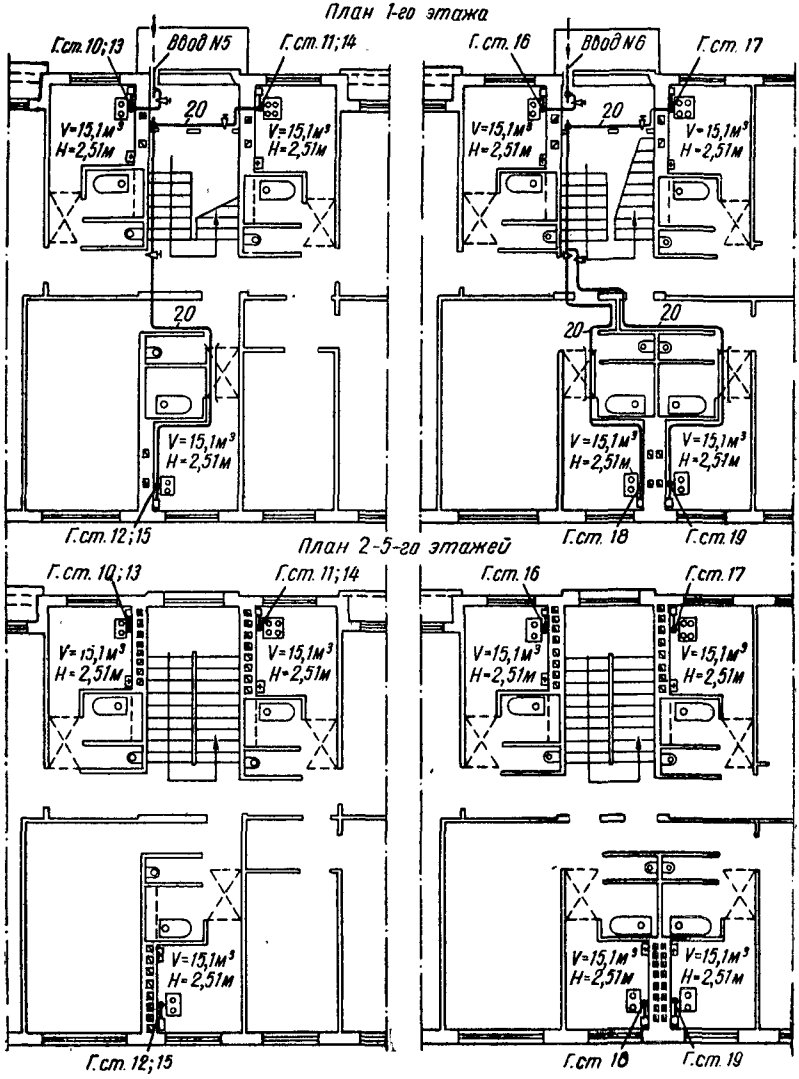


Рис. 12. План газовой сети 5-этажного 30-квартирного дома серии 1-464

устанавливаться в нежилых помещениях объемом не менее 7,5 $м^3$ или в кухнях объемом на 6 $м^3$ сверх необходимого для газовых плит. В обоих случаях должны быть соблюдены все требования по вентиляции этих помещений. В кухнях, ванных, совмещенных

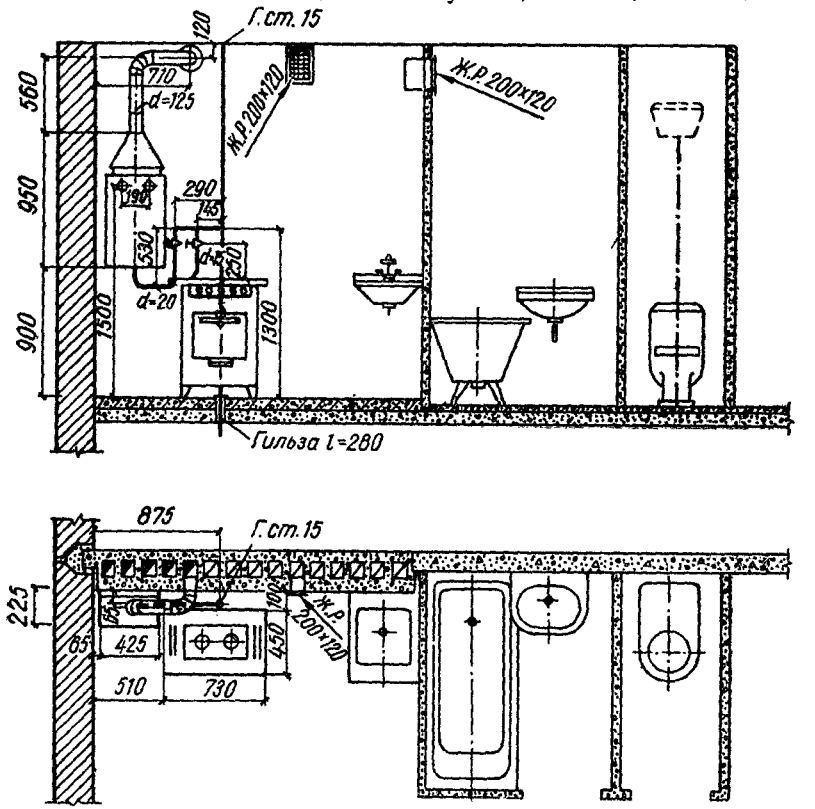


Рис. 13. Размещение газового оборудования в квартире жилого дома серии 1-464.

санитарных узлах и кубовых установка газовых приборов не допускается, если они расположены в подвальных помещениях без естественного освещения или если они расположены в цокольных и подвальных помещениях при газоснабжении жидкими газами.

Стояки могут размещаться в лестничных клетках или кухнях (если кухни размещаются одна над другой). По особому согласованию с Госгортехнадзором разрешается устанавливать стояки в коридорах. Прокладка стояков в жилых помещениях не допускается. Расположение стояков выбирается из условий сокращения длины домовой сети. При расположении стояков в лестничных клетках увеличивается длина отводов к квартирам, но зато уменьшается количество стояков и их суммарная длина.

На рис. 12—14 показан один из лучших вариантов устройства газоснабжения жилых домов, примененный в типовом проекте серии 1-464. Вводы запроектированы в лестничных клетках, стояки размещены в кухнях. Размещение приборов отличается компактностью и удобством обслуживания. Подводка к приборам имеет минимальную длину.

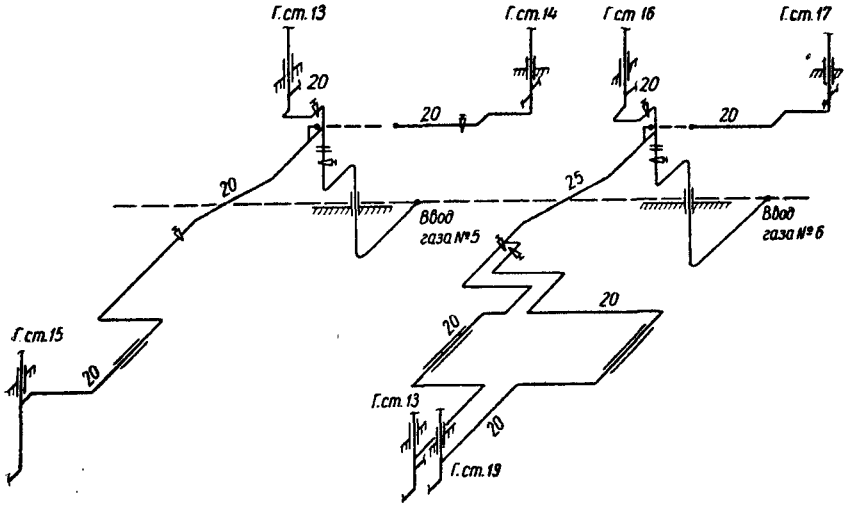


Рис. 14. Разводка газопроводов к стоякам жилого дома серии 1-464.

Газовые сети общественных, коммунальных и промышленных зданий обычно несколько проще, чем жилых домов. В таких зданиях обычно делается один ввод (желательно в помещение, в котором установлены газовые приборы), и газ подается в одно-два помещения (кухня, бытовые помещения, котельная) с небольшим количеством приборов.

Газорегуляторные установки в коммунальных и промышленных зданиях и в отдельно стоящих отопительных котельных могут размещаться непосредственно в помещениях, где находятся агрегаты, потребляющие газ, или в смежных помещениях. В помещениях жилых, общественных зданий, лечебных учреждений и учебных заведений размещение ГРУ не разрешается (кроме встроенных отопительных котельных, в которых допускается размещение ГРУ при давлении до 3 *кгс/см*^{2}).

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ВНУТРЕННИХ СЕТЕЙ

Расчетные расходы газа по сетям жилых, общественных зданий и цехов промышленных предприятий определяются по номинальным расходам газа приборами. Расчетные перепады давления

в дворовых (квартальных) и домовых сетях низкого давления жилых и общественных зданий и предприятий бытового обслуживания принимаются по табл. 10 в зависимости от этажности присоединяемых зданий, для промышленных цехов и коммунальных предприятий — в зависимости от располагаемого давления в месте подключения и допускаемого диапазона колебаний тепловой нагрузки агрегатов. Для многоэтажных зданий необходимо учитывать гидростатическое давление в стояках.

Потери давления в местных сопротивлениях можно учитывать при помощи коэффициентов местных сопротивлений и эквивалентных длин местных сопротивлений или введением процентной надбавки к потерям на трение.

Надбавки к потерям на трение для учета местных сопротивлений, проц. (СНиП II-Г. 11—66)

На газопроводах от ввода в здание до стояка .	25
На стояках	20
На внутриквартирной разводке при длине разводки 1—2 *м*	450
То же, 3—4 *м*	200
» 5—7 *м*	120
» 8—12 *м*	50

Пример 24. Определить расходы газа и рассчитать внутренний газопровод жилого дома (см. рис. 12).

Расчет начинаем от самого верхнего и самого дальнего прибора в здании для стояка с максимальной нагрузкой — Г.ст.19. Расчетная схема стояка 19 с подводкой от ввода показана на рис. 15.

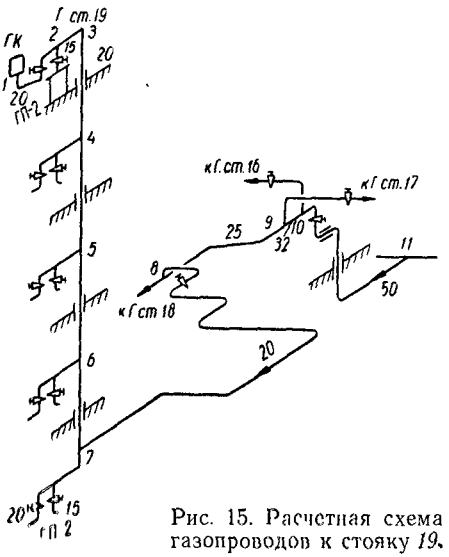


Рис. 15. Расчетная схема газопроводов к стояку *19*.

На расчетной схеме проставляем номера узловых точек от самого дальнего верхнего прибора до ввода в здание и определяем расходы газа по участкам домовой сети по номинальным расходам газа приборами (табл. 20). Ассортименты приборов, устанавливаемых в квартирах, условно обозначены: ГК — газовый быстродействующий водонагреватель; П-2 — плита 2-комфорочная; П-4 — плита 4-конфорочная.

Если в разных квартирах устанавливаются различные приборы, каждый такой ассортимент указывается отдельно (см. участки *9—10* и *10—11*).

Таблица 20. **Определение расчетных расходов газа в домовой сети (Расчет сети стояка *19*)**

Номер участка	Ассортимент приборов	Количество квартир	Коэффициент одновременности, K_0	Расход газа, *нм³/ч*	
				на все квартиры	расчетный V
1—2	ГК	—	1,0	2,7	2,7
2—3	П-2+ГК	1	0,75	2,55	2,55
3—4	П-2+ГК	1	0,75	2,55	2,55
4—5	П-2+ГК	2	0,48	3,26	3,26
5—6	П-2+ГК	3	0,37	3,78	3,78
6—7	П-2+ГК	4	0,325	4,4	4,4
7—8	П-2+ГК	5	0,29	4,95	4,95
8—9	П-2+ГК	10	0,23	7,8	7,8
9—10	П-2+ГК	10	0,2	6,8	10,43
	П-4+ГК	5	0,19	3,63	
10—11	П-2+ГК	15	0,19	9,7	13,16
	П-4+ГК	5	0,181	3,46	

Коэффициенты одновременности определяем по табл. 2 в зависимости от ассортимента установленных приборов. Так как участок *9—10* питает 10 квартир с ассортиментом П-2+ГК и 5 квартир с ассортиментом П-4+ГК, коэффициент одновременности принимаем для каждой группы квартир отдельно, но по суммарному количеству квартир по 15 для каждой группы.

Определяем расход газа одним прибором из числа установленных в доме.

Расчетные расходы определяем по формуле (3). Участок *1—2* питает одну газовую колонку; расчетный расход

$$V = K_0 (v_п + v_{ГК}) n = 1 \cdot 2{,}7 \cdot 1 = 2{,}7 \ нм^3/ч.$$

Участки *2—3* и *3—4* питают одну квартиру с ассортиментом П-2+ГК

$$V = 0{,}75 \cdot 3{,}4 \cdot 1 = 2{,}55 \ нм^3/ч.$$

Участок *4—5* питает 2 квартиры с ассортиментом П-2+ГК

$$V = 0{,}48 \cdot 3{,}4 \cdot 2 = 3{,}26 \ нм^3/ч.$$

Аналогично определяем расчетный расход по участкам *5—6*, *6—7*, *7—8*, *8—9*.

Участки *9—10* и *10—11* питают квартиры с приборами двух ассортиментов. Расход газа для 10 квартир с ассортиментом П-2+ГК

$$V = 0{,}2 \cdot 3{,}4 \cdot 10 = 6{,}8 \ нм^3/ч;$$

для 5 квартир с ассортиментом П-4+ГК

$$V = 0{,}19 \cdot 3{,}83 \cdot 5 = 3{,}63 \ нм^3/ч.$$

Сумма расходов по участку *9—10* составит

$$V = 6{,}8 + 3{,}63 = 10{,}43 \ нм^3/ч;$$

по участку *10—11*

$$V = 9{,}7 + 3{,}46 = 13{,}16 \ нм^3/ч.$$

После определения всех расчетных расходов по участкам переходим к гидравлическому расчету газопроводов. Расчетный перепад давления для домовой сети многоэтажных зданий по табл. 10 $\Delta P = 35 \ кгс/м^2$. Расчет выполняем в расчетной таблице (табл. 21).

Таблица 21. **Гидравлический расчет домовых газопроводов (Расчет сети к стояку *19*)**

Номер участка	Расчетный расход газа V, $нм^3/ч$	Длина участка l, $м$	Надбавка на местные сопротивления a, проц.	Расчетная длина $l_р$, $м$	Среднее удельное падение давления $h_{ср}$, $кгс/м^2 \cdot м$	Условный диаметр газопровода $D_у$, $мм$	Удельное падение давления h, $кгс/м^2 \cdot м$	Сопротивление участка $h\,l_р$, $кгс/м^2$	Гидростатическое давление $H_г$, $кгс/м^2$	Падение давления на участке $h\,l_р + H_г$, $кгс/м^2$
1—2	2,7	1,2	450	6,6		20	0,337	2,2	0	2,2
2—4	2,55	3,15	20	3,77		20	0,31	1,2	—1,7	—0,5
4—5	3,26	3,0	20	3,6		20	0,475	1,7	—1,7	0,0
5—6	3,78	3,0	20	3,6		20	0,61	2,2	—1,7	0,5
6—7	4,4	3,0	20	3,6	0,67	20	0,811	2,9	—1,7	1,2
7—8	4,95	12	25	15		20	1,0	15	0	15
8—9	7,8	4	25	5		25	0,74	3,7	0	3,7
9—10	10,43	0,8	25	1		32	0,303	0,3	—0,8	—0,5
10—11	13,16	7,5	25	9,38		50	0,072	0,7	—1,1	—0,4
		$\Sigma\, l_р = 51{,}55$						$\Sigma\,(h\,l_р + H_г) = 21{,}2$		

Длину участков определяем по чертежу здания, проставляем процентную надбавку a, учитывающую потерю давления в местных сопротивлениях, и определяем расчетную длину участков. Например, расчетная длина участка *1—2*

$$l_р = l\left(1 + \frac{a}{100}\right) = 1{,}2 \cdot \left(1 + \frac{450}{100}\right) = 6{,}6 \ м.$$

Подсчитываем сумму расчетных длин всех участков сети $\Sigma l_р = 51{,}55 \ м$ и вычисляем среднее удельное падение давления

$$h_{ср} = \frac{\Delta P}{\Sigma l_р} = \frac{35}{51{,}55} = 0{,}67 \ кгс/м^2 \cdot м.$$

Далее приступаем к подбору диаметров сети по номограмме на рис. 3, *а*; при расчетных расходах газа действительные удельные падения давления на участках должны приближаться к среднему $h_{ср} = 0{,}67 \ кгс/м^2 \cdot м$; при этом диаметры газопроводов не должны быть меньше присоединительных диаметров приборов. В данном случае для газовой колонки $D_у = 20 \ мм$.

Для участка *1—2* принимаем диаметр 20 *мм*. По рис. 3, *а* на-

ходим $h=0{,}337$ *кгс/м²·м* и проставляем эти значения $D_у$ и h в соответствующие графы табл. 21.

Для участка *2—4* при расходе газа 3,55 *нм³/ч* и при $D_у=20$ *мм* по рис. 3, *а* находим $h=0{,}31$ *кгс/м²·м*, а при $D_у=25$ *мм* $h=0{,}098$ *кгс/м²·м*. Принимаем диаметр $D_у=20$ *мм*, имеющий значение $h=0{,}31$, ближайшее к среднему.

Аналогично подбираем диаметры для остальных участков.

Сопротивление на участках определяем по формуле (31). Например, на участке *1—2*

$$\Delta P = hl_р = 6{,}6 \cdot 0{,}337 = 2{,}2 \text{ кгс/м}^2.$$

Гидростатические давления на вертикальных участках определяем по формуле (28). Для участков *2—4*, *4—5*, *5—6* и *6—7*

$$H_г = Z\,(1{,}293 - \gamma_г) = 3 \cdot (1{,}293 - 0{,}73) = 1{,}7 \text{ кгс/м}^2.$$

Для горизонтальных участков $H_г = 0$.

Определив общую величину падения давления газа на участках $hl_р + H_г$, подсчитываем суммарное падение давления на всех последовательно присоединенных участках

$$\Sigma\,(hl_р + H_г) = 21{,}2 \text{ кгс/м}^2.$$

Суммарное падение давления не должно превышать расчетного перепада давления для домовой сети.

РАСЧЕТ ГОРЕНИЯ ГАЗА

При расчетах, связанных с процессами горения, теплопередачи, газовых сопротивлений приходится определять количество воздуха, необходимое для горения, количество образующих продуктов сгорания и их вес.

Теоретически необходимый расход воздуха для сжигания 1 $нм^3$ газа

$$L_0 = 0{,}0476 \left[0{,}5CO + 0{,}5H_2 + \Sigma\left(m + \frac{n}{4}\right) C_mH_n + 1{,}5H_2S - O_2\right] \frac{нм^3 \text{ воздуха}}{нм^3 \text{ газа}}. \quad (43)$$

Для природных газов L_0 можно определить по его углеродному числу

$$L_0 = 7{,}13\bar{n} + 2{,}28 \ нм^3/нм^3, \quad (44)$$

где $\bar{n}$ — углеродное число смеси метановых углеводородов и балласта;

$$\bar{n} = \frac{1 \cdot CH_4 + 2C_2H_6 + 3C_3H_8 + 4C_4H_{10}}{100 - (CO_2 + N_2)}. \quad (45)$$

Действительный расход воздуха, необходимый для сжигания 1 $нм^3$ газа,

$$L_д = \alpha L_0 \ нм^3/нм^3, \quad (46)$$

где α — коэффициент избытка воздуха.

Количество продуктов сгорания (дымовых газов) на 1 $нм^3$ сжигаемого газа определяется по следующим формулам:

теоретический объем азота при $\alpha = 1{,}0$

$$V^0_{N_2} = 0{,}79L_0 + 0{,}01N_2 \ нм^3/нм^3; \quad (47)$$

объем трехатомных газов при $\alpha = 1{,}0$ и $\alpha > 1{,}0$

$$V_{RO_2} = 0{,}01 (CO_2 + CO + \Sigma mC_mH_n + H_2S) \ нм^3/нм^3; \quad (48)$$

теоретический объем водяных паров при $\alpha = 1{,}0$ и при влажности воздуха $d_в = 10$ $г$ на 1 $кг$ сухого воздуха

$$V^0_{H_2O} = 0{,}01 (H_2 + 0{,}5\Sigma nC_mH_n + H_2S + 0{,}124d + 1{,}61L_0) \ нм^3/нм^3; \quad (49)$$

объем водяных паров при $\alpha > 1{,}0$

$$V_{H_2O} = V^0_{H_2O} + 0{,}0161 (\alpha - 1) L_0 \ нм^3/нм^3. \quad (50)$$

Полный объем дымовых газов, образующихся при сжигании 1 $нм^3$ газа,

$$V_г = V_{RO_2} + V^0_{N_2} + V_{H_2O} + (\alpha - 1) L_0 \ нм^3/нм^3. \quad (51)$$

Удельный вес сухого газа (топлива)

$$\gamma_c = 0{,}01\,[1{,}96CO_2 + 1{,}25N_2 + 1{,}43O_2 + 1{,}25CO + 0{,}0899H_2 + + \Sigma\,(0{,}536\,m + 0{,}045n)\,C_mH_n + 1{,}52H_2S] \ т/нм^3. \quad (52)$$

Удельный вес природного газа можно определить по его углеродному числу

$$\gamma = 0{,}625\bar{n} + 0{,}090 \ кг/нм^3. \quad (53)$$

Вес дымовых газов

$$G_г = \gamma_c + \frac{d}{1000} + 1{,}306\alpha L_0 \ кг/нм^3. \quad (54)$$

Влажность осушенного природного газа d можно принимать 10,1 $г/нм^3$. Удельный вес дымовых газов

$$\gamma_г = \frac{G_г}{V_г} \ кг/нм^3. \quad (55)$$

Пример 25. Определить расход воздуха и объем продуктов сгорания при различных коэффициентах избытка воздуха α для сухого природного газа следующего состава (проц. по объему):

Метан (CH_4)	92,9	Бутан (C_4H_{10}) и высшие углеводороды (C_mH_n) . .	0,6
Этан (C_2H_6)	4,5	Азот (N_2)	0,5
Пропан (C_3H_8) . . .	0,8	Углекислота (CO_2) . .	0,1

Теплота сгорания газа $Q^c_н = 8500$ $ккал/нм^3$; удельный вес газа $\gamma = 0{,}79$ $кг/нм^3$; влажность газа принимаем $d = 10{,}1$ $г/нм^3$.

Для данного состава сухого природного газа теоретический расход воздуха по формуле (43) равен

$$L_0 = 0{,}0476\left[\Sigma\left(m + \frac{n}{4}\right)C_mH_n\right] = 0{,}0476 \cdot \left[\left(1 + \frac{4}{4}\right)CH_4 + + \left(2 + \frac{6}{4}\right)C_2H_6 + \left(3 + \frac{8}{4}\right)C_3H_8 + \left(4 + \frac{10}{4}\right)C_4H_{10} + + \left(5 + \frac{12}{4}\right)C_5H_{12}\right] = 0{,}0476 \cdot (2 \cdot 92{,}9 + 3{,}5 \cdot 4{,}5 + 5 \cdot 0{,}8 + + 6{,}5 \cdot 0{,}6 + 8 \cdot 0{,}6) = 10{,}20 \ нм^3/нм^3$$

Теоретический объем азота по формуле (47)

$$V^0_{N_2} = 0{,}79L_0 + 0{,}01N_2 = 0{,}79 \cdot 10{,}2 + 0{,}01 \cdot 0{,}5 = 8{,}06 \ нм^3/нм^3.$$

Объем трехатомных газов по формуле (48)

$$V_{RO_2} = 0{,}01\,(CO_2 + \Sigma mC_mH_n) = 0{,}01 \cdot (0{,}1 + 92{,}9 + 2 \cdot 4{,}5 + + 3 \cdot 0{,}8 + 4 \cdot 0{,}6 + 5 \cdot 0{,}6) = 1{,}10 \ нм^3/нм^3.$$

Теоретический объем водяных паров по формуле (49)

$$V^0_{H_2O} = 0{,}01\,(0{,}5\Sigma n C_m H_n + 0{,}124d + 1{,}61L_0) =$$
$$= 0{,}01 \cdot [0{,}5\,(4 \cdot 92{,}9 + 6 \cdot 4{,}5 + 8 \cdot 0{,}8 + 10 \cdot 0{,}6 + 12 \cdot 0{,}6) +$$
$$+ 0{,}124 \cdot 10{,}1 + 1{,}61 \cdot 10{,}2] = 2{,}27 \ нм^3/нм^3.$$

Удельный вес сухого газа (топлива) по формуле (52), разворачивая углеводороды в ряд, получим

$$\gamma_c = 0{,}01\,[(0{,}536 \cdot 1 + 0{,}045 \cdot 4)\,CH_4 + (0{,}536 \cdot 2 + 0{,}045 \cdot 6)\,C_2H_6 +$$
$$+ (0{,}536 \cdot 3 + 0{,}045 \cdot 8)\,C_3H_8 + (0{,}536 \cdot 4 + 0{,}045 \cdot 10)\,C_4H_{10} +$$
$$+ (0{,}536 \cdot 5 + 0{,}045 \cdot 12)\,C_5H_{12} + 1{,}25N_2 + 1{,}96CO_2] =$$
$$= 0{,}01 \cdot [0{,}716 \cdot 92{,}9 + 1{,}342 \cdot 4{,}5 + 1{,}968 \cdot 0{,}8 + 2{,}594 \cdot 0{,}6 +$$
$$+ 3{,}26 \cdot 0{,}6 + 1{,}25 \cdot 0{,}5 + 1{,}96 \cdot 0{,}1] = 0{,}784 \ т/нм^3.$$

Вес дымовых газов по формуле (54)

$$G_г = \gamma_c + \frac{d}{1000} + 1{,}306\alpha L_0 = 0{,}784 + \frac{10{,}1}{1000} + 1{,}306 \cdot 2{,}5 \cdot 10{,}2 =$$
$$= 34{,}2 \ кг/нм^3.$$

Удельный вес дымовых газов при $\alpha = 2{,}5$ по формуле (55)

$$\gamma_г = \frac{G_г}{V_г} = \frac{34{,}2}{27{,}0} = 1{,}26 \ кг/нм^3.$$

При различных коэффициентах избытка воздуха α определяем характеристику продуктов сгорания газа и сводим полученные данные в таблицу (табл. 22).

Таблица 22. **Характеристика продуктов сгорания газа**

Наименование показателей	Единица измерения	Коэффициент избытка воздуха α			
		1,2	1,3	1,4	2,5
$V_{H_2O} = V^0_{H_2O} + 0{,}0161\,(\alpha - 1)\,L_0$	$нм^3/нм^3$	2,30	2,31	2,32	2,51
$V_г = V_{RO_2} + V^0_{N_2} + V_{H_2O} + (\alpha - 1)\,L_0$	»	14,52	14,54	15,57	26,98
Вес дымовых газов $G_г$	$кг/нм^3$ топлива	16,8	18,1	19,4	34,2
Удельный вес дымовых газов $\gamma_г$	$кг/нм^3$ газа	1,24	1,24	1,25	1,26

По формуле (44)

$$L_0 = 7{,}13\bar{n} + 2{,}28 = 7{,}13 \cdot 1{,}16 + 2{,}28 = 10{,}15 \ нм^3/нм^3,$$

где углеродное число по формуле (45) равно

$$\bar{n} = \frac{1CH_4 + 2C_2H_6 + 3C_3H_8 + 4C_4H_{10} + 5C_5H_{12}}{100 - (CO_2 + N_2)} =$$
$$= \frac{1 \cdot 92{,}9 + 2 \cdot 4{,}5 + 3 \cdot 0{,}8 + 4 \cdot 0{,}6 + 5 \cdot 0{,}6}{100 - (0{,}5 + 0{,}1)} = 1{,}104.$$

ДИФФУЗИОННЫЕ ГАЗОВЫЕ ГОРЕЛКИ

Ламинарные диффузионные горелки применяются в установках малой производительности, где необходимо равномерное распределение нагрузки по всему объему топки и где не требуется высокой температуры в топке (до 1000° С), при сжигании газа, требующего небольшого расхода воздуха, т. е. искусственных газов с калорийностью до 6000—7000 *ккал/нм*^{3}. Сюда относятся различные водонагреватели, воздухоподогреватели, печи, сушила и котлы небольшой теплопроизводительности на искусственных газах.

Расчетные характеристики ламинарных горелок следующие. Номинальное давление газа перед горелкой равно 130 *кгс/м*^{2}, минимальное — 30 *кгс/м*^{2}; необходимое разрежение в топке берется в зависимости от типа газового прибора; коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1{,}2 \div 1{,}6$; потери тепла от химической неполноты сгорания $q_3 = 0{,}2 \div 1{,}2\%$ (при сжигании газов с $Q_н^р > > 7000$ *ккал/нм*^{3} потери q_3 резко увеличиваются). Теплонапряжение топочного объема — до 10^6 *ккал/м*$^3 \cdot$*ч*. Вследствие небольшой производительности факела такие горелки обычно делаются многофакельными с диаметром горелочных отверстий $d_{огн} = 1 \div 6$ *мм*.

Турбулентные диффузионные горелки работают на низком давлении газа и искусственном дутье; реже на среднем давлении без принудительного дутья. Они применяются в установках, где требуется равномерное распределение нагрузки по всему топочному объему, светящийся факел, соответствующий длине топки в мощных котлах и промышленных печах при значительных колебаниях нагрузки и необходимости регулировать длину факела, при высокой температуре воздуха или газа.

Расчетные характеристики турбулентных горелок

Давление газа перед горелкой двухпроводной низкого давления, *кгс/м*^{2} . .	100—200
То же, воздуха, *кгс/м*^{2}	30—250
Давление газа перед горелкой среднего давления, *кгс/м*^{2}	1000—3000
Необходимое разрежение в топке, *кгс/м*^{2}	2—6
Теплонапряжение топочного объема при низком давлении газа, *ккал/м*$^3 \cdot$*ч* . .	$400 \cdot 10^3$
То же, при среднем давлении, *ккал/м*$^3 \cdot$*ч*	$600 \cdot 10^3$

Остальные расчетные характеристики такие же, как у ламинарных горелок.

Подовые горелки (рис. 16) относятся к многофакельным диффузионным горелкам с повышенной устойчивостью горения и тепловым излучением.

Подовые горелки низкого давления (100—300 *кгс/м*^{2}) без искусственного дутья применяются в отопительных котлах и ана

логичных установках производительностью до 1 *Гкал/ч* при высоте топки не менее 700 *мм* и разрежении в топке не менее 1 *кгс/м²*.

Подовые горелки среднего давления (300—1000 *кгс/м²*) без принудительного дутья применяются в паровых котлах произво-

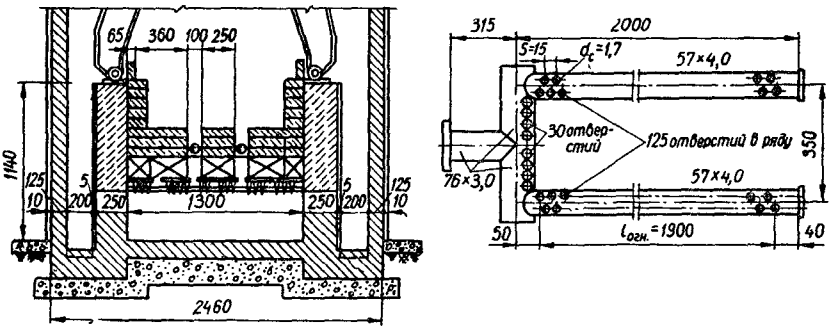


Рис. 16. Топка котла «Энергия-6» с подовой горелкой.

дительностью до 10 *т* пара в 1 *ч* и других аналогичных установках при наличии разрежения в топке не менее 3 *кгс/м²*, горелки с принудительным дутьем применяются при разрежении в топке менее 3 *кгс/м²*.

Рекомендуется принимать два ряда отверстий в коллекторах при их шахматном расположении. При низком давлении газа, при отсутствии дутья или при работе на подогретом воздухе угол между рядами сопел $\beta=90°$; при повышенном давлении газа, искусственном дутье, низких топках и при необходимости увеличить теплоотдачу излучением $\beta=180°$. При $\beta=90°$ принимают $\alpha = 1{,}15$, при $\beta = 180° - \alpha = 1{,}10$. С увеличением β длина факела уменьшается.

Расчетные характеристики подовых горелок

Давление газа перед горелкой в установках производительностью до 1 *Гкал/ч*, *кгс/м²* . . .	100
То же, 1—20 *Гкал/ч* (до 40 *т* пара в 1 *ч*), *кгс/м²*	300—1000
Необходимое давление воздуха перед горелкой в установках производительностью до 1 *Гкал/ч*, *кгс/м²*	60—100
Необходимое разрежение в топке при отсутствии дутья и производительности до 1 *Гкал/ч*, *кгс/м²*	1—2
То же, 1 *Гкал/ч*, *кгс/м²*	3
Коэффициент избытка воздуха в горелке . .	1,10÷1,15
Тепловое напряжение q_l на 1 *м* длины щели в отопительных котлах и аналогичных установках на газе низкого давления, *Гкал/м·ч* . . .	0,2—0,4
То же, в котлах малой производительности (до 10 *т/ч* пара) при высоте топки до 3 *м*, *Гкал/м·ч*	1—1,5

То же, в котлах средней производительности при высоте топки 3 *м*, *Гкал/м·ч*	2—3
Тепловое напряжение топочного объема на газе низкого давления, *ккал/м³·ч*	500000
То же, на газе среднего давления, *ккал/м³·ч*	800000
Скорость воздуха в узком сечении щели, *м/сек*	2—2,5

Количество горелок принимается из условия равномерного разогрева всего пода топки. Расстояние между двумя соседними горелками от 300 до 1250 *мм*, расстояние от щели горелки до стенки топки не менее 350—400 *мм*, ширина щели не более 200 *мм*, высота щели — 260 *мм*. Этим расстояниям соответствуют для отопительных котлов и аналогичных установок — 1—2 горелки, для котлов производительностью до 10 *т* пара в 1 *ч* — 2—3 горелки (желательно по количеству дверок), для котлов средней производительности (до 40 *т/ч*) — 5—8 горелок.

Расчет подовых горелок производится в следующем порядке. В зависимости от характера и размеров топки определяют количество горелок, расход газа горелкой, количество рядов горелочных отверстий, длину огневой части щели и угол α между рядами отверстий (угол β должен быть согласован с тепловым расчетом, так как от него зависит коэффициент избытка воздуха в топке). Далее проверяют тепловое напряжение топочного объема q_V и тепловую нагрузку длины щели q_l по формулам

$$q_V = \frac{B_р Q_н^р}{V_т} \text{ ккал/м}^3 \cdot \text{ч}; \tag{56}$$

$$q_l = \frac{V Q_н^р}{l_{огн}} \text{ ккал/м} \cdot \text{ч}, \tag{57}$$

где $B_р$ — расход газа топочной установкой, *нм³/ч*;

V — расход газа горелкой, *нм³/ч*;

$V_т$ — активный объем топочного пространства, *м³*;

$l_{огн}$ — длина огневой части горелки, *м*.

Величины q_V и q_l не должны превышать указанных в расчетных характеристиках.

Затем определяют диаметр коллектора $d_к$ по скорости газа в коллекторе $w_к = 5 \div 25$ *м/сек* (меньшая — при низком давлении, бо́льшая — при среднем; при этом диаметр коллектора не рекомендуется брать менее 40—50 *мм*)

$$d_к = \sqrt{\frac{V}{2830 w_к}} \text{ м}. \tag{58}$$

Необходимый расход воздуха на 1 горелку берется из теплового расчета котла или определяется по формуле

$$L = \alpha L_0 V \text{ нм}^3/\text{ч}, \tag{59}$$

где при $\beta = 90°$ принимают $\alpha = 1{,}15$, а при $\beta = 180°$ $\alpha = 1{,}10$.

Ширину кирпичной щели a определяют по скорости воздуха в узком сечении щели при максимальной нагрузке $w_{в\,max} = 2 \div 2{,}5$ *м/сек*

$$a = \frac{L}{3600 l_{огн} w_{в\,max}} \cdot \frac{273 + t_в}{273} + d_{к.н} \ м \qquad (60)$$

или проверяют скорость воздуха в узком сечении щели по ширине щели

$$w = \frac{L}{3600 l_{огн} (a - d_{к.н})} \cdot \frac{273 + t_в}{273} \ м/сек, \qquad (61)$$

где $d_{к.н}$ — наружный диаметр коллектора, *м*;

$t_в$ — температура воздуха, *град*.

Необходимое минимальное разрежение в топке определяют по формуле

$$\Delta S = \frac{w_в^2}{\varphi^2} \cdot \frac{\gamma_в}{2g} \ кгс/м^2, \qquad (62)$$

где коэффициент расхода $\varphi = 0{,}60 \div 0{,}70$.

Далее определяют глубину проникновения струй газа h в поток воздуха в узком сечении щели, скорость газа на выходе из сопел $w_с$ и диаметр сопла $d_с$ по формулам:

$$h = \frac{a - d_{к.н}}{2{,}75} \ мм; \qquad (63)$$

$$w_с = 10 w_в \ м/сек; \qquad (64)$$

$$d_с = \frac{h w_в}{K_S w_с \sin \alpha} \sqrt{\frac{\gamma_в}{\gamma}} \ мм, \qquad (65)$$

где α — угол встречи потоков газа и воздуха, $\alpha = \frac{\beta}{2}$;

K_S — коэффициент, зависящий от шага сопел S, при $\frac{S}{d_с} = 5 \div 15$ $K_S = 1{,}6 \div 1{,}9$.

Шаг сопел и количество отверстий в одном коллекторе определяем по формулам:

$$S = 0{,}75h + (2 \div 5) \ мм; \qquad (66)$$

$$n = 2 \left[\frac{l_{огн} - (30 \div 40)}{S} + 1 \right]. \qquad (67)$$

Фактический расход газа горелкой определяют по формуле

$$V_ф = 2{,}83 \cdot 10^{-3} d_с^2 w_с n \frac{273}{273 + t} \ нм^3/ч. \qquad (68)$$

Необходимо проверить расхождение между требуемым и фактическим расходами газа

$$\frac{V_ф - V}{V} \cdot 100 \text{ проц.} \qquad (69)$$

При невязке более 10% необходимо сделать пересчет.

Для равномерной загрузки всех сопел суммарная площадь сопел не должна превышать 20% площади коллектора

$$\frac{F_c}{F_к} \cdot 100 \leqslant 20\%. \qquad (70)$$

В итоге определяем необходимое давление газа перед горелкой по формуле

$$P = \frac{w^2}{\varphi^2} \cdot \frac{\gamma}{2g} \text{ кгс/м}^2. \qquad (71)$$

Пример 26. Рассчитать подовую горелку низкого давления без принудительной подачи воздуха для водогрейного секционного котла. Котел типа «Энергия-6» с поверхностью нагрева 52,7 $м^2$ работает на природном газе; $Q^р_н = 8500$ $ккал/нм^3$ и $\gamma = 0{,}73$ (см. рис. 16), теплопроизводительность котла $Q = 632000$ $ккал/ч$; максимальный расход газа котлом $B_р = 93$ $нм^3/ч$.

В соответствии с размерами топки принимаем одну двухколлекторную горелку с расходом газа на каждый коллектор $V = 46{,}5$ $нм^3/ч$.

Длину огневой части горелки определяем по длине топочной камеры. Для равномерной нагрузки котла принимаем максимально возможную длину $l_{огн} = 1900$ $мм$. При низком давлении газа без дутья принимаем два ряда отверстий под углом $\beta = 90°$.

Диаметр коллектора определяем по скорости газа $w_к = 5$ $м/сек$ по формуле (58)

$$d_к = \sqrt{\frac{V}{2830 w_к}} = \sqrt{\frac{46{,}5}{2830 \cdot 5}} = 0{,}057 \text{ м}.$$

Принимаем коллекторы из труб $57 \times 4{,}0$ $мм$.

Тепловое напряжение топочного объема по формуле (56)

$$q_V = \frac{B_р Q^р_н}{V_т} = \frac{93 \cdot 8500}{1{,}55} = 510000 \text{ ккал/м}^3 \cdot ч$$

находится в допустимых пределах.

Проверяем тепловую нагрузку длины щели по формуле (57)

$$q_l = \frac{V Q^р_н}{l_{огн}} = \frac{46{,}5 \cdot 8500}{1{,}9} = 0{,}21 \cdot 10^6 \text{ ккал/м} \cdot ч.$$

Это соответствует рекомендованным пределам.

Необходимый расход воздуха для горения определяем по формуле (59), принимая $\alpha = 1{,}15$ при $\beta = 90°$,

$$L = \alpha L_0 V = 1{,}15 \cdot 10{,}2 \cdot 46{,}5 = 546 \text{ нм}^3/ч.$$

Принимая скорость воздуха в узком сечении при максимальной нагрузке $w_{в\ max}=2\div2{,}5$ *м/сек*, определяем ширину кирпичной щели по формуле

$$a=\frac{L}{3600 l_{огн} w_{в\ max}}\cdot\frac{273+t_в}{273}+d_{к.н}=\frac{546}{3600\cdot 1{,}9\,(2\div 2{,}5)}\times$$

$$\times\frac{273+25}{273}+0{,}057=0{,}101\div 0{,}0918\ м.$$

Принимаем ширину щели $a=100$ *мм*, тогда скорость воздуха по формуле (61)

$$w_в=\frac{L}{3600 l_{огн}(a-d_{к.н})}\cdot\frac{273+t_в}{273}=\frac{546}{3600\cdot 1{,}9\,(0{,}100-0{,}057)}\times$$

$$\times\frac{273+25}{273}=2{,}0\ м/сек.$$

Необходимое минимальное разрежение в топке по формуле (62)

$$\Delta S=\frac{w_в^2}{\varphi^2}\cdot\frac{\gamma_в}{2g}=\frac{2^2\cdot 1{,}185}{0{,}7^2\cdot 2\cdot 9{,}81}=0{,}5\ кгс/м^2.$$

Глубина проникновения струй газа в поток воздуха в узком сечении щели по формуле (63)

$$h=\frac{a-d_{к.н}}{2{,}75}=\frac{100-57}{2{,}75}=15{,}6\ мм.$$

Скорость газа на выходе из сопел принимается в 10 раз больше скорости воздуха

$$w_с=10 w_в=10\cdot 2=20\ м/сек.$$

Диаметры сопел определяем по формуле (65)

$$d_с=\frac{h w_в}{K_S w_с \sin\alpha}\sqrt{\frac{\gamma_в}{\gamma}}=\frac{15{,}6\cdot 2}{1{,}7\cdot 20\cdot 0{,}707}\sqrt{\frac{1{,}185}{0{,}73}}=1{,}66\ мм.$$

Принимаем $d_с=1{,}7$ *мм*.

Шаг сопел и количество отверстий в одном коллекторе определяем по формулам (66) и (67):

$$S=0{,}75h+(2\div 5)=0{,}75\cdot 15{,}6+3{,}3=15\ мм;$$

$$n=2\left[\frac{l_{огн}-(30\div 40)}{S}+1\right]=2\cdot\left(\frac{1900-40}{15}+1\right)=250.$$

Фактический расход газа коллектором по формуле (68)

$$V_ф=2{,}83\cdot 10^{-3} d_с^2 w_с n\frac{273+t}{273}=2{,}83\cdot 10^{-3}\cdot 1{,}7^2\cdot 20\cdot 250\times$$

$$\times\frac{273}{273+0}=40{,}9\ нм^3/ч.$$

Невязка расчета определяется по формуле (69)

$$\frac{V_ф - V}{V} \cdot 100 = \frac{40{,}9 - 46{,}5}{46{,}5} \cdot 100 = -12{,}0\%.$$

Так как расхождение превышает 10%, необходимо сделать пересчет. Фактический расход газа можно увеличить, увеличив скорость движения газа и воздуха или ширину щели. Для получения необходимой производительности скорость воздуха должна измениться пропорционально расходу газа

$$w'_в = w_в \frac{V}{V_ф} = 2 \cdot \frac{46{,}5}{40{,}9} = 2{,}3 \ м/сек.$$

Так как скорость воздуха не превышает допустимой 2,5 *м/сек*, ширину щели не увеличиваем. Если $w'_в$ окажется больше 2,5 *м/сек*, необходимо увеличить ширину щели.

Необходимое минимальное разрежение в топке определяем по формуле (62)

$$\Delta S = \frac{w_в^2 \gamma_в}{\varphi^2 \cdot 2g} = \frac{2{,}3^2 \cdot 1{,}185}{0{,}7^2 \cdot 2 \cdot 9{,}81} = 0{,}66 \ кгс/м^2.$$

Оно находится в допустимых пределах. Скорость газа на выходе из сопел по формуле (64)

$$w = 10 w_в = 10 \cdot 2{,}3 = 23 \ м/сек.$$

Значения h, $d_с$, S и n определять вновь нет надобности; при неизменной ширине щели они будут те же.

Фактический расход газа коллектором по формуле (68).

$$V_ф = 2{,}83 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}7^2 \cdot 23 \cdot 250 \cdot \frac{273}{273 + 0} = 47{,}0 \ нм^3/ч.$$

Теперь невязка расчета составляет

$$\frac{V_ф - V}{V} \cdot 100 = \frac{47 - 46{,}5}{46{,}5} \cdot 100 = 1{,}0\% < 10\%.$$

Фактический расход газа горелкой будет даже несколько больше за счет 30 запальных сопел на соединительной трубе

$$V_ф = 2{,}83 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}7^2 \cdot 23 \cdot 530 \cdot \frac{273}{273 + 0} = 100 \ нм^3/ч.$$

Для равномерной загрузки всех сопел необходимо, чтобы суммарная площадь сопел не превышала 20% площади коллектора. Проверяем:

$$f_с = 0{,}785 d_с^2 n = 0{,}785 \cdot 1{,}7^2 \cdot 250 = 568 \ мм^2;$$

$$f_к = 0{,}785 d_к^2 = 0{,}785 \cdot 49^2 = 1960 \ мм^2;$$

$$\frac{f_с}{f_к} \cdot 100 = \frac{568}{1960} \cdot 100 = 29\%.$$

Учитывая, что чисто отопительные котлы бóльшую часть времени работают с недогрузкой, несколько большую площадь сопел можно допустить.

Необходимое давление газа перед горелкой

$$P = \frac{w^2\gamma}{\varphi^2 \cdot 2g} = \frac{23^2 \cdot 0{,}73}{0{,}7^2 \cdot 2 \cdot 9{,}81} = 40{,}2 \text{ кгс/м}^2.$$

Окончательные результаты расчета следующие: $d_с = 1{,}7$ *мм*; $S = 15$ *мм*; $n = 530$; $B_ф = 100$ *нм*^{3}/*ч*; $P = 40$ *кгс/м*^{2}.

ИНЖЕКЦИОННЫЕ ГОРЕЛКИ

Инжекционные горелки низкого давления с частичным предварительным смешением. Инжекционные атмосферные горелки (рис. 17, *а*) применяются в установках низкого давления (до

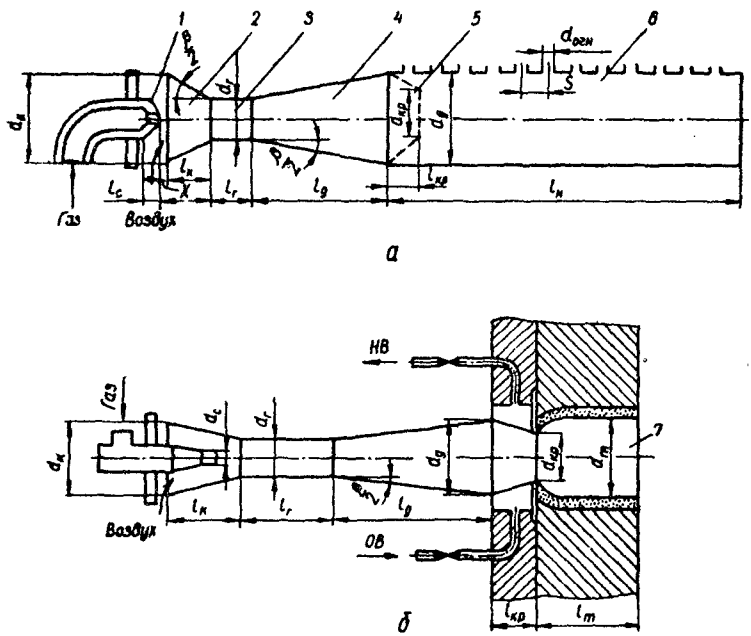


Рис. 17. Схемы инжекционных горелок:
а — низкого давления; *б* — среднего давления;
1 — сопло; *2* — конфузор; *3* — горловина; *4* — диффузор; *5* — кратер; *6* — насадок; *7* — туннель; ОВ — охлаждающая вода; НВ — нагретая вода.

300 *кгс/м*^{2}) малой и средней производительности для газов с теплотой сгорания $Q^р_н > 7000$ *ккал/нм*^{3}, в бытовых приборах, различных промышленных печах, котлах малой производительности.

Расчетные характеристики атмосферных горелок

Номинальное давление газа, *кгс/м²* . . .	50—300
Минимальное давление газа, обеспечивающее устойчивое горение, *кгс/м²*	20—30
Необходимое разрежение в топке, *кгс/м²* . .	2—6
Коэффициент избытка воздуха в топке . .	1,2—1,6
То же, для бытовых приборов без регулирования подачи воздуха	До 3,0
Коэффициент инжекции для природного газа	0,4—0,6
То же, для жидких газов	0,5—0,7
Потери от химической неполноты сгорания, проц.	До 0,3
Теплонапряжение топочного объема, *ккал/м³ · ч*	До $350 \cdot 10^3$

Для уменьшения q_3 и длины факела необходимо принимать большее значение α'; для повышения устойчивости — меньшее; для образования светящегося пламени принимают $\alpha' < 0{,}4$.

Необходимые для расчета инженерных горелок значения шага огневых отверстий S, коэффициента истечения сопла φ и коэффициентов C_1 и C_2 приведены в табл. 23—26.

Таблица 23. **Шаг огневых отверстий в зависимости от α^1 и $d_{огн}$ при низком давлении газа**

Диаметр огневого отверстия $d_{огн}$, *мм*	Минимальный шаг S_{min}, *мм*, при α^1				Максимальный шаг S_{max}, *мм*, при α^1			
	0	0,2	0,4	0,6	0	0,2	0,4	0,6
1,0	7	5	4	—	15	7	4	—
2,0	11	9	7	5	20	13	8	6
3,0	14	12	9	6	22	18	12	8
4,0	16	14	12	8	24	20	15	11
5,0	18	16	14	10	27	23	19	15
6,0	20	18	16	13	30	26	22	18

Примечание. При расположении отверстий в 2 ряда необходимо размещать их в шахматном порядке и принимать значения S, близкие к максимальным; расстояние между рядами равно $2S$, глубина отверстий — до $3\,d_{огн}$, но не более 13 *мм*.

Расчет атмосферных горелок состоит в определении размеров горелок. Площадь поперечного сечения и диаметр сопла f_c и d_c определяют по формулам:

$$f_c = \frac{V}{3600\varphi\sqrt{\frac{2g}{\gamma}P}}\ м^2; \qquad (72)$$

$$d_c = \sqrt{\frac{f_c}{0{,}785n}}\ м, \qquad (73)$$

Таблица 24. **Значения $\varphi = f(l_c/d_c)$**

l_c/d_c	φ	l_c/d_c	φ
0	0,70	0,56	0,90
0,18	0,75	1,13	0,88
0,36	0,84	2,26	0,87
0,45	0,88	4,52	0,83

Примечание. Для конического сопла с углом раскрытия $\beta = 50 \div 60°$ φ 0,8 : 0,9.

где V — расчетный (максимальный часовой) расход газа (производительность горелки), *нм³/ч*;

P — давление газа перед горелкой, *кгс/м²*;

γ — удельный вес газа, *кг/нм³*;

n — количество сопел в многосопловой горелке;

φ — коэффициент расхода (см. табл. 24).

Таблица 25. **Значения** $C_1=f(\alpha')$

Газ	Коэффициент инжекции α'					
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Искусственный	1,40	1,12	0,95	0,71	0,56	0,45
Природный	1,89	1,63	1,35	1,14	0,95	0,79
Жидкий (бутан)	—	—	2,29	1,74	1,46	1,22

Таблица 26. **Значения** C_2

Расстояния между краями отверстий, *мм*	C_2	Расстояния между краями отверстий, *мм*	C_2
2	11,4	9	6,95
3	10,4	10	6,7
4	9,46	12	6,4
5	8,7	16	6,0
6	8,7	18	5,85
7	6,5	20	5,8
8	7,2	22	5,75

Затем определяют расстояние от устья сопла до горловины

$$X=\frac{d_c}{a}\left[0{,}23\,(1+\alpha' L_0)\sqrt{\frac{\gamma_в}{\gamma}}-0{,}145\right] \text{ мм}, \qquad (74)$$

где a — коэффициент турбулизации струи; для сопла с поджатием при $\angle\frac{\beta}{2}=27°\,10'$ принимается $a=0{,}71$;

L_0 — теоретически необходимый расход воздуха.

Диаметр горловины определяют по формуле

$$d_г=6{,}8\,(aX+0{,}145d_c) \text{ мм}. \qquad (75)$$

Если принято сопло цилиндрической формы, то длина цилиндрической части сопла определяется по принятому отношению $\frac{l_c}{d_c}$

$$l_c=\left(\frac{l_c}{d_c}\right)d_c, \qquad (76)$$

сечение и диаметр горловины определяются по формулам:

$$f_г = f_c\left(1 + \alpha' L_0 \frac{\gamma_в}{\gamma_г}\right)(1 + \alpha' L_0)(2 - \eta); \quad (77)$$

$$d_г = \sqrt{\frac{f_г}{0{,}785}}. \quad (78)$$

В этом случае нет обоснованных данных для определения расстояния от сопла до горловины X.

Диаметр выходного сечения диффузора определяют по отношению $\frac{d_г}{d_д}$, которое обычно принимают равным 0,55,

$$d_д = \frac{d_г}{0{,}55}\ мм; \quad (79)$$

диаметр входного конца конфузора $d_к$ определяют по его площади $f_к$, принимая скорость входа первичного воздуха $w_в = 1 \div 2$ *м/сек*,

$$f_к = \frac{\alpha' L_0 V}{3600 w_в}\ мм^2; \quad (80)$$

$$d_к = \sqrt{\frac{f_к}{0{,}785}}\ мм. \quad (81)$$

Диаметр многофакельного насадка обычно принимают равным выходному диаметру диффузора

$$d_н = d_д. \quad (82)$$

Далее задаются диаметром кратера горелки $d_{кр}$ или горелочных отверстий $d_{огн}$ и определяют максимально допустимую скорость выхода газовоздушной смеси из горелки, при которой не будет происходить отрыв пламени от горелки (рис. 18).

По полученной скорости определяют площадь кратера горелки $f_{кр}$ или горелочных отверстий $f_{огн}$, их количество n и глубину отверстий:

$$\Sigma f_{огн} = \frac{V(1 + \alpha' L_0)}{3600 w_{max}} \cdot \frac{273 + t_{см}}{273}\ м^2; \quad (83)$$

$$n = \frac{\Sigma f_{огн}}{0{,}785 d^2_{огн}}. \quad (84)$$

Шаг между отверстиями S и длину насадки горелки $l_н$ принимают по табл. 23.

При одном ряде отверстий

$$l_н = nS + 2S \cdot 2; \quad (85)$$

при двух рядах отверстий

$$l_н = \frac{n}{2} S + 2S \cdot 2. \quad (86)$$

Длина горловины горелки принимается

$$l_г = (1 \div 2)\, d_г. \qquad (87)$$

Длина частей горелки, имеющих форму усеченного конуса, определяется по формуле

$$l = \frac{d_б - d_м}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \ мм, \qquad (88)$$

где $d_б$, $d_м$ — больший и меньший диаметры элемента горелки, *мм*;
β — угол раскрытия конуса, который принимается для диффузора 6—8°, для конфузора 20—25°, для кратера 30°.

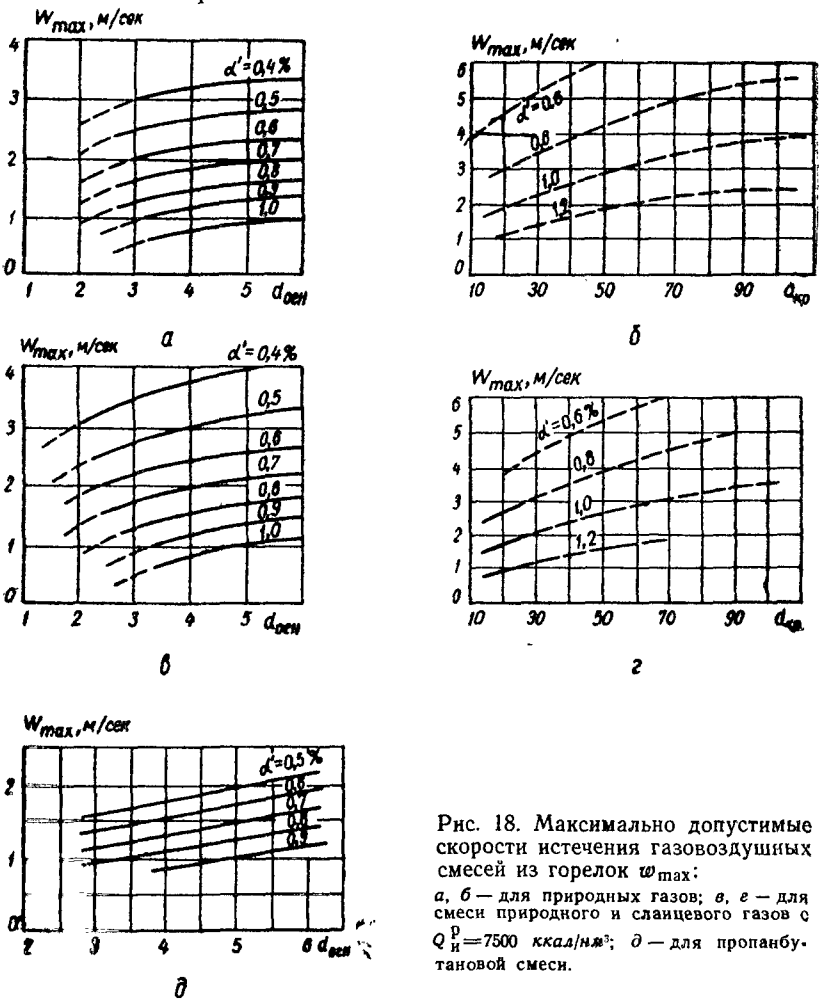


Рис. 18. Максимально допустимые скорости истечения газовоздушных смесей из горелок w_{max}:
а, б — для природных газов; *в, г* — для смеси природного и сланцевого газов с $Q^{р}_{и}$=7500 *ккал/нм*³; *д* — для пропанбутановой смеси.

Длина диффузора для полного завершения смешения газа с воздухом должна быть не менее 6 $d_г$.

После расчета размеров горелки необходимо произвести проверку баланса энергии в горелке. При этом определяют приход энергии и затраты ее на создание скорости воздуха и газовоздушной смеси в горелке и определяют, достаточно ли останется энергии на создание скорости для выхода газовоздушной смеси из горелки.

Источником энергии является кинетическая энергия струи газа, вытекающего из сопла,

$$E = \frac{w_c^2}{2g} \gamma = \varphi^2 P \ кгс \cdot м/м^3, \qquad (89)$$

где w_c — скорость газа в сопле, определяемая по формуле

$$w_c = \frac{V}{3600 f_c} \ м/сек. \qquad (90)$$

Затраты энергии на создание скорости инжектируемого воздуха

$$E_в = \frac{w_г^2 \alpha' L_0 \gamma_в}{2g} \ кгс \cdot м/м^3, \qquad (91)$$

где скорость газовоздушной смеси в горловине $w_г$ определяется по площади сечения горловины $f_г$

$$w_г = \frac{V(1+\alpha' L_0)}{3600 f_г} \cdot \frac{273+t}{273} \ м/сек. \qquad (92)$$

Затраты энергии на изменение скорости струи газа от w_c до $w_г$

$$E_г = \frac{(w_c - w_г)^2}{2g} \gamma \ кгс \cdot м/м^3. \qquad (93)$$

Затрата энергии в диффузоре при изменении скорости газовоздушной смеси

$$E_д = \frac{(w_г^2 - w_д^2)}{2g} (\gamma + \alpha' L_0 \gamma_в)(1-\eta) \ кгс \cdot м/м^3, \qquad (94)$$

где η — к. п. д. диффузора, зависящий от $d_г/d_д$: при $d_г/d_д = 0{,}55$; $\eta = 0{,}80$; при $d_г/d_д = 0{,}65$ $\eta = 0{,}75$.

Скорость смеси в выходном сечении диффузора

$$w_д = \frac{V(1+\alpha' L_0)}{3600 f_д} \cdot \frac{273 + t_{см}}{273} \ м/сек. \qquad (95)$$

Энергия потока газовоздушной смеси в насадке, отнесенная к 1 $нм^3$ газа, которая остается для создания скорости выхода смеси из горелочных отверстий, равна

$$E_н = E - E_в - E_г - E_д \ кгс \cdot м/м^3. \qquad (96)$$

Энергия потока газовоздушной смеси в насадке

$$E_{см} = \frac{E_н}{1 + \alpha' L_0} \; кгс \cdot м/м^3. \qquad (97)$$

Возможная скорость выхода газовоздушной смеси из горелочных отверстий за счет энергии потока в насадке с учетом 30% потерь энергии в насадке определяется по формуле

$$w_{см} = \varphi \sqrt{\frac{2g}{\gamma_{см}} \cdot 0{,}7E_{см}} \; м/сек, \qquad (98)$$

где

$$\gamma_{см} = \frac{\gamma + \alpha' L_0 \gamma_в}{1 + \alpha' L_0} \; кг/м^3. \qquad (99)$$

Полученная скорость $W_{см}$ должна быть больше скорости выхода газовоздушной смеси, принятой при расчете сечения кратера или отверстий горелки. Если она окажется меньше, необходимо принять другие данные и сделать пересчет.

Далее проверяют длину факелов горелки. Длина внутреннего конуса

$$l_{вн} = C_1 d_{огн} q^2_{огн} \cdot 10^{-7} \; мм; \qquad (100)$$

полная длина факела (наружного конуса)

$$l_ф = C_2 q_{огн} \sqrt{d^3_{огн}} \cdot 10^{-7} \; мм; \qquad (101)$$

тепловое напряжение горелочных отверстий

$$q_{огн} = \frac{VQ^р_н}{0{,}785 d^2_{огн} n}, \; ккал/м^2 \cdot ч, \qquad (102)$$

где C_1 и C_2 — коэффициенты, определяемые по табл. 25 и 26.

При переводе горелок для работы на газе другого состава для сохранения той же теплопроизводительности необходимо изменить давление газа перед горелкой P или диаметр сопла $d_с$.

Давление газа перед горелкой, необходимое для работы на газе другого состава при том же диаметре сопла,

$$P' = P \frac{\gamma'}{\gamma} \left(\frac{Q^р_н}{Q^{р'}_н} \right) \; кгс/м^2. \qquad (103)$$

При этом необходимо проверить изменение пределов регулирования горелки. Для этого определяют минимальное давление газа, обеспечивающее работу горелки на газе старого состава,

$$P_{min} = n^2 P \; кгс/м^2, \qquad (104)$$

а затем новый предел регулирования горелки

$$n' = \sqrt{\frac{P_{min}}{P'}}. \qquad (105)$$

Диаметр сопла, необходимый для работы горелки на другом газе при той же производительности,

$$d_c' = d_c = \sqrt{\frac{Q_н^р}{Q_н^{р'}}} \sqrt{\frac{P\gamma'}{P'\gamma}} \text{ мм}. \qquad (106)$$

Все остальные размеры не меняются.

Пример 27. Рассчитать атмосферную горелку для газового калорифера с выносной топкой. Внутренняя длина топки равна 2,165 *м*, ширина — 1 *м* и высота — 1 *м*. Давление газа согласно табл. 10 $P = 100$ *кгс/м*^{2}; $Q_н^р = 8500$ *ккал/нм*^{3}; теоретически необходимый расход воздуха при $\gamma = 0{,}73$ *кг/нм*^{3} $L_0 = 10{,}2$ *нм*^{3}*/нм*^{3}. По данным теплового расчета расход газа $B_р = 21{,}8$ *нм*^{3}*/ч*. Коэффициент избытка воздуха в топке принят повышенный для уменьшения температуры в топке $\alpha' = 1{,}4$.

Для определения количества горелок найдем необходимый предел регулирования производительности калорифера по отношению минимального и максимального перепадов температуры подогрева воздуха при температурах конца отопительного периода $t_{н.к} = 10°$ С и расчетной наружной температуре для отопления $t_{н.о} = -23°$ С

$$\frac{t_{вн} - t_{н.к}}{t_{вн} - t_{н.о}} = \frac{18 - 10}{18 - (-23)} = 0{,}195.$$

При установке двух горелок необходимый предел регулирования горелки будет $0{,}195 \times 2 = 0{,}39$, что находится на пределе регулируемости атмосферных горелок. Принимаем к установке две горелки.

Определяем расход газа каждой горелкой

$$V = \frac{B_р}{2} = \frac{21{,}8}{2} = 10{,}9 \text{ нм}^3\text{/ч}.$$

Вследствие малых габаритов топки для сокращения длины факела и получения несветящегося пламени принимаем многофакельную горелку и коэффициент инжекции $\alpha' = 0{,}5$.

Площадь поперечного сопла инжектора при давлении газа $P = 100$ *кгс/м*^{2} определяем по формуле (72)

$$f_c = \frac{V}{3600\varphi \sqrt{\frac{2g}{\gamma} P}} = \frac{10{,}9}{3600 \cdot 0{,}80 \sqrt{\frac{2 \cdot 9{,}81}{0{,}73} \cdot 100}} = 0{,}000073 \text{ м}^2.$$

Коэффициент истечения $\varphi = 0{,}8$ принимаем по табл. 24 для конического сопла при $\frac{\beta}{2} = 25-30°$.

Диаметр сопла определяем по его площади для односопловой горелки ($n = 1$) по формуле (73)

$$d_c = \sqrt{\frac{f_c}{0{,}785n}} = \sqrt{\frac{0{,}000073}{0{,}785 \cdot 1}} = 0{,}0096 \text{ м} \quad 9{,}6 \text{ мм}.$$

Определяем расстояние от устья сопла до горловины по формуле (74)

$$X = \frac{d_c}{a}\left[0{,}23\,(1 + \alpha' L_0)\sqrt{\frac{\gamma_в}{\gamma}} - 0{,}145\right] =$$

$$= \frac{9{,}6}{0{,}071} \cdot \left[0{,}23 \cdot (1 + 0{,}5 \cdot 10{,}2)\sqrt{\frac{1{,}185}{0{,}73}} - 0{,}145\right] = 220 \text{ мм}.$$

Внутренний диаметр горловины по формуле (75)

$$d_г = 6{,}8\,(aX + 0{,}145 d_c) = 6{,}8 \cdot (0{,}071 \cdot 220 + 0{,}145 \cdot 9{,}6) =$$
$$= 115{,}7 \text{ мм} = 116 \text{ мм}.$$

Длина горловины по формуле (87)

$$l_г = (1 \div 2)\, d_г = 1{,}5 \cdot 116 = 170 \text{ мм}.$$

Диаметр выходного сечения диффузора определяем по соотношению $d_г/d_д = 0{,}55$

$$d_д = \frac{d_г}{0{,}55} = \frac{116}{0{,}55} = 211 \text{ мм}.$$

Длину диффузора при угле раскрытия $\beta = 8°$ определяем по формуле (88) с проверкой условия $l_д \geqslant 6d_г$.

$$l_д = \frac{d_д - d_г}{2\,\mathrm{tg}\,\frac{\beta}{2}} = \frac{211 - 116}{2 \cdot 0{,}07} = 678 \text{ мм} \approx 6d_г.$$

Площадь входного сечения конфузора при скорости входа первичного воздуха 1 *м/сек* определяем, пользуясь формулой (92),

$$f_к = \frac{V\alpha' L_0}{3600 w_в} = \frac{10{,}9 \cdot 0{,}5 \cdot 10{,}2}{3600 \cdot 1{,}0} = 0{,}0154 \text{ м}^2.$$

Диаметр входного сечения конфузора по формуле (81)

$$d_к = \sqrt{\frac{f_к}{0{,}785}} = \sqrt{\frac{0{,}0154}{0{,}785}} = 0{,}140 \text{ м} = 140 \text{ мм}.$$

Длину конфузора определяем по формуле (88)

$$l_к = \frac{d_к - d_г}{2\,\mathrm{tg}\,12{,}5°} = \frac{140 - 116}{2 \cdot 0{,}22} = 54{,}5 \approx 55 \text{ мм}.$$

Диаметр многофакельного насадка принимаем по выходному диаметру диффузора $d_н = 211$ *мм* и задаемся диаметром горелочных отверстий. Так как производительность горелки сравнительно большая, длина топки ограничена, а высота достаточно велика, принимаем увеличенный диаметр отверстий $d_{огн} = 5$ *мм*.

По рис. 18 проверяем максимально допустимую скорость выхода смеси из горелочных отверстий; при $\alpha' = 0{,}5$ и $d_{огн} = 5$ *мм* получим $w_{max} = 2{,}8$ *м/сек*. При большей скорости происходит отрыв пламени.

Необходимую площадь горелочных отверстий определяем по полученной скорости w_{max}, пользуясь формулой (83),

$$\Sigma f_{огн} = \frac{V(1+\alpha' L_0)}{3600 w_{max}} \cdot \frac{(273+t_{см})}{273} =$$

$$= \frac{10{,}9 \cdot (1+0{,}5 \cdot 10{,}2)}{3600 \cdot 2{,}8} \cdot \frac{(273+25)}{273} = 0{,}0072 \ м^2,$$

где температуру смеси $t_{см}$ принимаем равной температуре воздуха в помещении.

Количество огневых отверстий по формуле (84)

$$n = \frac{\Sigma f_{огн}}{0{,}785 d^2_{огн}} = \frac{0{,}0072}{0{,}785 \cdot 0{,}005^2} = 367.$$

Длину насадки горелки при двух рядах отверстий и шаге между осями $S = 12$ *мм*, принятом по табл. 23, определяем по формуле (86)

$$l_н = \frac{n}{2} S + 2S \cdot 2 = \frac{367}{2} \cdot 12 + 2 \cdot 12 \cdot 2 = 2250 \ мм,$$

что значительно превышает действительную длину топки.

Чтобы уменьшить длину горелки, увеличим $d_{огн}$. Примем $d_{огн} = 6$ *мм*. Найдем новое значение $w_{max} = 2{,}9$ *м/сек* при $\alpha' = 0{,}5$ и $d_{огн} = 6$ *мм* и пересчитаем значения $\Sigma f_{огн}$, n и $l_н$ по формулам (83), (84) и (86).

$$\Sigma f_{огн} = \frac{10{,}9 \cdot (1+0{,}5 \cdot 10{,}2)}{3600 \cdot 2{,}9} \cdot \frac{(273+25)}{273} = 0{,}0070 \ м^2;$$

$$n = \frac{0{,}0070}{0{,}785 \cdot 0{,}006^2} = 248;$$

$$l_н = \frac{248}{2} \cdot 14{,}5 + 2 \cdot 14{,}5 \cdot 2 = 1916 \ мм.$$

Далее проверяем баланс энергии в горелке.

Приход энергии по формуле (89)

$$E = \frac{w_c^2}{2g} \gamma = \varphi^2 P = 0{,}9^2 \cdot 100 = 80 \ кгс \cdot м/м^3.$$

Затраты энергии на создание скорости инжектируемого воздуха при $t_в = 25°$ С определяем по формулам (91) и (92):

$$E_в = \frac{w_г^2 \alpha' L_0 \gamma_в}{2g} = \frac{1{,}92^2 \cdot 0{,}5 \cdot 10{,}2 \cdot 1{,}185}{2 \cdot 9{,}81} = 1{,}13 \ кгс \cdot м/м^3;$$

$$w_г = \frac{V(1+\alpha' L_0)}{3600 f_г} \cdot \frac{273+t_в}{273} = \frac{10{,}9\,(1+0{,}5 \cdot 10{,}2)}{3600 \cdot 0{,}0105} \cdot \frac{(273+25)}{273} =$$

$$= 1{,}92 \ м/сек.$$

Здесь $f_г = 0{,}785 \ d_г^2 = 0.785 \cdot 0{,}116^2 = 0{,}0105 \ м^2$.

Затраты энергии на изменение скорости струи газа от $w_с$ до $w_г$ определяем по формуле (93):

$$E_1 = \frac{(w_с - w_г)^2}{2g}\gamma = \frac{(41{,}5 - 1{,}92)^2}{2 \cdot 9{,}81} 0{,}73 = 58{,}4 \ кгс \cdot м/м^3,$$

где $w_с = 41{,}5$ *м/сек* находим по формуле (90)

$$w_с = \frac{V}{3600 f_с} = \frac{10{,}9}{3600 \cdot 0{,}000073} = 41{,}5 \ м/сек.$$

Затраты энергии в диффузоре на изменение скорости газовоздушной смеси определяем по формулам (94) и (95)

$$E_д = \frac{(w_г^2 - w_д^2)(\gamma + \alpha' L_0 \gamma_в)(1 - \eta)}{2g} =$$

$$= \frac{(1{,}92^2 - 0{,}58^2)(0{,}73 + 0{,}5 \quad 10{,}2 \cdot 1{,}185)(1 - 0{,}8)}{2 \cdot 9{,}81} = 0{,}23 \ кгс \cdot м/м^3.$$

Здесь к. п. д. диффузора $\eta = 0{,}8$ при принятом соотношении $d_г/d_д = 0{,}55$;

$$w_д = \frac{V(1 + \alpha' L_0)}{3600 f_д} \cdot \frac{273 + t_{см}}{273} = \frac{10{,}9 \cdot (1 + 0{,}5 \cdot 10{,}2)}{3600 \cdot 0{,}035} \times$$

$$\times \frac{(273 + 25)}{273} = 0{,}58 \ м/сек;$$

$$f_д = 0{,}785 d_д^2 = 0{,}785 \cdot 0{,}211^2 = 0{,}035 \ м^2.$$

Определяем энергию потока газовоздушной смеси в насадке, которая остается для создания скорости выхода смеси из горелочных отверстий по формуле (96)

$$E_н = E - E_в - E_г - E_д = 80 - 1{,}1 - 58{,}4 - 0{,}2 = 20{,}3 \ кгс \cdot м/м^3.$$

Энергия потока газовоздушной смеси в насадке, отнесенная к 1 $м^3$ смеси, по формуле (97)

$$E_{см} = \frac{E_н}{1 + \alpha' L_0} = \frac{20{,}3}{1 + 0{,}5 \cdot 10{,}2} = 3{,}33 \ кгс \cdot м/м^3.$$

Возможную скорость выхода газовоздушной смеси из горелочных отверстий определяем по формулам (98) и (99):

$$w_{см} = \varphi \sqrt{\frac{2g}{\gamma_{см}} \cdot 0{,}7 E_{см}} = 0{,}8 \sqrt{\frac{2 \cdot 9{,}81}{1{,}11} \cdot 0{,}7 \cdot 3{,}33} =$$

$$= 5{,}14 \ м/сек,$$

$$\gamma_{см} = \frac{\gamma + \alpha' L_0 \gamma_в}{1 + \alpha' L_0} = \frac{0{,}73 + 0{,}5 \cdot 10{,}2 \cdot 1{,}185}{1 + 0{,}5 \cdot 10{,}2} = 1{,}11 \ кг/м^3.$$

Так как найденная скорость выхода смеси больше необходимой 2,9 *м/сек*, то баланс энергии в горелке увязан.

Далее проверяем длину факелов горелки. Длина внутреннего конуса факела по формуле (100)

$$l_{вн} = C_1 d_{огн}^2 q_{огн} \cdot 10^{-7} = 1{,}14 \cdot 6^2 \cdot 13{,}2 \cdot 10^6 \cdot 10^{-7} = 54{,}2 \text{ мм},$$

где теплонапряжение горелочных отверстий $q_{огн} = 13{,}2 \times 10^6$ *ккал/м²·ч* определяем по формуле (102)

$$q_{огн} = \frac{VQ_н^р}{0{,}785 d_{огн}^2 n} = \frac{10{,}9 \cdot 8500}{0{,}785 \cdot 0{,}006^2 \cdot 248} = 13{,}2 \cdot 10^6 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч}.$$

Полная длина факела (наружного конуса) по формуле (101)

$$l_ф = C_2 q_{огн} \sqrt{d_{огн}^3} \cdot 10^{-7} = 7{,}1 \cdot 13{,}2 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{6^3} \cdot 10^{-7} =$$

$$= 138 \text{ мм}, \text{ т. е. допустима.}$$

Пример 28. Пересчитать атмосферную инжекционную горелку, рассчитанную в примере 27, для работы на жидком газе с $Q_н^р = 25\,000$ *ккал/нм³* и $\gamma = 2{,}3$ *кг/нм³* с сохранением той же теплопроизводительности.

Давление газа перед горелкой, необходимое для работы на газе другого состава при том же диаметре сопла, определяем по формуле (103)

$$P' = P \frac{\gamma'}{\gamma} \left(\frac{Q_н^р}{Q_н^{р'}} \right)^2 = 100 \cdot \frac{2{,}3}{0{,}73} \cdot \left(\frac{8500}{25000} \right)^2 = 38 \text{ кгс/м}^2.$$

Проверяем изменение пределов регулирования горелки. Принимаем предел регулирования горелки на природном газе 0,33. Тогда минимальное давление природного газа, обеспечивающее работу горелки, по формуле (104)

$$P_{min} = n^2 P = 0{,}33^2 \cdot 100 = 11 \text{ кгс/м}^2.$$

Новые пределы регулирования горелки по формуле (105)

$$n' = \sqrt{\frac{P_{min}}{P'}} = \sqrt{\frac{11}{38}} = 0{,}54,$$

т. е. устойчивая работа горелки будет при ее производительности 54—100% от расчетной.

Диаметр сопла, необходимый для работы горелки на жидком газе при давлении $P' = 200$ *кгс/м²* и той же теплопроизводительности, определяем по формуле (106)

$$d_c' = d_c \sqrt{\frac{Q_н^р}{Q_н^{р'}}} \sqrt{\frac{P\gamma'}{P'\gamma}} = 9{,}6 \sqrt{\frac{8500}{23000}} \sqrt{\frac{100 \cdot 2{,}3}{200 \cdot 0{,}73}} = 6{,}3 \text{ мм}.$$

Все остальные размеры не меняются.

Инжекционные горелки среднего давления с полным предварительным смешением. Инжекционные горелки среднего давления (рис. 17, *б*) применяются при наличии повышенного давления газа (1000—10000 *кгс/м²*) в тепловых агрегатах сравнительно небольшой производительности, где не требуется факел большой длины и равномерный обогрев топки, в котлах, не имеющих экранных поверхностей, и с малым объемом топочной камеры

(т. е. небольшой производительности — до 12—20 *т/ч*); в термических печах с малым топочным объемом, где требуется высокая температура.

При необходимости увеличения пределов регулирования возможно применение нескольких горелок или горелок блочного типа с регулированием теплопроизводительности путем их последовательного выключения.

Расчетные характеристики инжекционных горелок среднего давления

Минимальное давление газа перед горелкой для устойчивости работы, *кгс/м²*	1000—3000
То же, максимальное (при перегрузке в 3 раза), *кгс/м²*	9000
То же, при повышенных пределах регулирования, *кгс/м²*	До 15000
То же, при работе на подогретом воздухе, *ати*	2—3
Необходимое разрежение в топке, *кгс/м²*	0—3
Коэффициент избытка воздуха в горелке α	1,02—1,15
Потери тепла от химического недожога q_3	0
Скорость выхода газовоздушной смеси для природного газа, *м/сек*	10—20
То же, для искусственных газов, *м/сек*	15—30
Тепловое напряжение объема туннеля, *ккал/м³·ч*	$(1 \div 5) \cdot 10^{10}$
То же, топочного объема, *ккал/м³·ч*	$600 \cdot 10^3$
Диаметр туннеля $d_т$, *мм*	$2{,}5\ d_{кр}$
Длина туннеля для стабилизации горения природного газа $l_т$, *мм*	$6\ d_{кр}+30$
То же, для коксового и сланцевого, *мм*	$2{,}25\ d_{кр}$

Материал огнеупорных туннелей: хромистый железняк — 45%; магнезитовый порошок — 45%; огнеупорная глина — 10%. Материал радиационных панелей: шамот класса А — 70%, глина — 24%, асбест — 6%.

Расчет инжекционных горелок среднего давления производится аналогично расчету горелок низкого давления, но в другой последовательности.

Определяем площадь сечения $f_{кр}$ и диаметр кратера $d_{кр}$ горелки по минимально допустимой скорости истечения газовоздушной смеси из горелки, при которой не будет проскока газа в горелку. Для природных газов $w_{кр} = 10 \div 15$ *м/сек*.

$$f_{кр} = \frac{V_{min}(1 + L_д)}{3600 w_{кр}} \cdot \frac{273 + t_{кр}}{273}\ м^2; \qquad (107)$$

$$d_{кр} = \sqrt{\frac{f_{кр}}{0{,}785}}\ м. \qquad (108)$$

Далее определяем сечение и диаметр выходного конца диффузора

$$f_д = (1{,}5 \div 2) f_{кр}; \qquad (109)$$

$$d_д = \sqrt{\frac{f_д}{0{,}785}}. \qquad (110)$$

Диаметр горловины определяем по формуле (79).

Далее производят проверку баланса энергии в горелке, чтобы располагаемая энергия струи газа, вытекающей из сопла горелки, была больше всех потерь энергии в горелке и на выходе из нее.

Приход энергии E, затрату энергии на создание скорости инжектируемого воздуха $E_в$, затрату энергии на изменение скорости струи газа $E_г$, затрату энергии в диффузоре $E_д$ и скорость газа в выходном сечении диффузора определяют по формулам (89), (91), (93), (94) и (95), заменив в них выражение $\alpha' L_0$ на $L_д = \alpha L_0$.

При этом необходимо определить скорости газовоздушной смеси в горловине и выхода газа из сопла и удельный вес газовоздушной смеси в выходном сечении диффузора:

$$w_г = \frac{V_{min}(1 + L_д)}{3600 \cdot 0{,}785 d_г^2} \cdot \frac{273 + t_{см}}{273} \quad м/сек; \qquad (111)$$

$$w_с = w_г \frac{(\gamma + L_д \gamma_в)}{\gamma} \quad м/сек; \qquad (112)$$

$$\gamma_{см} = \frac{\gamma + L_д \gamma_в}{1 + L_д} \cdot \frac{273}{273 + t_{см}} \quad кг/м^3. \qquad (113)$$

Затраты энергии в насадке горелки определяют по формуле

$$E_н = \frac{1{,}5 (w_д - w_{кр})^2}{2g} (1 + L_д) \gamma_{см} \quad кгс \cdot м/м^3. \qquad (114)$$

Затраты энергии с выходной скоростью газовоздушной смеси из кратера горелки определяют по формуле

$$E_{кр} = \frac{w_{кр}^2 \gamma}{2g} (1 + L_д) \quad кгс \cdot м/м^3, \qquad (115)$$

Проверяем баланс энергии в горелке. Должно быть выдержано условие

$$E \geqslant E_в + E_г + E_д + E_н + E_{кр}. \qquad (116)$$

Если это условие не соблюдено, необходимо принять бо́льшую скорость выхода газа из сопла $w_с$.

Далее определяют необходимое давление газа при минимальной нагрузке горелки

$$P_{min} = \frac{E}{\varphi^2} \quad кгс/м^2. \qquad (117)$$

Пределы регулирования нагрузки определяют по формуле (105) исходя из максимального давления газа перед горелкой, которое не должно превышать критического давления, равного для природного газа 9000 $кгс/м^2$. При большем давлении нарушается ре-

жим истечения газа из сопла, меняется состав газовоздушной смеси — необходимо ручное подрегулирование.

Максимальную производительность горелки определяют по формуле

$$V = \frac{V_{min}}{n} \; нм^3/ч. \qquad (118)$$

Если пределы регулирования и максимальная производительность достаточны, расчет продолжают. Диаметр сопла определяют по формуле

$$d_c = \sqrt{\frac{V_{min}}{2830 w_c}} \; м. \qquad (119)$$

Сечение $f_{кр}$ и диаметр кратера $d_{кр}$ определяют по формулам (107) и (108) с заменой $\alpha' L_0$ на $L_д$.

Длину горловины определяют по соотношению

$$l_г = (3 \div 9)\, d_г. \qquad (120)$$

Длины диффузора, кратера и конфузора определяют по формуле (88), принимая угол раскрытия конфузора в пределах 40—60°.

Пример 29. Рассчитать инжекционную горелку среднего давления туннельного типа производительностью $V = 10 \div 14$ $нм^3/ч$ при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1{,}05$. Газ природный со следующими данными: $Q_н^р = 8500$ $ккал/ч$; $\gamma = 0{,}73$ $кг/нм^3$; $L_0 = 9{,}5$ $нм^3/нм^3$; $L_д = 1{,}05\, L_0 = 1{,}05 \cdot 9{,}5 = 10{,}0$ $нм^3/нм^3$.

По формуле (107) определяем площадь кратера горелки $f_{кр}$ принимая $w_{кр} = 10$ $м/сек$ и температуру газовоздушной смеси на выходе из кратера горелки (для охлаждаемого кратера) $t_{кр} = 50°$ С:

$$f_{кр} = \frac{V_{min}(1 + L_д)}{3600 w_{кр}} \cdot \frac{273 + t_{кр}}{273} = \frac{10(1 + 10)}{3600 \cdot 10} \cdot \frac{273 + 50}{273} = 0{,}0036 \; м^2.$$

Диаметр кратера горелки по формуле (108)

$$d_{кр} = \sqrt{\frac{f_{кр}}{0{,}785}} = \sqrt{\frac{0{,}0036}{0{,}785}} = 0{,}068 \; м = 68 \; мм.$$

Выходное сечение и диаметр диффузора определяем по формулам (109) и (110):

$$f_л = (1{,}5 \div 2)\, f_{кр} = (1{,}5 \div 2) \cdot 0{,}0036 = 0{,}0072 \; м^2;$$

$$d_д = \sqrt{\frac{0{,}0072}{0{,}785}} = 0{,}096 \; м = 96 \; мм.$$

Диаметр горловины определяем по формуле (79): $d_г = 0{,}55\, d_д = 0{,}55 \cdot 96 = 52{,}8$; принимаем 53 $мм$.

Скорости газовоздушной смеси в горловине и выхода газа из сопла определяем по формулам (111) и (112):

$$w_г = \frac{V_{min}(1+L_д)}{3600 \cdot 0{,}785 d_г^2} \cdot \frac{273+t_{см}}{273} = \frac{10(1+10)}{3600 \cdot 0{,}785 \cdot 0{,}053^2} \cdot \frac{273+20}{273} =$$

$$= 15 \text{ м/сек};$$

$$w_с = w_г \frac{\gamma + L_д \gamma_в}{\gamma} = 15 \cdot \frac{0{,}73 + 10 \cdot 1{,}293}{0{,}73} = 280 \text{ м/сек}.$$

Находим приход энергии в горелке по формуле (89):

$$E = \frac{w_с^2}{2g} \gamma = \frac{280^2}{2 \cdot 9{,}81} \cdot 0{,}73 = 2900 \text{ кгс} \cdot \text{м/м}^3.$$

Затраты энергии на создание скорости инжектируемого воздуха, на изменение скорости струи газа и затраты энергии в диффузоре определяем по формулам (91), (93) и (94):

$$E_в = \frac{w_г^2 \gamma_в L_д}{2g} = \frac{15^2 \cdot 1{,}293 \cdot 10}{19{,}62} = 144 \text{ кгс} \cdot \text{м/м}^3;$$

$$E_г = \frac{(w_с - w_г)^2}{2g} \gamma = \frac{(280-15)^2}{2 \cdot 9{,}81} \cdot 0{,}73 = 2600 \text{ кгс} \cdot \text{м/м}^3;$$

$$E_д = \frac{w_г^2 - w_д^2}{2g} (1+L_д) \gamma_{см} (1-\eta) = \frac{15^2 - 5^2}{2 \cdot 9{,}81} \cdot (1+10) \cdot 1{,}16 \times$$

$$\times (1-0{,}8) = 23 \text{ кгс} \cdot \text{м/м}^3.$$

Для этих расчетов $w_д$ и $\gamma_{см}$ определяем по формулам (95) и (113) при температуре воздуха в помещении 20° С:

$$w_д = \frac{V_{min}(1+L_д)}{3600 f_д} \cdot \frac{273+t_{см}}{273} = \frac{10(1+10)}{3600 \cdot 0{,}0072} \cdot \frac{273+20}{273} =$$

$$= 5{,}0 \text{ м/сек};$$

$$\gamma_{см} = \frac{\gamma + L_д \gamma_в}{1+L_д} \cdot \frac{273}{273+t_{см}} = \frac{0{,}73 + 10 \cdot 1{,}293}{1+10} \cdot \frac{273}{273+20} =$$

$$= 1{,}16 \text{ кг/м}^3.$$

Затрата энергии в кратере горелки по формуле (114)

$$E_н = \frac{1{,}5(w_д - w_{кр})^2}{2g} (1+L_д) \gamma_{см} = \frac{1{,}5 \cdot (5-10)^2}{2 \cdot 9{,}81} \cdot (1+10) 1{,}16 =$$

$$= 24{,}2 \text{ кгс} \cdot \text{м/м}^3.$$

Затрату энергии с выходной скоростью газовоздушной смеси из кратера горелки находим по формуле (115)

$$E_{кр} = \frac{w_{кр}^2 (1+L_д)}{2g} \gamma_{см} = \frac{10 \cdot (1+10)}{2 \cdot 9{,}81} \cdot 1{,}05 = 59 \text{ кгс} \cdot \text{м/м}^3,$$

где

$$\gamma_{кр} = \frac{\gamma + L_д \gamma_в}{1 + L_д} \cdot \frac{273}{273 + t_{кр}} = \frac{0{,}73 + 10 \cdot 1{,}293}{1 + 10} \cdot \frac{273}{273 + 50} =$$

$$= 1{,}05 \ кг/м^3.$$

Проверяем баланс энергии. Так как необходимое условие (116) выдержано

$E \geqslant E_в + E_г + E_д + E_н + E_{кр} = 2900 > 144 + 2600 + 23 + 24 + 59 > 2850$ $кгс \cdot м/м^3$, продолжаем расчет. Давление газа, необходимое при минимальной нагрузке $V_{min} = 10$ $нм^3/ч$, по формуле (117)

$$P_{min} = \frac{E}{\varphi^2} = \frac{2900}{0{,}8^2} = 4540 \ кгс/м^2.$$

Предел регулирования нагрузки определяем по формуле (105) при максимально допустимом давлении газа перед горелкой $P = 9000$ $кгс/м^2$

$$n = \sqrt{\frac{P_{min}}{P}} = \sqrt{\frac{4540}{9000}} = 0{,}71.$$

Максимальную производительность горелки находим по формуле (118)

$$V = \frac{V_{min}}{n} = 10 : 0{,}71 = 14{,}1 \ нм^3/ч.$$

Далее вычисляем диаметр сопла, площадь и диаметр входного сечения конфузора по формулам (119), (80) и (81):

$$d_с = \sqrt{\frac{V_{min}}{2830 w_с}} = \sqrt{\frac{10}{2830 \cdot 280}} = 0{,}0035 \ м = 3{,}5 \ мм;$$

$$f_к = \frac{V L_д}{3600 w_в} = \frac{10 \cdot 10}{3600 \cdot 2} = 0{,}0139 \ м^2;$$

$$d_к = \sqrt{\frac{f_к}{0{,}785}} = \sqrt{\frac{0{,}0139}{0{,}785}} = 0{,}133 \ м = 133 \ мм.$$

Длину горловины, диффузора при угле раскрытия $\beta = 8°$, кратера при $\beta = 30°$ и конфузора при $\beta = 40°$ определяем по формулам (120) и (88),

$$l_г = (3 \div 9) d_г = (3 \div 9) \cdot 53 = 160 \div 480 \ мм,$$

принимаем $l = 300$ $мм$;

$$l_д = \frac{d_д - d_г}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} = \frac{96 - 53}{2 \cdot 0{,}07} = 307 \ мм;$$

$$l_{кр} = \frac{d_д - d_{кр}}{2 \operatorname{tg} 15°} = \frac{96 - 68}{2 \cdot 0{,}268} = 52 \ мм;$$

$$l_к = \frac{d_к - d_г}{2\,tg\,20°} = \frac{133 - 53}{2 \cdot 0{,}364} = 110\ мм.$$

РАСЧЕТ ТЯГИ И ДУТЬЯ

Устройство дымоходов и дымовых труб должно выполняться в соответствии с действующими СНиП и правилами Госгортехнадзора. Целью расчета тяги является выбор необходимого сечения газового тракта и высоты дымоходов или дымовой трубы, а при необходимости механической тяги и выбор необходимого типоразмера дымососов .

Оптимальные скорости движения газов при номинальных нагрузках, *м/сек* [2]

Для газоходов приборов, котлов и печей . . .	5÷10
Для боровов крупных установок	3—4
Для дымоходов бытовых приборов	1,5—2
Для дымовых труб установок с естественной тягой в выходном сечении	3—10
То же, с искусственной тягой	6—20

Предварительно определяют сечение участков газового тракта исходя из оптимальных скоростей движения газов при номинальных нагрузках. Живое (свободное) сечение для прохода дымовых газов определяется по формуле

$$F = \frac{B_р V_г (273 + \vartheta_{ср})}{3600 \cdot 273w}\ м^2, \qquad (121)$$

где $B_р$ — максимальный расход газа топочной установкой, *нм³/ч*;
w — скорость движения газов на участке, *м/сек*.

По правилам Госгортехнадзора [9] площадь сечения дымоходов от проточных водонагревателей должна быть не менее 150 *см²*, от АГВ — не менее 100 *см²*. Не рекомендуется принимать сечения дымоходов от этих приборов более 200 *см²*.

Охлаждение дымовых газов $\Delta\vartheta$ при движении по газоходам, *град/м* [2]

В железной соединительной трубе	8
В кирпичном дымоходе до крыши	2
То же, выше крыши	5
В стальной нефутерованной дымовой трубе . . .	0,8
	$\sqrt{D}$
В кирпичной трубе (D — паропроизводительность котельной, *т/ч*)	0,4
	$\sqrt{D}$

При точных расчетах (особенно при длинных соединительных трубах) охлаждение газов определяется по формуле

$$\Delta\vartheta = \frac{\vartheta_н - t_н}{\frac{0{,}33 B_р V_г}{KF} + 0{,}5}\ °C, \qquad (122)$$

где F — внутрениняя поверхность дымохода, $м^2$;

$\vartheta_н, t_н$ — температура газов в начале участка и окружающего воздуха, ° С;

K — коэффициент теплопередачи стенок дымохода, отнесенный к его внутренней поверхности.

Для железных соединительных труб $K=3\div4$ $ккал/м^2 \cdot ч \cdot град$, для изолированных асбестом толщиной 2 $см$ $K=3$ $ккал/м^2 \cdot ч \times \times град$ [5].

Средняя температура газов в газоходе

$$\vartheta_{ср} = \vartheta_н - \Delta\vartheta \frac{l}{2} \text{ °C}, \tag{123}$$

где l — длина газохода, $м$.

Затем определяют сопротивление газового тракта

$$S = \Delta S_т + \Delta S_{уст} + \Delta S_ш + \Delta S_б + \Delta S_{тр} \ кгс/м^2, \tag{124}$$

где $\Delta S_т$ — разрежение в топке, необходимое для работы установки, $кгс/м^2$;

$\Delta S_{уст}$ — сопротивление собственно установки (котла, печи и т. д.), $кгс/м^2$;

$\Delta S_ш$ — сопротивление шибера, принимаемое при скорости газов 2—5 $м/сек$ равным 0,5—2 $кгс/м^2$;

$\Delta S_б$ — сопротивление боровов, принимаемое при скорости движения газов 3—5 $м/сек$ равным 2 $кгс/м^2$ на каждые 25 $м$.

Значение $\Delta S_т$ принимается в зависимости от вида приборов и типа установленных горелок: для небольших газовых приборов и водонагревателей 0,2—0,3; для газовых приборов повышенной производительности — 1,0; для отопительных котлов и других подобных установок — по характеристике установленных горелок 2,0—7,0 $кгс/м^2$.

Значение $\Delta S_{уст}$ берется по опытным данным или эмпирическим формулам. Для чугунных секционных котлов $\Delta S_к = 3\div 5$ $кгс/м^2$. Для других типов котлов рекомендуются следующие формулы [2]:

для вертикальных котлов Шухова

$$\Delta S_к = 0{,}0041 \left(\frac{D_н}{H_к} \alpha''_к\right)^2 - 3; \tag{125}$$

для жаротрубных и горизонтально-водотрубных котлов

$$\Delta S_к = 0{,}006 \left(\frac{D_н}{H_к} \alpha''_к\right)^2; \tag{126}$$

для водяных экономайзеров ВТИ

$$\Delta S_{ок} = 0{,}5n \frac{w^2_{ср}}{2g} \gamma_{ср}; \tag{127}$$

для трубчатых воздухоподогревателей

$$\Delta S_в = 6 \left(\frac{w_{ср}}{6}\right)^2 \frac{l}{4}. \tag{128}$$

Здесь $\frac{D_н}{H_к}$ — паросъем с 1 $м^2$ по нормальному пару, $кг/м^2 \cdot ч$;

$\alpha_к$ — коэффициент избытка воздуха за котлом;

$w_{ср}$ — средняя скорость газов, $м/сек$;

$\gamma_{ср}$ — средний удельный вес газов, $кг/м^3$;

n — число труб по ходу газов;

l — длина труб, $м$.

Для бытовых газовых приборов с тягопрерывателем в формулу (124) вместо $(\Delta S_т + \Delta S_{уст})$ ставится необходимое разрежение перед тягопрерывателем 0,2—0,3 $кгс/м^2$.

Для более сложных установок сопротивление определяется аэродинамическим расчетом по отдельным газоходам по формулам гидравлики:

сопротивление трения

$$\Delta S = Rl; \tag{129}$$

сопротивление местных сопротивлений

$$Z = \Sigma\zeta \frac{w^2}{2g} \gamma. \tag{130}$$

По этим же формулам определяется сопротивление дымовых труб и дымоходов $\Delta S_{тр}$.

Далее вычисляем тягу, создаваемую дымовой трубой или дымоходами, по формуле

$$H_{тр} = \Sigma Z (\gamma_н - \gamma_г) \frac{P_{бар}}{760} кгс/м^2, \tag{131}$$

где Z — высота дымовой трубы, $м$;

$\gamma_н$, $\gamma_г$ — удельный вес наружного воздуха и средний удельный вес газов в дымовой трубе, $кг/нм^3$;

$P_{бар}$ — барометрическое давление наружного воздуха, $мм\ рт.\ ст.$

Если установка работает круглый год с постоянной нагрузкой, удельный вес наружного воздуха $\gamma_н$ определяется при летней расчетной температуре; для чисто отопительной нагрузки — при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления; при смешанной нагрузке необходимо сделать расчет дважды (сопротивление газового тракта проверяется при двух нагрузках, а тяга трубы — при двух наружных температурах).

При наличии в установке высоких вертикальных газоходов необходимо также учитывать создаваемые в них гидростатические давления (самотягу). Если газы в газоходах двигаются вверх, величина самотяги берется со знаком плюс, а если газы двигаются вниз — со знаком минус.

Если тепловой расчет установки не делается, удельный вес газов при нормальных условиях принимают равным удельному весу воздуха. Тогда формула (131) будет иметь вид

$$H_{тр} = 0{,}47Z \left(\frac{1}{273 + t_н} - \frac{1}{273 + \vartheta_{ср}} \right) P_{бар}\ кгс/м^2. \tag{132}$$

Дымовые трубы от котельных должны быть высотой не менее 20 *м* и на 5 *м* выше зданий, расположенных на расстоянии до 25 *м* от трубы. При больших количествах дымовых газов и при высоких газовых сопротивлениях, когда возникает необходимость в дымовых трубах высотой более 50 *м*, применяется искусственная тяга.

Производительность дымососов определяется по формуле

$$V_д = \frac{1{,}05 B_р V_г (273 + \vartheta_д)}{273} \; м^3/ч. \qquad (133)$$

Далее определяем необходимое полное давление дымососа, приведенное к каталожным условиям, и установленную мощность электродвигателя:

$$H_д = 1{,}1 \, (S - H_{тр}) \, \frac{273 + \vartheta_д}{273 + \vartheta_{кат}} \; кгс/м^2; \qquad (134)$$

$$N = K \, \frac{V_д H_д}{3600 \cdot 102 \eta_д \eta_п} \; кв\,т. \qquad (135)$$

Здесь $\vartheta_д$, $\vartheta_{кат}$ — температура газов в дымососе и по каталогу, ° С;

$\eta_д$, $\eta_п$ — к. п. д. дымососа и ременной передачи;

K — коэффициент запаса по мощности.

Температура газов в дымососе должна быть в пределах 100—250° С. Значение K принимается в зависимости от мощности электродвигателя 1,1÷1,5; чем больше мощность, тем меньше K.

Выбор дымососов необходимо производить из условия получения максимально возможного коэффициента полезного действия. Применение ременной передачи нежелательно.

Необходимая производительность дутьевых вентиляторов с запасом в 5%

$$L_в = 1{,}05 B_р \alpha L_0 \, \frac{273 + \vartheta_в}{273} \; м^3/ч, \qquad (136)$$

где $\vartheta_в$ — температура воздуха в вентиляторе, ° С;

Необходимое давление дутьевых вентиляторов с запасом в 10%

$$H_в = 1{,}1 \, (P_{гор} + \Delta S_в) \; кгс/м^2, \qquad (137)$$

где $P_{гор}$ — давление воздуха перед горелкой, принимаемое по расчетным характеристикам горелок;

$\Delta S_в$ — сопротивление воздуховодов, рассчитываемое аналогично сопротивлению дымоходов и ориентировочно принимаемое 15—20 *кгс/м²* (при скорости воздуха 5—8 *м/сек*).

Пример 30. Рассчитать тягу и определить высоту дымоходов для проточных водонагревателей жилого дома в Харькове. Установка колонки и устройство дымоходов показаны на рис. 13. Дом с бесчердачным перекрытием. Состав газа такой же, как в примере 25.

Расчет выполняем по наихудшим условиям работы для верхнего (пятого) этажа здания в летнее время; газовая колонка типа КГИ с наибольшим расходом газа $q=25000$ *ккал/ч*. Температуру наружного воздуха принимаем по СНиП II-А.6—62 $t_н = +25{,}1°$ С; температура в кухне — $+30°$ С; коэффициент избытка воздуха колонки $\alpha=2{,}5$; температура уходящих газов перед тягопрерывателем $\vartheta_{ух} = 180°$ С. При этом считаем, что в предельном случае, при минимальной тяге, разрежение перед тягопрерывателем равно 0, и подсоса воздуха через тягопрерыватель не происходит.

Расчет выполняем методом подбора, задаваясь высотой дымохода над крышей. Если полученная тяга окажется недостаточной, задаемся другой высотой дымохода, пока не получим достаточную тягу. В примере приведен только окончательный расчет.

Принимаем высоту дымохода над крышей 2,5 *м*. Расход газа колонкой определяем по формуле (1)

$$B_р = v = \frac{q}{Q_н^р} = \frac{25000}{8500} = 2{,}94 \text{ } нм^3/ч.$$

Полный объем $V_г$ продуктов сгорания 1 $нм^3$ газа при $\alpha=2{,}5$ берем по табл. 22 — $V_г=27{,}0$ $нм^3/ч$.

По табл. 23 находим удельный вес дымовых газов при $\alpha=2{,}5$ $\gamma_г=1{,}26$ $кг/нм^3$. Определяем температуру дымовых газов по газоходам. При этом принимаем охлаждение газов в железной соединительной трубе 8° С на 1 *м*, в кирпичном дымоходе до крыши 2° С и над чердаком 5° С.

Далее определяем температуру газов в конце дымоходов:

в конце вертикального участка соединительной трубы длиной 0,5 *м* 180—4=176°;

в конце железной соединительной трубы 176—5,2=170,8°;

в дымоходе на уровне крыши 170,8—2·0,75=169,3°;

на выходе газов в атмосферу 169,3—5·2,5=156,8°.

Определяем средние температуры дымовых газов по участкам дымоходов:

в вертикальном участке железной соединительной трубы

$$\upsilon_{ср} = \frac{180+176}{2} = 178°;$$

в железной соединительной трубе $\upsilon_{ср} = \frac{180+171}{2} = 175°$;

в дымоходе $\upsilon_{ср} = \frac{171+157}{2} = 164°$.

Затем вычисляем средние удельные веса газов в дымоходах (в $кг/м^3$):

в вертикальном участке соединительной трубы

$$\gamma_д = \gamma_г \frac{273}{273 + \vartheta_{ср}} = 1{,}26 \cdot \frac{273}{273 + 178} = 0{,}763;$$

в соединительной трубе $\gamma_д = 1{,}26 \cdot \frac{273}{273 + 175} = 0{,}768$;

в дымоходе $\gamma_д = 1{,}26 \cdot \frac{273}{273 + 164} = 0{,}786$;

на выходе газов в атмосферу $\gamma_д = 1{,}26 \cdot \frac{273}{273 + 157} = 0{,}80.$

Среднюю скорость движения газов по дымоходам определяем по формуле (121) в *м/сек*:

в железной соединительной трубе

$$w = \frac{B_р V_г (273 + \vartheta_{ср})}{3600 \cdot 273F} = \frac{2{,}94 \cdot 27 \cdot (273 + 175)}{3600 \cdot 273 \cdot 0{,}785 \cdot 0{,}125^2} = 2{,}94;$$

в дымоходе сечением 170×115 *мм*

$$w = \frac{29{,}4 \cdot 27 \cdot (273 + 164)}{3600 \cdot 273 \cdot 0{,}17 \cdot 0{,}115} = 1{,}82;$$

на выходе газов в атмосферу

$$w = \frac{29{,}4 \cdot 27 \cdot (273 + 157)}{3600 \cdot 273 \cdot 0{,}17 \cdot 0{,}115} = 1{,}77.$$

Для определения потерь давления в газовом тракте предварительно определяем удельное падение давления на трение R

$$R = R_в \frac{\gamma_г}{\gamma_в} = 0{,}11 \cdot \frac{0{,}768}{1{,}2} = 0{,}07 \ кгс/м^2 \cdot м.$$

Удельное сопротивление трения воздуха $R_в$ о стенки определяется по номограмме для расчета воздуховодов [13].

Потери давления на трение в железной соединительной трубе длиной 1,2 *м* $Rl = 0{,}07 \cdot 1{,}2 = 0{,}08$ *кгс/м*^{2}.

Далее подсчитываем потери давления в местных сопротивлениях соединительной трубы. Коэффициенты местных сопротивлений следующие [4]:

Тягопрерыватель	0.5
Два колена по три звена . . .	$2 \times 0{,}45 = 0{,}9$
Поворот на 90° при входе газов в дымоход	1,1
Внезапное расширение потока там же	0,1
Всего	$\Sigma\zeta = 2{,}6$;

$$z = \Sigma\zeta \frac{w^2}{2g} \gamma = 2{,}6 \cdot \frac{2{,}94^2}{19{,}62} \cdot 0{,}768 = 0{,}88 \ кгс/м^2.$$

Для определения потерь на трение в шлакобетонном дымоходе

длиной 1,75 *м* сечением 115×170 *мм*, вычисляем эквивалентный диаметр сечения дымохода

$$d_{эк} = \frac{2ab}{a+b} = \frac{2 \cdot 115 \cdot 170}{115+170} = 137 \text{ мм}.$$

Удельное падение давления в дымоходе

$$R = R_{20} \frac{\gamma}{1,2} = 0,04 \cdot \frac{0,768}{1,2} = 0,026 \text{ кгс/м}^2 \cdot \text{м};$$

для шлакобетонных дымоходов значение R увеличиваем в 3 раза

$$3Rl = 3 \cdot 0,026 \cdot 3,75 = 0,25 \text{ кгс/м}^2.$$

Потери на выходе газов из дымоходов в атмосферу при коэффициенте местного сопротивления выхода без зонта $\zeta = 1,0$

$$z = \zeta \frac{w^2}{2g} \gamma = 1,0 \cdot \frac{1,77^2}{19,62} \cdot 0,80 = 0,13 \text{ кгс/м}^2.$$

Суммарное падение давления в дымоходах составляет:

$$0,08 + 0,88 + 0,25 + 0,13 = 1,34 \text{ кгс/м}^2.$$

Тягу, создаваемую вертикальными участками соединительной трубы и дымохода, определяем по формуле (131)

$$H = \Sigma z (\gamma_н - \gamma_г) \frac{P_{бар}}{760} = [0,5 \cdot (1,185 - 0,763) +$$

$$+ 0,75 \cdot (1,185 - 0,776) + 2,5 (1,185 - 0,786)] \cdot \frac{745}{760} =$$

$$= [0,21 + 0,31 + 1,00] \cdot \frac{745}{760} = 1,49 \text{ кгс/м}^2.$$

Запас по тяге равен разнице между тягой H и сопротивлением газового тракта S

$$H - S = 1,49 - 1,34 = 0,15 \text{ кгс/м}^2.$$

Так как расчет произведен для наихудших условий работы и для прибора верхнего этажа, результат можно считать приемлемым.

ГАЗОСНАБЖЕНИЕ КОТЕЛЬНЫХ С ЧУГУННЫМИ КОТЛАМИ

Проект газоснабжения котельных с секционными котлами состоит из следующих элементов:

план и разрезы по фронту котлов и поперек котельной в масштабе 1 : 100 или 1 : 50. На чертежах показывается расположение котлов, боровов, тяговая установка, дутьевая установка, газопроводы, газооборудование, предохранительные устройства, автоматика и контрольно-измерительные приборы, со всеми необходимыми монтажными размерами и принципиальными решениями

по вентиляции котельной;

аксонометрическая схема основных и вспомогательных газопроводов;

план и разрез котла и топки с подробным изображением всего топочного устройства, обмуровки, расположения горелок, взрывных клапанов со всеми размерами;

узлы редуцирования давления, установки и обвязки счетчика;

все необходимые конструкторские и деталировочные чертежи — предохранительных устройств, боровов, шибера, дымовой трубы, горелки и т. д.

расчетно-пояснительная записка с обоснованием всех принципиальных решений и со всеми необходимыми расчетами — определение нагрузок, выбор типа и количества котлов, расчет индивидуальных или подбор типовых горелок, расчет газопроводов, расчет тяги и дутья.

Техническая характеристика некоторых секционных котлов приведена в табл. 27.

Таблица 27. **Техническая характеристика**

Тип котла	Поверхность нагрева H, $м^2$	Теплосъем q, водогрейных
ВНИИСТО-Мч (большая модель)	1,18; 1,50; 1,82; 2,14; 2,46; 2,78 3,10; 3,42; 3,74	—
Кч-1	8,4; 11,6; 14	12000
МГ-15	11,6; 17,4; 23,2 29,0; 34,8 40,6.	9000
Универсал-5	15,2; 19,7; 24,2; 28,6; 33,1; 37,6	12000
Универсал-6 (односторонний)	12,2; 19,5	12000
(двусторонний)	19,8; 24,2; 28,6; 33,0; 37,4; 41,8; 46,2	12000
НИИСТУ-5	25,8; 32,3; 39,4; 46,5	10000
Энергия-3	36,8; 55,2; 73,6	12000
Энергия-6	29,6; 42,0; 52,7	10000
ИСКИТИМ-1	35,0; 48,5; 62,5	10000
Тула-1	33,0; 43,2; 59,4	

Примечания: 1. Теплосъем с поверхности нагрева котлов указан по

2. Максимально допустимая температура подогрева воды котлов ВНИИСТ 6 *кгс/см²*; пара — 0,7 *ати*. Температура уходящих газов $\vartheta_{ух} = 250—300°$ С

3. Коэффициент избытка воздуха и разрежение в топке принимаются по установленных горелок обычно равно 4—6 *кгс/м²*.

Теплопроизводительность котла определяется по формуле

$$Q_к = qH \text{ ккал/ч}; \qquad (138)$$

необходимое количество котлов

$$n = \frac{Q}{Q_к}, \qquad (139)$$

где Q тепловая нагрузка котельной, *ккал/ч*;

H — поверхность нагрева котла, $м^2$;

q — теплосъем с 1 $м^2$, *ккал/ч*.

Пример 31. Запроектировать газоснабжение котельной с котлами «Энергия-6» для отопления и горячего водоснабжения жилого квартала в Харькове. Численность населения — 2000 чел.; кубатура жилых зданий 100 000 $м^3$, общественных — 30 000 $м^3$. Газ Шебелинковского месторождения $Q_н^р = 8500$ *ккал/нм*^{3}. План, разрезы котельной и аксонометрическая схема трубопроводов показаны на рис. 19—21.

Определяем необходимую теплопроизводительность котельной. Расход тепла на отопление жилых и общественных зданий вычисляем по формуле (10)

$$Q_о = q_0 (t_{вн} - t_{н.о}) V_ж + q_0 (t_{вн} - t_{н.о}) V_{об} =$$

$$= \frac{0{,}4 \cdot [18 - (-23)] \cdot 100000 + 0{,}4 \cdot [18 - (-23)] \cdot 30000}{10^6} = 2{,}012 \; Гкал/ч.$$

чугунных отопительных котлов

котлов *ккал/м²·ч*	Строительные размеры, *мм*		
паровых	Ширина	Высота	Длина
—	460	980	320; 400; 480; 560; 640; 720; 800; 880; 960
11000	1610	1950	875; 1125; 1375
8000	1830	1930	970; 1225; 1480; 1740; 1995; 2455
11000	2060	1850	960; 1210; 1460; 1710; 1960; 2210; 2400
11000	1510	2100	1750; 2250
	2070	2100	1250; 1750; 2000; 2250; 2500; 2750; 2950
10000	2105	2800	1950; 2400; 2850; 3300
9000	2900	2630	1815; 2340; 2880
11000	2460	2390	1689; 2217; 2745
9000	2660	2630	1880; 2410; 2940
9000	2630	2424	1585; 1870; 2400

данным НИИ Сантехники.

О-Мг — 95° С; остальных — 115° С. Максимально допустимое давление воды — (нижнее значение — для малых котлов).

типу применяемых горелок. Разрежение за котлом в зависимости от типа

Расход тепла на вентиляцию общественных зданий и на горячее водоснабжение определяем по формулам (13) и (16):

$$Q_в = q_в (t_{вч} - t_{н.в}) V_{об} = 0{,}2 \cdot [18 - (-13)] \cdot 30000 =$$

$$= 186000 \; Гкал/ч;$$

$$Q_{г.в} = 6m (a + b) = 6 \cdot 2000 \cdot (80 + 10) = 1080000 \; ккал/ч.$$

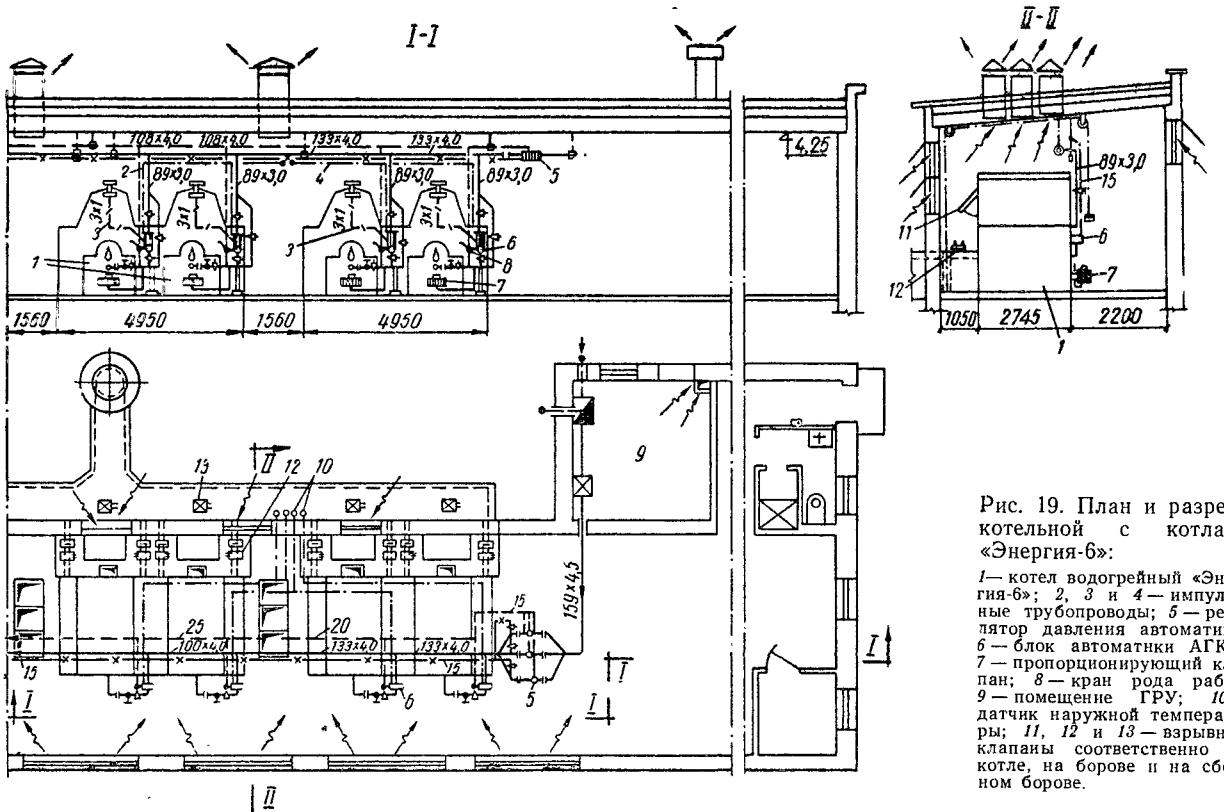


Рис. 19. План и разрезы котельной с котлами «Энергия-6»:

1 — котел водогрейный «Энергия-6»; *2*, *3* и *4* — импульсные трубопроводы; *5* — регулятор давления автоматики; *6* — блок автоматики АГК-2; *7* — пропорционирующий клапан; *8* — кран рода работ; *9* — помещение ГРУ; *10* — датчик наружной температуры; *11*, *12* и *13* — взрывные клапаны соответственно на котле, на борове и на сборном борове.

Максимальную теплопроизводительность одного котла (водогрейного и парового) определяем по теплосъему с 1 $м^2$ (см. табл. 27):

$$Q_{вод} = 12000H = 12000 \cdot 52{,}7 = 632000 \text{ } ккал/ч;$$

$$Q_{п} = 11000H = 11000 \cdot 52{,}7 = 579000 \text{ } ккал/ч.$$

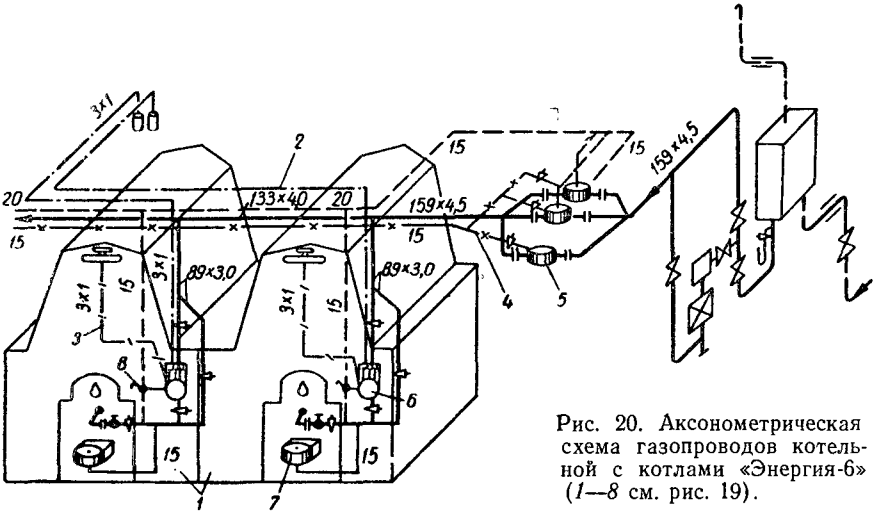


Рис. 20. Аксонометрическая схема газопроводов котельной с котлами «Энергия-6» (*1—8* см. рис. 19).

Определяем необходимое количество водогрейных котлов для отопления и вентиляции и паровых котлов для горячего водоснабжения:

$$n = \frac{Q_{о} + Q_{в}}{Q_{вод}} = \frac{2012000 + 186000}{632000} = 3{,}5;$$

$$n = \frac{Q_{г.в}}{Q_{п}} = \frac{1080000}{579000} = 1{,}9.$$

Принимаем 4 водогрейных и 2 паровых котла.

Учитывая возможность некоторого увеличения нагрузки и потери тепла в сети, расчет котельной ведем на максимально возможную производительность всех котлов

$$Q = 4 \cdot 632000 + 2 \cdot 579000 = 3686000 \text{ } ккал/ч.$$

Вычисляем расход газа водогрейным и паровым котлами по формуле (9)

$$B_{р} = \frac{Q_{вод}}{Q_{н}^{р} \eta} = \frac{632000}{8500 \cdot 0{,}8} = 93 \text{ } нм^3/ч;$$

$$B_{р} = \frac{Q_{п}}{Q_{н}^{р} \eta} = \frac{579000}{8500 \cdot 0{,}8} = 85 \text{ } нм^3/ч.$$

Суммарный расход газа котельной

$$B_р = 4 \cdot 93 + 2 \cdot 85 = 542 \ нм^3/ч.$$

Далее выбираем газооборудование котельной. Котельная снабжается газом от газопровода среднего давления. Газ под давлением до 3 *кгс/см²* поступает в помещение ГРУ, где размещается шкафный ГРП типа ШП-1 с одним регулятором давления типа

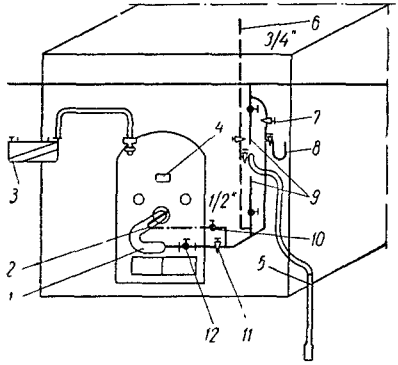


Рис. 21. Газооборудование котла «Энергия-6» с подовыми горелками:
1 — двухколлекторная подовая горелка; *2* — стационарный запальник (огневая дорожка); *3* — тягомер; *4* — отверстие для внесения переносного запальника; *5* — переносной инжекционный запальник на резиновой трубке; *6* — продувочный газопровод; *7* — отключающий кран на опуске; *8* — манометр; *9* — подключение автоматики АГК-2; *10* — рабочий кран стационарного запальника; *11* — рабочий кран горелки; *12* — регулировочный вентиль горелки.

РДУК2-50 и газовый счетчик РС-600. Из ГРУ газ поступает в котельное помещение, где вначале проходит через регуляторы давления автоматики АГК-2 и далее по разводящей магистрали подается к котлам. На вводе газопровода в котельную снаружи здания, на обвязке счетчика и перед котлами устанавливаются отключающие устройства.

Котлы оборудуются для работы на природном газе подовыми горелками низкого давления с подачей воздуха за счет разрежения в топке, создаваемого дымовой трубой. На всех котлах устанавливаются U-образные манометры для замера давления газа, тягомеры для контроля тяги и запальные горелки. Предусматривается также устройство взрывных клапанов: по 1 на задней стенке каждого котла, по 1 на каждом отводе газов от котла к борову (до шиберов) и 6 клапанов на сборном борове — по 1 против каждого котла. Площадь взрывных клапанов определяется из расчета 250 *см²* на 1 *м³* объема топки и дымоходов.

Газопроводы котельной рассчитываем по методу тупиковых сетей низкого давления с сосредоточенными нагрузками. Необходимое давление газа перед горелками $P_г = 40$ *кгс/м²*. Расчет выполняем на перепад давления в газопроводе $\Delta P = 25$ *кгс/м²* и сводим в расчетную таблицу (табл. 28).

Необходимое давление после ГРУ равно 40+31,3=71,3 *кгс/м²*; принимаем с запасом 100 *кгс/м²*.

Далее производим расчет тяги. Вследствие небольшой производительности котельной и малого сопротивления принимаем естественную тягу с помощью отдельно стоящей кирпичной дымовой трубы. Так как высота трубы должна быть не ниже 20 *м*

Таблица 28. **Гидравлический расчет газопроводов котельной**

Участок	Длина участка, *м*		Расчетный расход газа по участку V, *нм³/ч*	Диаметр газопровода $D_у$, *мм*	Удельное падение давления h, *кгс/м²·м*	Падение давления на участке $hl_р$, *кгс/м²*	Суммарное падение давления $\Sigma hl_р$, *кгс/м²*
	действительная l	расчетная $l_р$					
К паровому котлу	6	7,2	85	80	0,31	2,2	2,2
К 2 котлам	4	4,8	170	100	0,34	1,6	3,8
К 3 котлам	2,5	2,75	263	100	0,75	2,1	5,9
К 4 котлам	4	4,8	356	125	0,47	2,3	3,2
К 5 котлам	2,5	2,75	449	125	0,64	1,8	10,8
К 6 котлам	15	18,0	542	150	0,35	6,3	16,3
Газовый счетчик							15
Всего . . .							31,3

и на 5 *м* выше зданий, находящихся от нее в радиусе до 25 *м*, принимаем предварительно высоту трубы 20 *м* и температуру уходящих газов за котлом $\vartheta''_к = 300°$.

Охлаждением газов в подземных боровах пренебрегаем; охлаждение газов в кирпичной дымовой трубе определяем по формуле

$$\Delta\vartheta = \frac{0,4}{\sqrt{D}} = \frac{0,4}{\sqrt{\frac{Q}{i \cdot 1000}}} = \frac{0,4}{\sqrt{\frac{3686000}{640000}}} = 0,17 \ град/м,$$

где $i \cdot 1000$ — энтальпия 1 *т* пара.

Тогда средняя температура и средний удельный вес газов в дымовой трубе определятся по формуле (123)

$$\vartheta_{ср} = \vartheta''_к - \Delta\vartheta \ \frac{z}{2} = 300 - 0,17 \cdot \frac{20}{2} = 298°C;$$

$$\gamma_{тр} = \gamma_г \ \frac{273}{273 + \vartheta} = 1,25 \cdot \frac{273}{273 + 298} = 0,60 \ кг/нм^3.$$

Удельный вес газа $\gamma_г$ принимаем при $\alpha = 1,35$ по табл. 22.

Определяем секундный расход газа в дымовой трубе при $\alpha = 1,35$ по формуле (121)

$$V_{сек} = \frac{B_р V_г (273 + \vartheta_{ср})}{3600 \cdot 273} = \frac{542 \cdot 15,1 \cdot (273 + 298)}{3600 \cdot 273} = 4,7 \ м^3/сек.$$

Сечение дымовой трубы определяем, принимая скорость движения газов в трубе для естественной тяги $w = 8$ *м/сек*,

$$F_{тр} = \frac{V_{сек}}{w} = \frac{4,7}{8} = 0,60 \ м^2.$$

Внутренний диаметр дымовой трубы

$$d_{тр} = \sqrt{\frac{F}{0{,}785}} = \sqrt{\frac{0{,}60}{0{,}785}} = 0{,}88 \text{ м}.$$

Принимаем $d_{тр} = 900$ мм.

Тогда скорость газов в трубе будет

$$w_{тр} = \frac{V_{сек}}{F} = \frac{4{,}7}{0{,}785 \cdot 0{,}9^2} = 7{,}4 \text{ м/сек}.$$

Сечение сборного борова определяем по тому же секундному расходу и скорости газов в борове 3—5 м/сек

$$F = \frac{V_{сек}}{w} = \frac{4{,}7}{4} = 1{,}2 \text{ м}^2.$$

Принимаем боров размерами $0{,}9 \times 1{,}5$ м.

Далее определяем сопротивление газового тракта. Разрежение в топке для подовых горелок низкого давления принимаем по их расчетным характеристикам $\Delta S_т = 2$ кгс/м²; сопротивление котла $\Delta S_к = 4$ кгс/м²; сопротивление сборного борова длиной 13 м при скорости газов до 4 м/сек $\Delta S_б = 1$ кгс/м², сопротивление шибера на выходе газов из котла $\Delta S_ш = 1$ кгс/м².

Потерю тяги с выходной скоростью газов определяем по формуле (130)

$$\Delta S_{вых} = \zeta \frac{w^2_{вых}}{2g} \gamma = 1{,}0 \frac{7{,}4^2}{2 \cdot 9{,}81} \cdot 0{,}6 = 1{,}7 \text{ кгс/м}^2.$$

Сопротивление трения газов в дымовой трубе

$$\Delta S_{тр} = \lambda \frac{w^2}{2g} \cdot \frac{\gamma}{d} Z = 0{,}04 \cdot \frac{7{,}4^2 \cdot 0{,}6}{2 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}9} \cdot 20 = 1{,}5 \text{ кгс/м}^2.$$

Суммарное сопротивление газового тракта

$$S = 2 + 4 + 1 + 1 + 1{,}7 + 1{,}5 = 11{,}2 \text{ кгс/м}^2.$$

Тягу, создаваемую дымовой трубой, определяем по формуле (131)

$$H_{тр} = Z (\gamma_в - \gamma_г) \frac{P_{бар}}{760} = 20 \cdot (1{,}412 - 0{,}60) \cdot \frac{750}{760} = 16 \text{ кгс/м}^2.$$

Запас по напору

$$H_{тр} - S = 16 - 11{,}1 = 4{,}9 \text{ кгс/м}^2.$$

Разрежение в топке равно $2 + 4{,}9 = 6{,}9$ кгс/м² вместо необходимых 2 кгс/м².

Если удельный вес газов неизвестен, по приближенной формуле получим

$$H_{тр} = 0{,}47 Z \left(\frac{1}{273 + t_н} - \frac{1}{273 + \vartheta_{тр}} \right) b =$$

$$0{,}47 \cdot 20 \cdot \left(\frac{1}{273 + (-23)} - \frac{1}{273 + 298} \right) \cdot 750 = 15{,}8 \text{ кгс/м}^2.$$

При проектировании установок сжиженного газа возможность применения того или иного газа определяется давлением газа в емкостях, рабочей температурой наружного воздуха и составом газа.

Давление газа в емкости со сжиженным газом должно быть таким, чтобы не происходило вскипания жидкости. От величины давления зависит вес емкостей, а следовательно, и экономичность использования газа. Согласно СНиП II-Г.12—65 упругость насыщенных паров в емкости должна быть не выше 16 *кгс/см*^{2}.

Для осуществления регазификации (испарения) сжиженного газа в емкостях, чтобы получить давление, необходимое для работы установки, желательно использовать тепло окружающего воздуха, так как иначе возникает необходимость искусственного подогрева жидкости для ее испарения. Температуру в емкости можно принимать на 5—6° С ниже температуры внешней среды. Минимально необходимое давление в емкости для работы установки с учетом потерь давления в горелке и регуляторе давления можно принимать 1,4 *ата*.

Для получения необходимого давления газа определяют также состав сжиженного газа при данной температуре наружного воздуха.

Для смеси пропана с бутаном пользуются графиком на рис. 22; для смесей других газов и для смесей трех и более газов — законом Дальтона.

Пример 32. Определить рабочее давление, на которое должен рассчитываться баллон с чистым сжиженным газом.

Согласно СНиП II-Г.12—65 температура в баллонах должна быть не выше +45° С. Определяем упругость паров при этой температуре. По диаграмме P—t (см. рис. 22) P=58 *ата*; эта точка лежит на пунктирной части испарения, т. е. выше критической точки. При этой температуре этан никаким давлением нельзя превратить в жидкость, его необходимо охладить до критической температуры —32,3° С.

Аналогично для этилена требуется охлаждение до температуры не выше 9,8° С и давление не меньше 52,7 *ата*; для пропана — 15,56 *ата*; пропилена — 16,8 *ата*; Н-бутана — 4,86 *ата*; И-бутана — 6,18 *ата*; бутиленов 4,1—3,9 *ата*; II-бутилена — 4,9 *ата*. Отсюда видно, что использование летом чистого этана и этилена невозможно, так как давление в баллоне будет выше допускаемого.

Пример 33. Емкость со сжиженным газом, рассчитанная на давление 8 *кгс/см*^{2}, установлена в помещении с температурой не более 25° С. Проверить, не превысит ли давление в емкости расчетного при заполнении ее различными сжиженными газами.

По диаграмме P—t для жидких газов находим давление в емкости при 25° С: для этана P=42,9 *ата*, или 41,9 *кгс/см*^{2}; для эти-

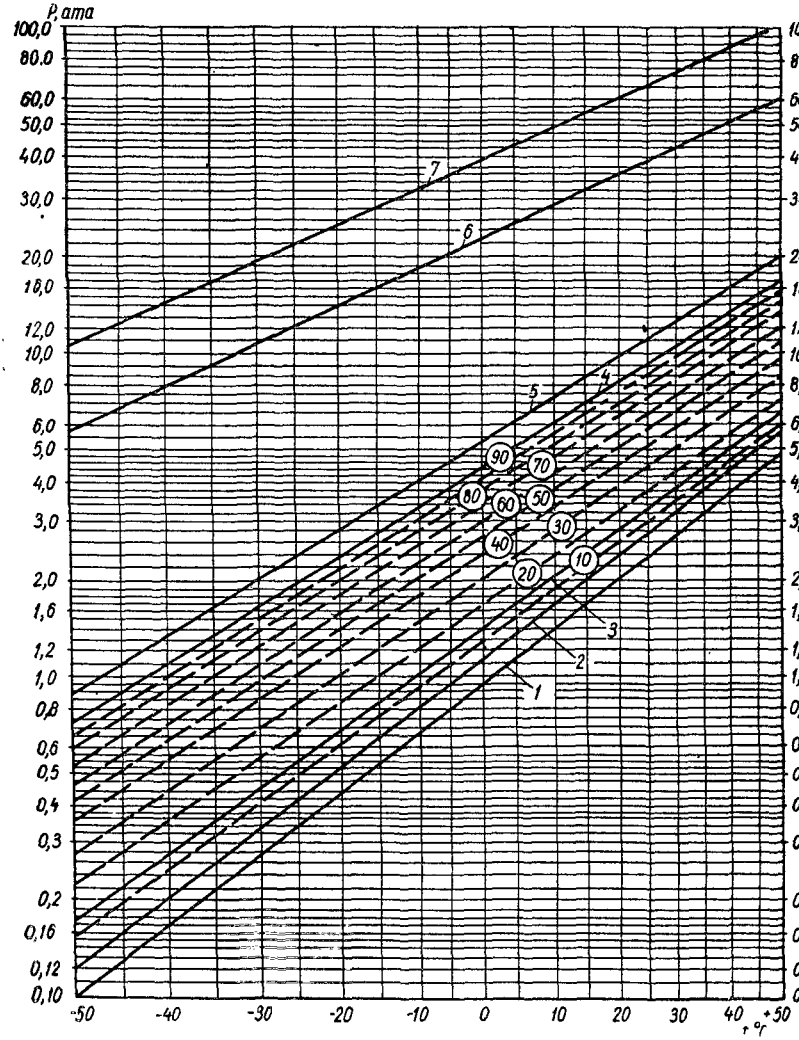


Рис. 22. Графики испарения жидких газов и пропанбутановой смеси (P t диаграмма):

1 — н-бутан; *2* — изобутилен; *3* — изобутан; *4* — пропан; *5* — пропилен; *6* — этан; *7* — этилен. Числа в кружках — количество пропана в пропанбутановой смеси в проц.

лена температура 25° С выше критической, следовательно, хранение этилена в жидком виде при 25° С вообще невозможно; для пропана $P=9{,}67$ *ата*, или 8,67 *кгс/см*^{2}; для пропилена — 11,1 *ата*, или 10,1 *кгс/см*^{2}; для Н-бутана — 2,74 *ата*, или 1,74 *кгс/см*^{2} и т. д.

Таким образом, заполнение емкости этаном, этиленом, пропаном и пропиленом недопустимо, другими жидкими газами — допустимо.

Пример 34. Определить, при какой температуре газа в емкости и окружающей среды будет обеспечена нормальная работа резервуарной установки сжиженного газа для чистых этана, пропана и бутана.

По графику на рис. 22 определяем температуру в емкости, соответствующую упругости насыщенных паров указанных газов. Необходимая температура окружающей среды будет на 5° выше. Таким образом, для этана в емкости — 80° С, снаружи — 75° С, для пропана — 34 и —29° С; для Н-бутана +10 и +15° С.

Пример 35. Определить давление паров смеси сжиженных газов, состоящей из 70% пропана и 30% бутана, при температуре смеси $t=-20$° С; температура наружного воздуха будет —15° С. Проверить точность различных способов.

Графическим способом определяем упругость паров пропанбутановой смеси по диаграмме на рис. 22 $P_{см}=1{,}85$ *ата*. Точность этого способа зависит от точности построения диаграммы.

Далее определяем упругость паров по закону Дальтона. Давление паров равно сумме парциальных давлений компонентов при той же температуре. Этот способ менее точен, так как упругость насыщенных паров чистого вещества несколько отличается от его парциальной упругости в смеси.

По рис. 22 находим упругости чистых паров пропана и бутана при —20° С: $P_п=2{,}48$ *ата*; $P_б=0{,}44$ *ата*.

Парциальные давления компонентов в смеси следующие:

пропана

$$P'_п=r_п P_п=0{,}70\cdot 2{,}48=1{,}736 \text{ ата};$$

бутана

$$P'_б=0{,}30\cdot 0{,}44=0{,}132 \text{ ата}.$$

Давление паров смеси

$$P_{см}=P'_п+P'_б=1{,}736+0{,}132=1{,}868 \text{ ата}.$$

Пример 36. Определить, сколько необходимо добавить этана к смеси по примеру 35 (пропана — 70%; бутана — 30%), чтобы получить необходимое давление 3,7 *ата*.

Решаем задачу по закону Дальтона методом подбора. Задаемся (с последующей проверкой) добавкой 10% этана. Тогда состав смеси будет: этана 10%; пропана $70\cdot\frac{90}{100}=63\%$ и бутана $30\times\frac{90}{100}=27\%$.

Давление паров смеси будет

$$P_{см} = \Sigma r_i P_i = 0{,}1 \cdot 14{,}46 + 0{,}63 \cdot 2{,}48 + 0{,}27 \cdot 0{,}44 = 3{,}1 \ ата.$$

Добавка 10% этана недостаточна, чтобы получить давление 3,7 *ата*. Задаемся добавкой 15%. Состав газа: этана 15%; пропана $70 \cdot \frac{85}{100} = 59{,}9\%$; бутана $30 \cdot \frac{85}{100} = 25{,}5\%$.

$$P_{см} = \Sigma r_i P_i = 0{,}15 \cdot 14{,}46 + 0{,}595 \cdot 2{,}48 + 0{,}255 \cdot 0{,}44 = 3{,}76 \ ата.$$

Таким образом, необходимая добавка 15% этана.

Установки для использования сжиженного газа могут быть индивидуальные, групповые и резервуарные.

Индивидуальные установки имеют производительность, достаточную для обеспечения работы 4-конфорочной плиты или проточного водонагревателя с тепловой нагрузкой 20—25 тыс. *ккал/ч* при установке баллона в помещении и любом составе жидкого газа и 4-конфорочной плиты или водонагревателя с тепловой нагрузкой до 10 тыс. *ккал/ч* при установке баллона на открытом воздухе в средней полосе СССР и заполнении баллона техническим пропаном. Поэтому расчет производительности индивидуальной баллонной установки не требуется. Без расчета для индивидуальной установки применяется также регулятор давления типа РДГ-6 и газопровод диаметром 15 *мм* из стальных труб или резинотканевых шлангов.

Групповые установки применяются для газоснабжения отдельных более крупных потребителей (отдельного жилого дома, небольшого предприятия и т. д.) до сооружения резервуарной установки. Суммарная емкость группы баллонов для жилых, общественных зданий и коммунально-бытовых потребителей не должна превышать 600 *л* при размещении баллонов у стен зданий и 1000 *л* при наличии разрывов от зданий (от 8 до 25 *м*), а для коммунальных и бытовых предприятий — соответственно 1000 и 1500 *л*.

Количество баллонов в групповой установке для жилых зданий определяется по номинальным расходам газа приборами по формуле

$$N = \frac{qnK_0}{Q_н^р v}, \qquad (140)$$

где N — количество баллонов в установке;

q — номинальная тепловая нагрузка газовых приборов, установленных в одной квартире, *ккал/ч* (см. стр. 3);

n — количество снабжаемых квартир;

K_0 — коэффициент одновременности (см. табл. 1);

$Q_н^р$ — низшая теплота сгорания газа, *ккал/нм*^{3};

v — расчетная производительность одного баллона, *нм*^{3}*/ч*, принимаемая по номограмме на рис. 23.

Количество баллонов для газоснабжения коммунальных, промышленных и сельскохозяйственных объектов определяется по суммарной номинальной тепловой нагрузке агрегатов с введением коэффициента одновременности, учитывающего возможное уменьшение нагрузки вследствие несовпадения времени работы агрегатов.

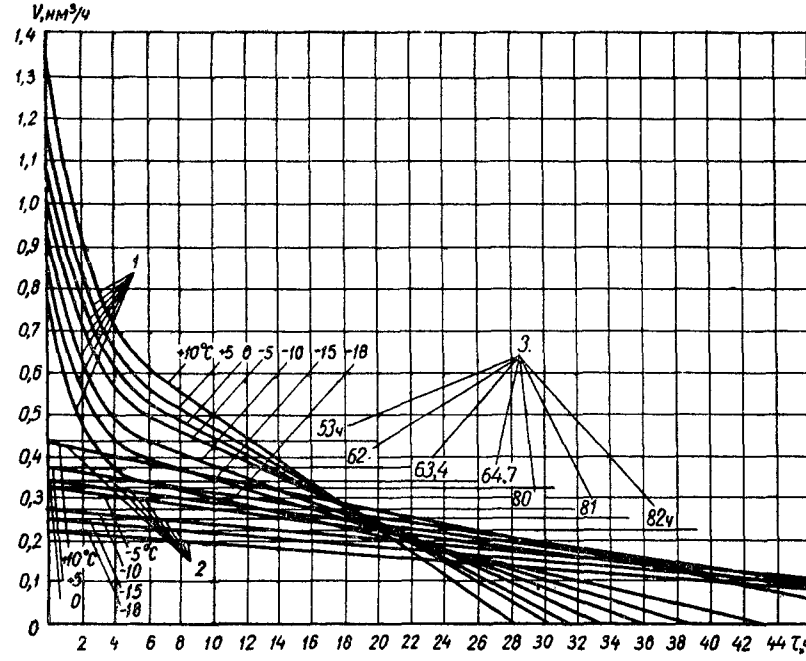


Рис. 23. Номограмма для определения производительности однобаллонной установки на 50 *л* в зависимости от длительности непрерывной работы при различных температурах наружного воздуха:

1 — максимальная производительность; *2* — оптимальная производительность; *3* — продолжительность использования баллона при оптимальной нагрузке.

Производительность одного баллона зависит от температуры наружного воздуха, принятой за расчетную, равномерности работы установки и длительности ее непрерывной работы. В соответствии с существующей практикой проектирования применяется двойной комплект баллонов — один рабочий и один резервный — и предусматривается возможность их раздельной и совместной работы. Резервный комплект должен быть всегда заполнен зимней смесью, так как он рассчитан на включение в работу в зимний период. В этом случае применяют для расчета производительности баллона среднюю температуру января.

Резервуарные установки подают газ значительному количеству потребителей по наружной газовой сети. Суммарный геометри

ческий объем резервуаров резервуарной установки при наземном расположении составляет не более 20 $м^3$, при подземном — не более 50 $м^3$. Максимальный объем одного резервуара при объеме установки до 20 $м^3$ — 5 $м^3$, при объеме установки 21—50 $м^3$ не более 10 $м^3$.

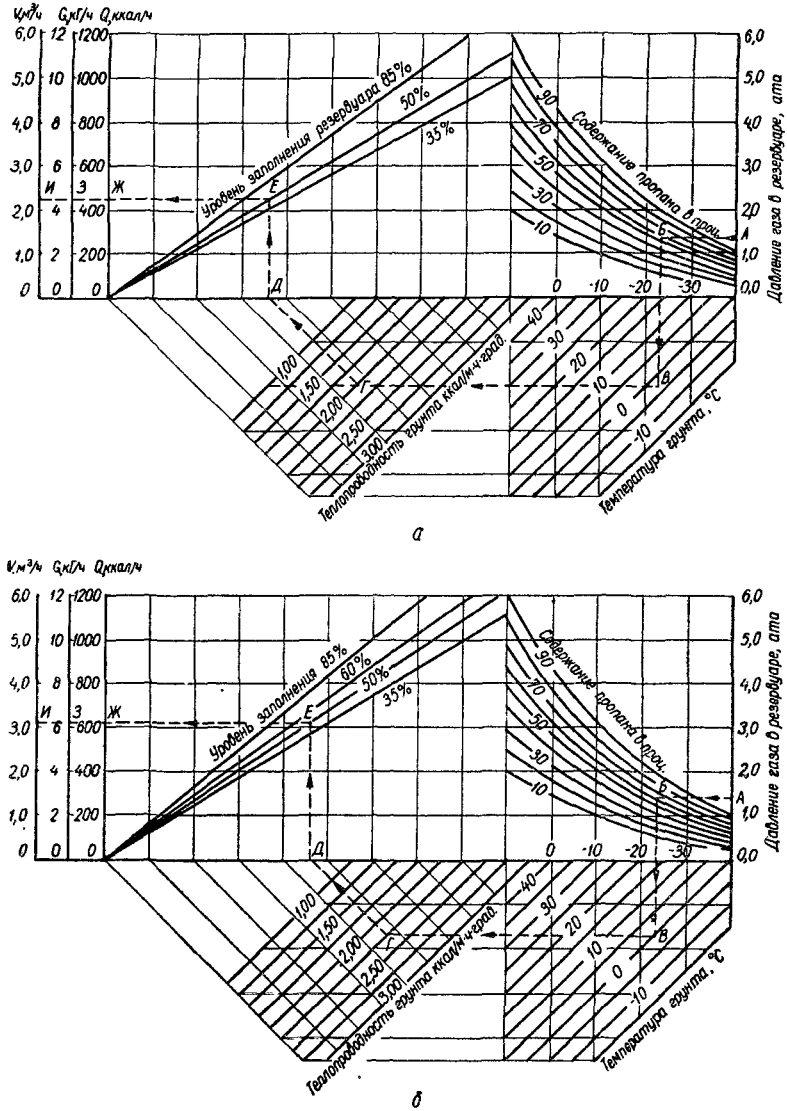


Рис. 24. Номограмма для определения производительности подземных резервуаров сжиженного газа:

а — объемом 2,5 $м^3$; *б* — объемом 4,4 $м^3$.

Расчетный расход газа на хозяйственно-бытовые и коммунальные нужды определяется по годовым нормам расхода газа

$$V = \frac{q_{год} n K_c}{Q_н^р \cdot 365 \cdot 24} \; нм^3/ч, \qquad (141)$$

где $q_{год}$ — расход газа на 1 чел., *ккал/год* (см. табл. 2);

n — число жителей, пользующихся газом;

K_c — коэффициент суточной неравномерности за год (при наличии газовых плит $K_c = 1{,}4$; при наличии газовых плит и водонагревателей $K_c = 2{,}0$);

$Q_н^р$ — теплота сгорания газа, *ккал/нм*^{3}.

Для отдельных установок и приборов расход газов определяется по номинальным расходам газа и коэффициентам одновременности.

Количество резервуаров в установке

$$N = \frac{\Sigma V}{v}, \qquad (142)$$

где v — производительность одного резервуара, определяемая по рис. 24. При этом принимают коэффициент теплопроводности грунта для глинистых и песчано-глинистых грунтов $\lambda = 0{,}7 \div 1{,}7$ *ккал/м·ч·град*; для песчаных — $\lambda = 1 \div 2$; для скальных — $\lambda = 1{,}2 \div 2{,}9$.

Наружные сети резервуарных установок обычно тупиковые, редко кольцевые, подземные. Воздушная прокладка допускается только при надземном расположении резервуаров, так как при подземных резервуарах неизбежна конденсация газа в газопроводе.

Расчет сетей производится аналогично внутриквартальным газопроводам по пропану (см. номограмму на рис. 3). Расходы газа по участкам определяют по формуле (3). Давление в сети принимают до 0,04 *кгс/см*^{2}, расчетные падения давления — по табл. 13. При коротких сетях, чтобы не получить завышенного давления газа перед приборами, давление газа на выводе из резервуарной установки определяют по формуле

$$P = P_г + \Delta P_д + \Delta P_с, \; кгс/м^2, \qquad (143)$$

где $P_г$ — минимально необходимое давление газа перед самыми горелками, *кгс/м*^{2};

$\Delta P_д$, $\Delta P_с$ — фактические падения давления в домовой и наружной сетях, *кгс/м*^{2}.

Пример 37. Подобрать емкости резервуарной установки для квартала с населением 1100 чел. и буфетом-столовой; в каждой квартире устанавливаются 4-конфорочные плиты, в столовой — ресторанная плита и проточный водонагреватель.

Определяем расчетный расход газа на приготовление пищи и горячей воды для хозяйственно-бытовых нужд квартала

$$V = \frac{q_{год} n K_c}{Q_н^р \cdot 365 \cdot 24} = \frac{710000 \cdot 1100 \cdot 1{,}4}{21795 \cdot 365 \cdot 14} = 5{,}74 \ нм^3/ч.$$

Расход газа ресторанной плитой и проточным водонагревателем в столовой при коэффициенте одновременности $K_0 = 1{,}0$

$$V = 1{,}0 \cdot \frac{65000 + 23000}{21795} = 4{,}04 \ нм^3/ч.$$

Определяем по номограмме на рис. 24, *б* производительность одного резервуара емкостью 4,4 $нм^3$ при содержании пропана

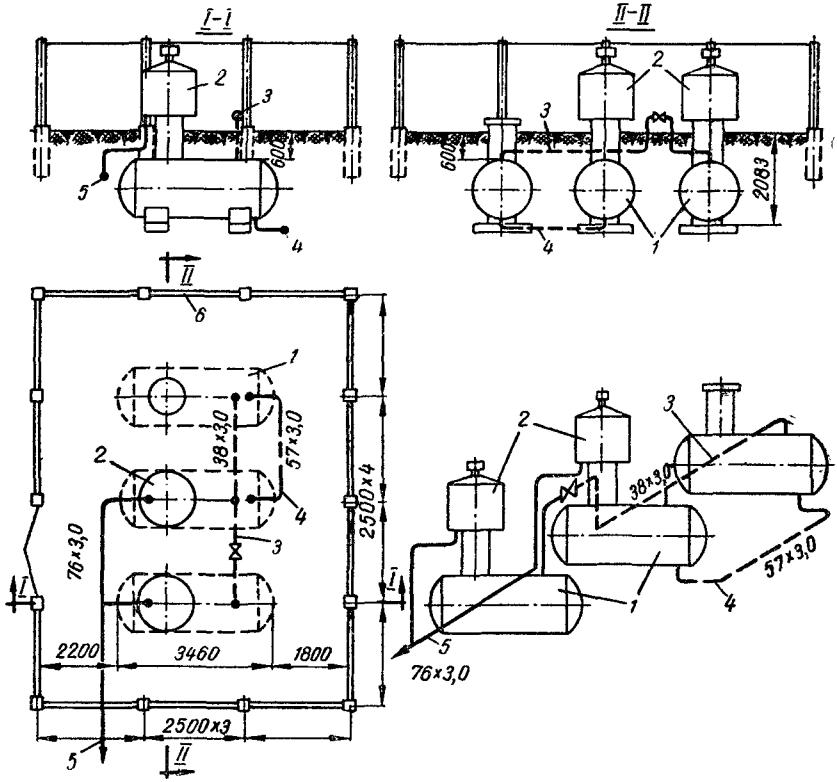


Рис. 25. Резервуарная установка сжиженного газа:

1 — резервуар сжиженного газа объемом 4,4 $м^3$; *2* — кожух с арматурным узлом; *3* и *4* — трубопроводы соединительные паровой и жидкой фаз; *5* — газопровод к потребителю; *6* — ограждение.

60%, температуре грунта 0° С, теплопроводности грунта λ 2,25 *ккал/м·ч·град* и заполнении емкости на 50%. Находим v 3,1 $м^3 \cdot ч$. Путь определения v показан на рис. 24, *б* пунктиром по точкам *А—Б—В—Г—Д—Е—Ж—З—И*.

Необходимое количество резервуаров

$$N = \frac{\Sigma V}{v} = \frac{5{,}74 + 4{,}04}{3{,}1} = 3{,}14.$$

Принимаем к установке 3 резервуара (рис. 25).

Условные обозначения



Газораспределительная станция



Газорегуляторный пункт высокого давления



Газорегуляторный пункт низкого давления



Газгольдерная станция

Газопровод низкого давления (до 0,05 *кгс/см²*)

Газопровод среднего давления (свыше 0,05 до 3 *кгс/см²*)

Газопровод высокого давления (свыше 3 до 6 *кгс/см²*)

Газопровод высокого давления (свыше 6 до 12 *кгс/см²*)

Импульсный газопровод к регулятору давления

Продувочный газопровод

Прокладка газопровода в гильзе


Контрольная трубка (на профилях)


То же, с электроизмерением



Пикет

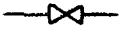


Номер квартала и этажность (каждая точка — этаж)

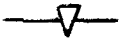

Регулятор давления (редуктор)


Предохранительный запорный клапан


Счетчик газовый


Задвижка (колодец)


Вентиль газовый


Кран пробочный


Плита 4-конфорочная (П-4)


Плита 3-конфорочная (П-3)


Плита 2-конфорочная (П-2)


Газовая колонка (ГК)



Газовый стояк и его номер


Дымоход



Вентиляционный канал и размер жалюзийной решетки

ЛИТЕРАТУРА

1. Бродский Е. Ф. Горячее водоснабжение при теплофикации. М., Госстройиздат, 1961.
2. Гусев Ю. Л. Основы проектирования котельных установок. М., Стройиздат, 1967.
3. Иванов Ю. В. Основы расчета и проектирования газовых горелок. М., Гостоптехиздат, 1963.
4. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М., Госэнергоиздат, 1960.
5. Ионин А. А. Газоснабжение. М., Госстройиздат, 1965.
6. Найденов Г. Ф. Вихревые газовые горелки. Киев, «Техніка», 1966.
7. Одельский Э. Х. Газоснабжение. Минск, Госстройиздат, 1965.
8. Правила технической эксплуатации и техники безопасности в газовом хозяйстве РСФСР. М., Стройиздат, 1966.
9. Правила безопасности в газовом хозяйстве. М., «Недра», 1964.
10. Сигал И. Я. Газогорелочные устройства. Киев, Гостехиздат УССР, 1961.
11. Проектирование предприятий общественного питания. СН 87—60.
12. Стаскевич Н. Л. Справочное руководство по газоснабжению. Л., Гостоптехиздат, 1960.
13. Щекин Р. В. и др. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Киев, «Будівельник», 1968.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Потребление газа

Определение расхода газа по номинальным расходам газа приборами 3
Определение расхода газа по годовым нормам 7
Расход газа на отопление и вентиляцию 16
Расход газа на централизованное горячее водоснабжение . . 19
Расход газа промышленными предприятиями 21

Системы газосиабжения

Выбор системы газоснабжения 23
Газорегуляторные пункты 27

Проектирование наружных сетей

Общие положения 34
Методика гидравлического расчета газопроводов 40

Проект газоснабжения города

Задание 60
Определение расходов газа 60
Выбор системы газоснабжения города 71
Гидравлический расчет сети среднего давления 73
Гидравлический расчет кольцевой сети низкого давления . . 78

Газоснабжение зданий

Устройство внутреиного газоснабжения 88
Особенности расчета внутренних сетей 91

Сжигание газа

Расчет горения газа 96
Диффузионные газовые горелки 99
Инжекционные горелки 106
Расчет тяги и дутья 123
Газоснабжение котельных с чугунными котлами 129

Сжиженные газы

Приложение 145
Литература 146

НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ ПЕШЕХОНОВ
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ
(Примеры расчета)

Спецредактор *Г. С. Ивашко*
Редактор *К. В. Бергер*
Переплет художника *Н. Ф. Остапко*
Художественный редактор *Н. С. Величко*
Технический редактор *О. Г. Кущенко*
Корректоры *Л. М. Виленская* и *Г. Г. Бондарчук.*

БФ 01210. Сдано в набор 26. XI. 1969 г. Подписано к печати 27. II. 1970 г. Бумага типографская № 1, $60\times90^{1}/_{16}$=4,625 бумажных, 9,25 физ. и усл. печатных, 9,5 уч.-изд. л. Тираж 15000. Цена 50 коп. Зак. 531.

Издательство «Будівельник», Киев, Владимирская, 24.

Киевская книжная типография № 6, Киев, Выборгская, 84.