

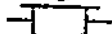
9. РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ГРП (ГРУ)

9.1. Основные положения по расчету ГРП (ГРУ)

Расчет технологической части ГРП (ГРУ) в основном сводится к выбору регуляторов давления газа предохранительных устройств и фильтров и по определению основных параметров (пропускной способности, давления газа до и после ГРП и др. в зависимости от принятой схемы и назначения ГРП).

Варианты расчетных схем ГРП (ГРУ) приводятся на рис. 27 и рис. 28.

Условные обозначения приняты на расчетных схемах ГРП (ГРУ) (рис. 27, рис. 28).

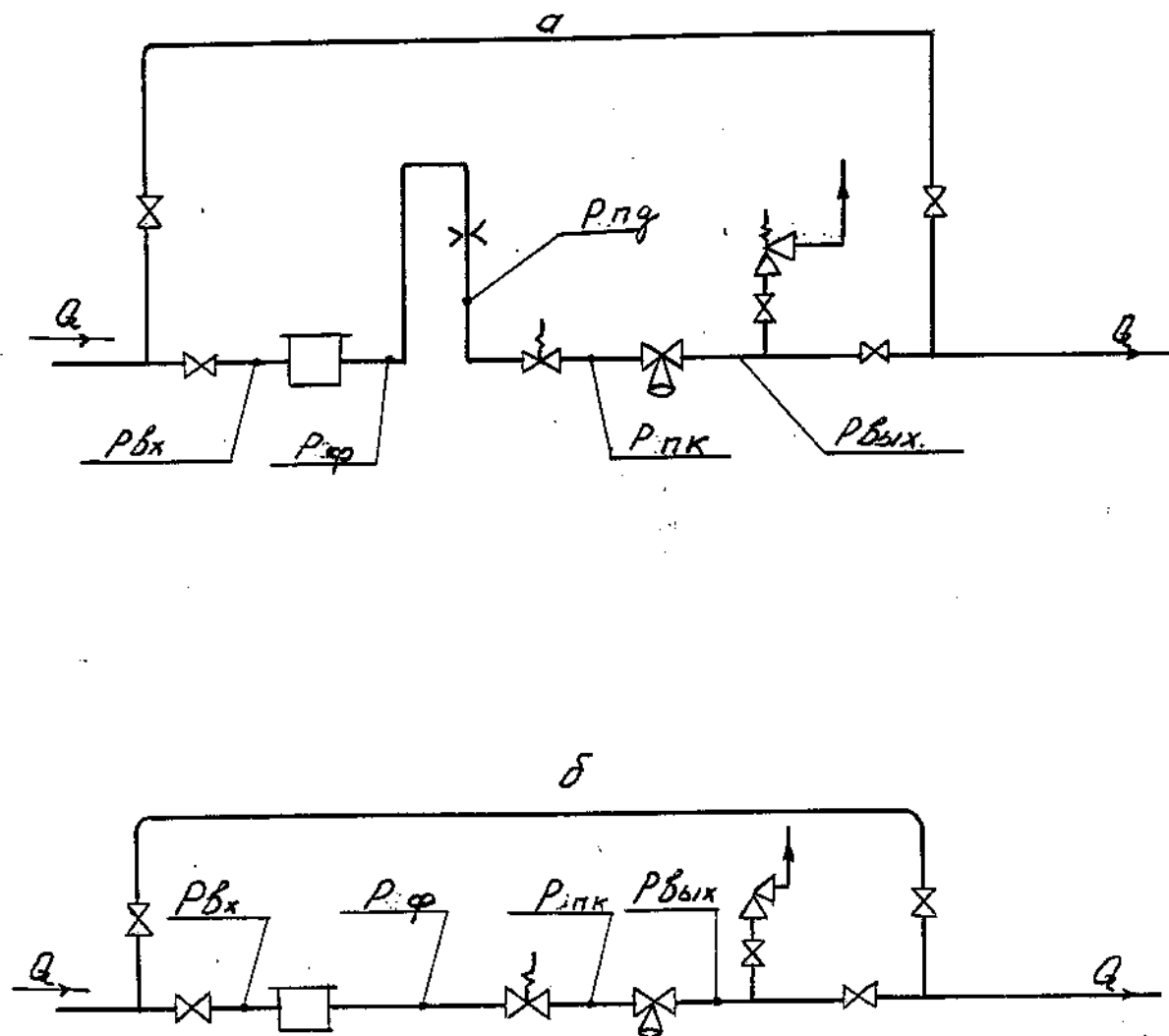
	газопровод;
	запорное устройство;
	запорный предохранительный клапан;
	регулятор давления газа;
	фильтр;
	сбросной предохранительный клапан.

9.2. Схема расчета ГРП (ГРУ)

Определяются поочередно следующие параметры:
по рис. 27, схема "а" - с одной ступенью редуцирования
с учетом расхода газа:

ΔP	- потери давления газа в фильтре;
$P_{\phi} = P_{BX} - \Delta P$	- давление газа после фильтра;
ΔP_g	- потери давления газа от установки диафрагмы;
$P_{ng} = P_{\phi} - \Delta P_g$	- давление газа после диафрагмы;
ΔP_{kn}	- потери давления газа в клапане предохранительном запорном;
$P_{nk} = P_{ng} - \Delta P_{kn}$	- давление газа перед регулятором;
Q	- пропускная способность регулятора;
F_c	- площадь сечения прохода клапана предохранительного сбросного.

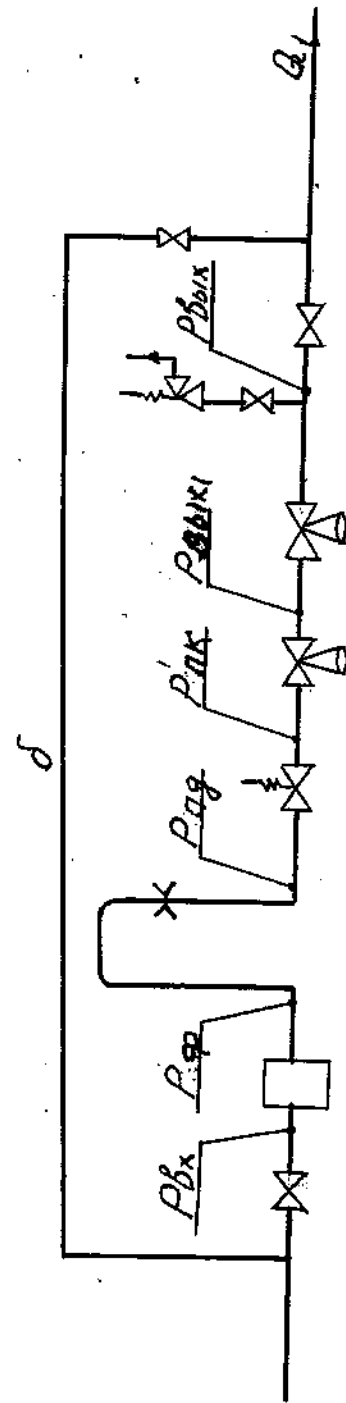
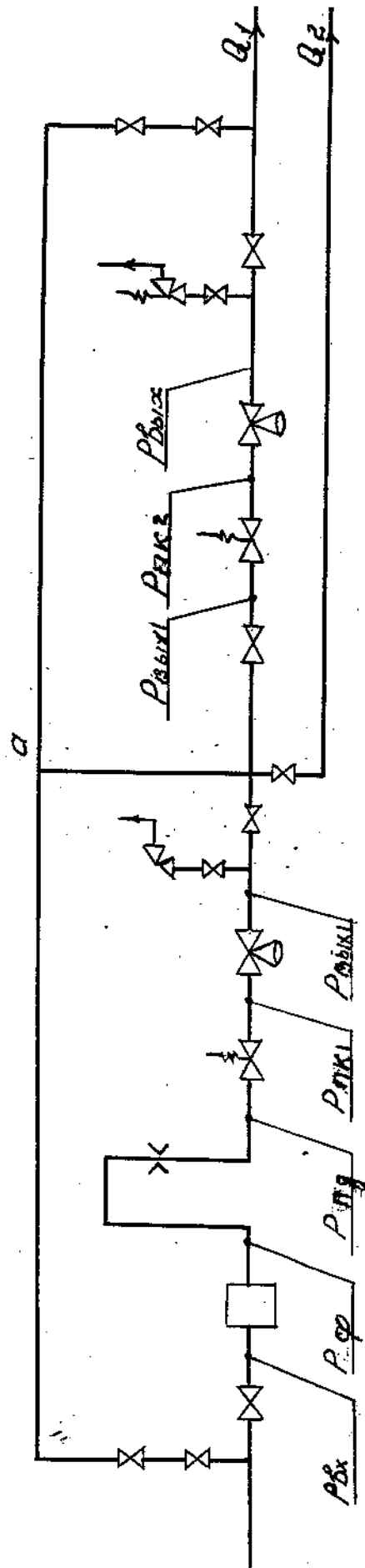
Расчетная схема ГРП с одной ступенью регулирования давления газа



а - с учетом расхода газа; б - без учета расхода газа.

Рис. 27

Расчетная схема ГРП с двумя ступенями регулирования давления газа



а - на два потребителя; б - на одного потребителя

По рис. 27, схема „б" — с одной ступенью редуцирования, без учета расхода газа:

ΔP — потери давления газа в фильтре;

$P_{\phi} = P_{вх} - \Delta P$ — давление газа после фильтра;

$\Delta P_{кл}$ — потери давления газа в клапане предохранительном запорном;

$P_{пк} = P_{\phi} - \Delta P_{кл}$ — давление газа перед регулятором;

Q — пропускная способность регулятора;

F_c — площадь сечения прохода клапана предохранительного сбросного.

По рис. 28, схема „а" — с двумя ступенями редуцирования на два потребителя с учетом расхода газа:

ΔP — потери давления газа в фильтре;

$P_{\phi} = P_{вх} - \Delta P$ — давление газа после фильтра;

ΔP_g — потери давления газа от установки диафрагмы;

$P_{пг} = P_{\phi} - \Delta P_g$ — давление газа после диафрагмы;

$\Delta P_{кл1}$ — потери давления газа в клапане предохранительном запорном, первой ступени редуцирования;

$P_{пк1} = P_{пг} - \Delta P_{кл1}$ — давление газа перед регулятором давления первой ступени редуцирования;

Q — пропускная способность регулятора давления газа первой ступени редуцирования;

F_{c1} — площадь сечения прохода клапана предохранительного сбросного первой ступени редуцирования;

$P_{вых1}$ — давление газа после первой ступени редуцирования, определяется на основании проработки технологической части ГРП (ГРУ);

$\Delta P_{кл2}$ — потери давления газа в клапане предохранительном запорном, второй ступени редуцирования;

$P_{пк2} = P_{вых1} - \Delta P_{кл2}$ — давление газа перед регулятором давления второй ступени редуцирования

- Q - пропускная способность регулятора второй ступени редуцирования;
- F_{c2} - площадь сечения прохода клапана предохранительного сбросного второй ступени редуцирования.

По рис. 28, схема „б“ - с двумя ступенями редуцирования на один потребитель, с учетом расхода газа:

- ΔP - потери давления газа в фильтре;
- $P_{\phi} = P_{вх} - \Delta P$ - давление газа после фильтра;
- ΔP_g - потери давления газа от установки диафрагмы;
- $P_{пг} = P_{\phi} - \Delta P_g$ - давление газа после диафрагмы;
- $\Delta P_{кп}$ - потери давления газа в клапане предохранительном запорном;
- $P_{пк1} = P_{пг} - \Delta P_{кп}$ - давление газа перед регулятором первой ступени редуцирования;

- Q - пропускная способность регулятора давления газа первой ступени редуцирования;
- $P_{вх1}$ - давление газа после регулятора первой ступени редуцирования, определяется на основании проработки технологической схемы ГРП (ГРУ);
- Q - пропускная способность регулятора давления газа второй ступени редуцирования;
- F_c - площадь сечения прохода клапана предохранительного сбросного.

Примечание. При выполнении расчета по выбору оборудования для ГРП (ГРУ), по указанным выше схемам, с учетом измерения расхода газа с использованием камерных диафрагм, допускается принимать допустимые потери газа от установки диафрагмы по рекомендуемому приложению I9.

9.3. Графический расчет ГРП (ГРУ) на пропускную способность

Расчеты ГРП (ГРУ) с одной ступенью редуцирования, без учета и с учетом расхода газа на пропускную способность

с достаточно высокой точностью можно производить по графикам рис. 18.1, рис. 18.2, рекомендуемого приложения 18, которые составлены по данным, полученным на электронно-вычислительной машине в вычислительном центре института "Гипрониигаз".

Графики составлены с учетом применения следующей регулирующей, измерительной и предохранительной арматуры: фильтров газовых, конструкции института Мосгаз-ниипроект;

камерных диафрагм;

предохранительных запорных клапанов типа ПКН (В);

регуляторов давления газа типа РДУК-2.

При составлении графиков, для ГРП с учетом расхода газа, расходомерная диафрагма применяется при расходе газа от 600 м³/ч и выше, до 600 м³/ч рекомендуется применять расходомерные счетчики.

При графическом расчете пропускной способности ГРП (ГРУ) следует учитывать, чтобы входное абсолютное давление перед ГРП было не менее:

0,11 МПа для ГРП с РДУК-2-50/35;

0,108 МПа для ГРП с РДУК-2-100/50 и РДУК-200/105;

0,109 МПа для ГРП с РДУК-2-100/70 и РДУК-2-200/140.

Необходимо также учитывать, что ГРП (ГРУ) с регуляторами РДУК 2Н-200/140 и РДУК 2В-200/140 должны применяться при входном абсолютном давлении до 0,7 МПа.

Графики составлены для газа с плотностью 0,76 кг/м³ при 0°С и 0,101325 МПа, поэтому при определении пропускной способности ГРП (ГРУ) для газа с другой плотностью значение расхода по приложению 18 следует умножить на коэффициент пропускной способности K_n , который определяется:

для ГРП (ГРУ) с регуляторами давления РДУК-2-50/35, РДУК-2-100/70, РДУК-2-200/105, РДУК-2-200/140 по формуле

$$K_n = \frac{0,76}{\sqrt{\rho_g}} ; \quad (96)$$

для ГРП (ГРУ) с регулятором РДУК-2-100/50 по формуле

$$K_n = \frac{0,61}{\sqrt{\rho_g}} , \quad (97)$$

где ρ_H - плотность газа, для которого подбирается ГРП (ГРУ), кг/м³.

Определенная по графику максимальная пропускная способность ГРП (ГРУ) должна быть примерно на 20% больше требуемого расхода газа на объект, это значит, что ГРП (ГРУ) должен быть загружен при требуемом расходе газа не более чем на 80%, а при минимальном расходе не менее чем на 10%, т.е. должно выполняться условие

$$\frac{Q_{max}}{Q} \cdot 100 \leq 80\% \quad \text{и} \quad \frac{Q_{min}}{Q} \cdot 100 \geq 10\%$$

Пример: необходимо подобрать ГРП (ГРУ) на расход газа $Q_{max} = 2500$ м³/ч, $Q_{min} = 500$ м³/ч, плотность газа $\rho_H = 0,78$ кг/м³, избыточное давление газа перед ГРП $P_1 = 0,6$ МПа, избыточное давление газа после ГРП (ГРУ) $P = 0,03$ МПа (0,3 кгс/см²).

Ответ: по приложению 18, рис. 18.1 определяем $Q_{zp} = 4750$ м³/ч

$$K_n = \frac{0,61}{\sqrt{\rho_H}} = \frac{0,61}{\sqrt{0,78}} = 0,69$$

тогда максимальная пропускная способность ГРП (ГРУ) составит

$$Q = K_n \cdot Q_{zp} = 0,69 \times 4750 = 3300 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Загрузка регулятора при этом составит:

$$\text{максимальная} \quad \frac{Q_{max}}{Q} \cdot 100 = \frac{2500 \times 100}{3300} = 75,5\%$$

$$\text{минимальная} \quad \frac{Q_{min}}{Q} \cdot 100 = \frac{500 \times 100}{3300} = 15,2\%$$

Результат расчета удовлетворяет условиям, принимаемым ГРП (ГРУ) с регулятором давления РДУК-2-100/50.

9.4. Пример. Расчет по выбору оборудования ГРП (ГРУ) с одной ступенью редуцирования и с учетом расхода газа

Исходные данные

Максимальный расход газа $Q_{max} = 2500$ м³/ч

Минимальный расход газа

$$Q_{\min} = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Избыточное давление газа на входе в ГРП

$$P_{0x} = 0,6 \text{ МПа}$$

Избыточное давление газа на выходе из ГРП

$$P_{0\text{вых}} = 0,003 \text{ МПа}$$

Температура газа

$$t = 5^\circ\text{C}$$

Диаметр условного прохода

$$d_y = 100 \text{ мм}$$

Состав газа в процентах (%):

$$C H_4 - 94,16;$$

$$C_4 H_{10} - 0,24;$$

$$C_2 H_6 - 2,49;$$

$$CO_2 - 0,13;$$

$$C_3 H_8 - 0,38;$$

$$N_2 - 2,6$$

Барометрическое давление

$$P_b = 0,1034 \text{ МПа}$$

Показатель адиабаты газовой смеси

$$\kappa = 1,31$$

Расчет

Определяемая величина	Прилож. табл. рис. формула	Расчет	Результат
1. Абсолютная температура потока среды, T	Формула 2	$T = T_H + t =$ $= 273,15 + 5 =$	278,15 К
2. Молярная концентрация компонентов газовой смеси	Формула 8	$N_1 = \frac{y_{n1}}{100} = \frac{94,16}{100} =$ $N_2 = \frac{y_{n2}}{100} = \frac{2,49}{100} =$ $N_3 = \frac{y_{n3}}{100} = \frac{0,38}{100} =$ $N_4 = \frac{y_{n4}}{100} = \frac{0,24}{100} =$ $N_5 = \frac{y_{n5}}{100} = \frac{0,13}{100} =$ $N_6 = \frac{y_{n6}}{100} = \frac{2,6}{100} =$	0,9416 0,0249 0,0038 0,0024 0,0013 0,026
3. Плотность компонентов газовой смеси при 0°C и 0,10132 МПа	Прилож. I		0,7172 кг/м ³

Определяемая величина	Прилож. табл., рис. формула	Расчет	Результат
ρ_2			1,3548 кг/м ³
ρ_3			2,009 кг/м ³
ρ_4			2,68 кг/м ³
ρ_5			1,9767 кг/м ³
ρ_6			1,25 кг/м ³
4. Плотность газовой смеси при $t = 60^\circ\text{C}$, ρ_H	Формула 3	$\rho_H = N_1 \cdot \rho_1 + N_2 \cdot \rho_2 + \dots + N_i \cdot \rho_i$ $= 0,9416 \cdot 0,7172 + 0,0449 \cdot 1,3548$ $+ 0,0038 \cdot 2,009 + 0,0024 \cdot 2,68$ $+ 0,0013 \cdot 1,9767 +$ $+ 0,026 \cdot 1,25 = 0,758 \text{ кг/м}^3$	
5. Диаметр условного прохода фильтра, $\varnothing$		Принимаем равным условному проходу газопровода	100 мм
6. Пропускная способность фильтра, Q	Формула 54	$Q = \frac{Q_{\max} \sqrt{\rho_H}}{0,855} =$ $= \frac{2500 \sqrt{0,758}}{0,855} = 2546 \text{ м}^3/\text{ч}$	
7. Потери давления от установки фильтра при Q , ΔP	Прилож. 14		9500 Па
8. Избыточное давление газа после фильтра, P_{φ}		$P_{\varphi} = P_{\text{вх}} - \frac{\Delta P}{10^6} =$ $= 0,6 - \frac{9500}{10^6} = 0,59 \text{ МПа}$	

Определяемая величина	Прилож. табл. рис. формула	Расчет	Результат
9. Абсолютное давление газа перед диафрагмой, P_a	Формула I	$P_a = P_{\phi} + P_{\delta} =$ $= 0,59 + 0,1034 =$	0,6934 МПа
10. Потери давления от установки диафрагмы, ΔP_g	Прилож. I9	Принимаем равным допустимым потерям давления от установки диафрагмы при давлении перед диафрагмой равной P_a	0,038 МПа
11. Абсолютное давление газа после диафрагмы, P_{ng}		$P_{ng} = P_a - \Delta P_g =$ $= 0,6934 - 0,038 =$	0,6554 МПа
Предохранительный запорный клапан			
12. Диаметр условного прохода		Принимаем равным условному проходу фильтра	100 мм
13. Расход газа проходящего через клапан, Q		Принимаем равным расходу проходящего через фильтр см. п.6 настоящего расчета	2546 м ³ /ч
14. Избыточное давление перед клапаном, P'_u		$P'_u = P_{ng} - P_{\delta} =$ $= 0,6554 - 0,1034 =$	0,552 МПа
15. Потери давления газа от установки клапана, $\Delta P_{кл}$	Рис. I6.6 Прилож. I6	$\Delta P_{кл} = f(P'_u)$ $P'_u = P_i$	2800 Па
16. Избыточное давление после клапана, $P_{пк}$		$P_{пк} = P'_u - \frac{\Delta P_{кл}}{10^6} =$ $= 0,552 - \frac{2800}{10^6} =$	0,5492 МПа

Определяемая величина	Прилож. табл. рис. формула	Расчет	Результат
Регулятор давления газа			
17. Регулятор давления - тип		Принимаем	РДУК2Н-100/50
18. Избыточное давление перед регулятором давления газа, $P'_{пк}$		$P'_{пк} = P_{пк}$	0,5492 МПа
19. Пропускная способность регулятора по графику, $Q_{зр}$	Прилож. 18	$Q_{зр} = f(P'_{пк}, P_{вск})$ $P_i = P'_{пк}$	4500 м ³ /ч
20. Коэффициент пропускной способности, K_n		$K_n = \frac{0,815}{\sqrt{P_n}} = \frac{0,815}{\sqrt{0,876}} = 0,87$	
21. Искомая пропускная способность регулятора давления газа, Q_i		$Q_i = Q_{зр} \cdot K_n = 4500 \cdot 0,87 =$	3915 м ³ /ч
22. Процент загрузки регулятора при Q_{max}		$\frac{Q_{max} \cdot 100}{Q_i} = \frac{2500 \cdot 100}{3915} =$	68,41%
23. Процент загрузки регулятора при Q_{min}		$\frac{Q_{min} \cdot 100}{Q_i} = \frac{500 \cdot 100}{3915} =$	13,68%

Определяемая величина	Прилож. табл. рис. формула	Расчет	Результат
Сбросной предохранительный клапан			
24. Сбросной предохранительный клапан - тип		Принимаем	ПСК-50Н неполно- подъемный
25. Коэффициент сжимаемости, K_1		Принимаем	I
26. Длина газопроводов до клапана L_{gn} по черт.			3,5 м
после клапана L_{gc} по черт.			25 м
27. Сумма коэффициентов местных сопротивлений до клапана $\sum \zeta_n$		-	3,38
после клапана $\sum \zeta_c$		-	6,3
с учетом самого клапана $\sum \zeta_c$			6,8
28. Диаметры патрубков ПСК: до клапана D_u	Рис. 22	-	50 мм
после клапана D_{yI}		-	50 мм
29. Диаметр седла клапана, $d_{ск}$	Рис. 22	-	50 мм
30. Необходимая пропускная способность ПСК			

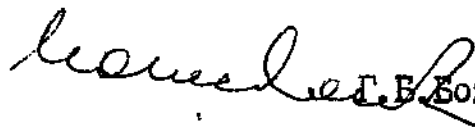
Определяемая величина	Прилож. табл. рис. формула	Расчет	Результат
при 0° и 0,10132 МПа, Q_k'	Формула 70	$Q_k' = 0,005 \cdot Q_{max} =$ $= 0,005 \cdot 2500 =$	12,5 м³/ч
31. Необходимая пропускная способность в рабочих условиях, Q_k	Формула 69	$Q_k = 0,00037 \frac{Q_k' \cdot T}{(P_{max} + P_0)} =$ $= 0,00037 \frac{12,5 \cdot 278,5}{0,003 + 0,1034} =$	12,09 м³/ч
32. Коэффициент расхода, α	-	-	0,3
33. Диаметры газопроводов:			
до клапана, d_n			5 см
после клапана, d_c			5 см
34. Диаметры газопроводов общие:			
до клапана D_n		$D_n = d_c$	5 см
после клапана D_c		$D_c = d_c$	5 см
35. Эквивалентные длины газопроводов:	Борисов Даточный Помограм- ма №7		
до клапана $L_{эп}$		-	1,5 м
после клапана $L_{эс}$		-	1,5 м
36. Приведенные длины газопроводов:	Формула 77	$L_n = L_{gn} + \sum \xi_n \cdot L_{эп} =$ $= 3,5 + 3,38 \cdot 1,5 =$	8,57 м

Определяемая величина	Прилож. рис. табл. формула	Расчет	Результат
после клапана L_n	Формула 81	$L_c = L_{gc} + \sum \xi_c \cdot L_{en} =$ $= 25 + 6,8 \cdot 1,5 =$	35,2 м
37. Потери давления газа в газопроводе до клапана на 1 м длины $\Delta P_n'$	Борисов Даточный Номограм- ма №4	$0,1 \cdot 9,81 =$	0,981 Па
38. Абсолютное давление газа в газопроводе до клапана с превышением на 15% P_{Bx}'	Формула 75	$P_{Bx}' = 1,15 \left(P_{Bx} - \frac{L_n \cdot \Delta P_n'}{10^6} \right) + P_s =$ $= 1,15 \left(0,003 - \frac{3,5 \cdot 0,981}{10^6} \right) +$ $+ 0,1034 =$	0,1068 МПа
39. Потери давления газа в газопроводе после клапана, ΔP_c	Формула 79	$\Delta P_c = 10^{-6} \cdot L_c \cdot \Delta P_c' =$ $= 10^{-6} \cdot 25 \cdot 0,981 =$ где $\Delta P_c' = \Delta P_n'$ из условия $D_n = D_c$	0,000025 МПа
40. Абсолютное давление после клапана, P_i'	Формула 78	$P_i' = P_{Bx}' - \Delta P_c =$ $= 0,1068 - 0,000025 =$	0,10677 МПа
41. Избыточное давление после клапана P_o'	Формула 88	$P_o' = P_i' - P_s =$ $= 0,10677 - 0,1034 =$	0,00337 МПа
42. Условия соответствия принятых диаметров до и после клапана	п.8.3.6	$\Delta P_c < P_o'$ $0,000025 < 0,00337$	Удовлетворяют
43. Критическое отношение давлений, $\beta_{кр}$	Формула 94	$\beta_{кр} = \left(\frac{2}{x+1} \right)^{\frac{x}{x-1}} =$ $= \left(\frac{2}{1,31+1} \right)^{\frac{1,31}{1,31-1}} =$	0,543

Определяемая величина	Прилож. табл. рис. формула	Расчет	Результат
44. Соотношение давлений газа до и после клапана, β		$\beta = \frac{P'_1}{P'_{0x}} = \frac{0,10677}{0,1068} = 0,999$ При $\beta > \beta_{кр}$ $0,999 > 0,543$ определяется по формуле	0,999
45. Коэффициент, B	Формула 92	$B = 1,59 \cdot \sqrt{\frac{x}{x-1}} \cdot \sqrt{\left(\frac{P'_1}{P'_{0x}}\right)^{\frac{2}{x}} - \left(\frac{P'_1}{P'_{0x}}\right)^{\frac{x}{x-1}}}$ $= 1,59 \cdot \sqrt{\frac{1,31}{1,31-1}} \cdot \sqrt{\left(\frac{0,10677}{0,1068}\right)^{\frac{2}{1,31}} - \left(\frac{0,10677}{0,1068}\right)^{\frac{1,31}{1,31-1}}}$ $= 0,05$	0,05
46. Плотность газовой смеси в рабочих условиях, ρ	Формула 89	$\rho = \rho_n \frac{P'_{0x} \cdot T_n}{P_n \cdot T \cdot K}$ $= 0,758 \frac{0,1068 \cdot 273,15}{0,10132 \cdot 278,15} = 0,784 \text{ кг/м}^3$	0,784 кг/м ³
47. Площадь сечения клапана, F_c	Формула 68	$F_c = \frac{\rho \cdot Q_k}{3,16 \cdot 0,3 \sqrt{P'_{0x} \cdot \rho}}$ $= \frac{0,784 \cdot 12,09}{3,16 \cdot 0,3 \cdot 0,05 \sqrt{0,1068 \cdot 0,784}}$	
48. Площадь сечения принятого клапана, $F_{ск}$	Формула 87	$F_{ск} = 0,785 \cdot d_{ск}^2 = 691,8 \text{ мм}^2$ $= 0,785 \cdot 50^2 = 1962,5 \text{ мм}^2$	691,8 мм ² 1962,5 мм ²
49. Количество клапанов, n_c		$F_c < F_{ск}$ к установке принимаем	I клапан ПСК-50 Н

Примечание. Расчет сбросного предохранительного клапана в настоящем примере выполнен по упрощенной схеме ввиду исключительно малого расхода газа необходимого для сброса через ПСК. В других случаях расчет следует выполнять по схеме, приведенной в п.8.3.II настоящего руководящего документа.

Главный инженер института

 Г.Б. Божедомов

Начальник технического отдела

 Е.Ф. Пушкин

Главный специалист технического
отдела (ответственный исполнитель)

 В.М. Котов

Согласовано с научно-
исследовательским отделом
стандартизации

Начальник отдела

 В.А. Задумина