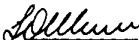


ГОССТРОЙ СССР  
Главпроектстройпроект  
СОЮЗСАНТЕХПРОЕКТ  
Государственный проектный институт  
САНТЕХПРОЕКТ

УТВЕРЖДАЮ:

Главный инженер  
ГПИ Сантехпроект

 Н.И. Шиллер

Рекомендации  
по расчету и выбору регулирующих  
органов, устанавливаемых на трубопроводах  
санитарно-технических систем и  
котельных установок

Москва 1980

Настоящие рекомендации распространяются на регулирующие органы (РО) систем автоматического регулирования (САР) объектов санитарной техники и котельных установок, предназначенные для воздействия на технологические процессы путем изменения расхода проходящих через них жидкостей, газов или водяного пара и предлагают методы расчета:

- а) максимальной пропускной способности;
- б) действительной расходной характеристик

и методы выбора:

- а) условной пропускной способности;
- б) условного прохода;
- в) пропускной характеристики

при постоянном перепаде на регулируемом участке гидравлической сети.

Рекомендации выполнены на основании ГОСТа I6443-70 "Устройства исполнительные. Методы расчета пропускной способности, выбора условного прохода и пропускной характеристики". Перечень регулирующих органов, применяемых в санитарной технике и котельных установках, приведенный в приложении, составлен по состоянию на 1979 г.

С выходом настоящих рекомендаций аннулируются рекомендации с аналогичным наименованием выпуска 1972 г. (шифр МЗ-18).

Рекомендации разработаны главным специалистом электротехнического отдела ГПИ "Горьковский Сантехпроект" Б.Н.Креймером.



Государственный проектный институт Сантехпроект  
Главпромстройпроекта Госстроя СССР  
(ГПИ Сантехпроект), 1980

## Г. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

Г.Г. Обозначения, определения и размерности основных величин и характеристик, применяемых в настоящих рекомендациях, приведены в табл. Г.

Таблица Г

Наименование технической величины или параметра	Обозначение	Размерность	Определение
Пропускная способность РО	$K_v$	$\text{м}^3/\text{ч}$	Расход жидкости с плотностью 1000 $\text{кг}/\text{м}^3$ , пропускаемый регулирующим органом при перепаде давления на нем 1 $\text{кгс}/\text{см}^2$
Условная пропускная способность	$K_{vy}$	$\text{м}^3/\text{ч}$	Номинальное значение величины пропускной способности при условном ходе затвора
Максимальная расчетная пропускная способность РО	$K_{v\text{макс}}$	$\text{м}^3/\text{ч}$	Значение величины пропускной способности, обеспечивающее максимальный расчетный расход среды
Относительная пропускная способность	$\zeta$	-	$\zeta = \frac{K_v}{K_{vy}}$
Начальная пропускная способность РО	$K_{v0}$	$\text{м}^3/\text{ч}$	Номинальное значение величины пропускной способности в момент открытия затвора
Действительный ход затвора РО	$S$	мм	Величина хода, обеспечивающая действительный расход среды

Продолжение табл. I

Наименование технической величины или параметра	Обозначение	Размерность	Определение
Условный ход затвора P0	$S_y$	мм	Номинальное значение величины полного хода затвора P0
Относительный ход затвора P0	$l$	-	$l = \frac{S}{S_y}$
Пропускная способность технологического оборудования	$K_{vTO}$	м <sup>3</sup> /ч	Расход жидкости с плотностью 1000 кг/м <sup>3</sup> , пропускаемый через технологическое оборудование при перепаде давления на нем 1 кгс/см <sup>2</sup>
Пропускная способность участка трубопроводной линии	$K_{vЛ}$	м <sup>3</sup> /ч	Расход жидкости с плотностью 1000 кг/м <sup>3</sup> , пропускаемый участком трубопроводной линии при перепаде давления на нем 1 кгс/см <sup>2</sup>
Пропускная способность технологической сети (расчетного участка без P0)	$K_{vT}$	м <sup>3</sup> /ч	Расход жидкости с плотностью 1000 кг/м <sup>3</sup> , пропускаемый технологической сетью при перепаде давления на ней 1 кгс/см <sup>2</sup>
Пропускная способность расчетного участка гидравлической сети	$K_{vC}$	м <sup>3</sup> /ч	Расход жидкости с плотностью 1000 кг/м <sup>3</sup> , пропускаемый расчетным участком гидравлической сети при перепаде давления на нем 1 кгс/см <sup>2</sup>

Продолжение табл. I

Наименование технической величины или параметра	Обозначение	Размерность	Определение
Пропускная характеристика P0	-	-	Зависимость пропускной способности P0 от перемещения затвора $K_V = f(S)$ - в абсолютных величинах; $G = f_i(\ell)$ - в относительных величинах
Линейная пропускная характеристика P0	-	-	$K_V = \frac{K_{VY} - K_{VZ} \cdot S + K_{Vn}}{S_y}$ - в абсолютных величинах; $G = (1 - G_0)\ell + G_0$ - в относительных величинах
Равнопроцентная пропускная характеристика P0	-	-	$K_V = K_{VY} \cdot \left(\frac{K_{Vn}}{K_{VY}}\right)^{1 - \frac{S}{S_y}}$ - в абсолютных величинах; $G = G_0^{1-\ell}$ - в относительных величинах
Рабочая расходная характеристика	-	-	Зависимость расхода в рабочих условиях от перемещения затвора $Q = F(S)$ - в абсолютных величинах $q = f_i(\ell)$ - в относительных величинах;

Продолжение табл. I

Наименование технической величины или параметра	Обозначение	Размерность	Определение
			$Q = \frac{G}{G_{пред}} \cdot Q_{пред}$ <p>- предельная величина расхода)  <math>K = \frac{dQ}{dS}</math> - в относительных величинах  <math>K_{po} = \frac{G}{dS} = \frac{G}{S_y} \cdot K</math>                      - в абсолютных величинах</p>
Коэффициент передачи (коэффициент усиления) PO	K, K <sub>po</sub>	- м <sup>3</sup> /ч/мм	
<u>Условный проход PO</u>	<u>Ду</u>	<u>мм</u>	

1.2. Обозначения и размерности исходных данных и промежуточных расчетных величин для расчета и выбора PO приведены в табл. 2

Таблица 2

Обозначение	Наименование	Размерность
Дн	Наружный диаметр трубопровода	мм
G <sub>макс</sub> (G <sub>мин</sub> )	Максимальный (минимальный) весовой расход среды	кгс/ч
L <sub>п</sub>	Длина прямого участка трубопровода перед PO	мм
P <sub>0</sub>	Абсолютное давление в трубопроводе в начале расчетного участка	кгс/см <sup>2</sup>
P <sub>к</sub>	Абсолютное давление в трубопроводе в конце расчетного участка	кгс/см <sup>2</sup>
P <sub>1</sub>	Абсолютное давление среды при максимальном расходе до PO	кгс/см <sup>2</sup>
P <sub>2</sub>	Абсолютное давление среды при максимальном расходе после PO	кгс/см <sup>2</sup>

Продолжение табл.2

Обозначение	Наименование	Размерность
$P_n$	Абсолютное давление насыщенных паров жидкости при $t_1$	кгс/см <sup>2</sup>
$Q_{\text{макс}}(Q_{\text{мин}})$	Максимальный (минимальный) объемный расход жидкости	м <sup>3</sup> /ч
$Q_{\text{пмакс}}(Q_{\text{пмин}})$	Максимальный (минимальный) объемный расход газа, приведенный к условиям $P=1,033$ кгс/см <sup>2</sup> , $t = 0^\circ\text{C}$	м <sup>3</sup> /ч
$t_1$	Температура потока жидкости до РО	°C
$T_1$	Температура потока газа до РО	°K
$V_1$	Весовой объем пара при температуре $T_1$ и давлении $P_1$	м <sup>3</sup> /кгс
$V_2$	Весовой объем пара при температуре $T_1$ и давлении $P_2$	м <sup>3</sup> /кгс
$Z$	Разность уровней верхней и нижней отметок трубопровода	мм
$Z_1$	Разность уровней РО и источника напора	мм
$\gamma$	Удельный вес жидкости	гс/см <sup>3</sup>
$\gamma_n$	Удельный вес газа, приведенный к условиям $P=1,033$ кгс/см <sup>2</sup> , $t = 0^\circ\text{C}$	кгс/м <sup>3</sup>
$\rho$	Плотность газа в рабочих условиях при $P_1$ и $T_1$	гс/см <sup>3</sup>
$\mu$	Динамический коэффициент вязкости при температуре $t_1$	кгс.сек/м <sup>2</sup>
$\nu$	Кинематический коэффициент вязкости при температуре $t_1$	см <sup>2</sup> /с
$\lambda$	Показатель адиабаты газа	см <sup>2</sup> /с
$4P_{\text{то макс}}$	Потери давления в технологическом оборудовании при максимальном расходе среды	кгс/см <sup>2</sup>

Продолжение табл.2

Обозначение	Наименование	Размерность
$\Delta P_{л1 \text{ макс}}$	Потери давления в расчетном участке трубопроводной линии до РО при максимальном расходе среды	кгс/см <sup>2</sup>
$\Delta P_{л2 \text{ макс}}$	Потери давления в расчетном участке трубопроводной линии после РО при максимальном расходе среды	кгс/см <sup>2</sup>
$\Delta P_{т \text{ макс}}$	Потери давления в трубопроводной линии и технологическом оборудовании при максимальном расходе среды	кгс/см <sup>2</sup>
$\Delta P_{\text{ мин}}$	Потери давления в РО при максимальном расходе среды	кгс/см <sup>2</sup>
$\Delta P_{\text{с}}$	Перепад давления на регулируемом участке	кгс/см <sup>2</sup>

2. РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ И СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ РО

2.1. Расчетные формулы для определения максимальной пропускной способности РО без учета вязкости среды и кавитации ( $K_v \text{ макс}$ ) приведены в табл.3.

Таблица 3

Агрегатное состояние воды		
Жидкость	Пар	Газ
$K_{v \text{ макс}} = G_{\text{ макс}} \sqrt{\frac{8}{\Delta P_{\text{ мин}}}}$ <p>или</p> $K_{v \text{ макс}} = \frac{G_{\text{ макс}}}{1000 \sqrt{\Delta P_{\text{ мин}} \cdot 8}}$	<p>При <math>\Delta P_{\text{ мин}} &lt; 0,5 P_s</math></p> $K_{v \text{ макс}} = \frac{G_{\text{ макс}}}{33} \sqrt{\frac{V_s}{\Delta P_{\text{ мин}}}}$ <p>При <math>\Delta P_{\text{ мин}} \geq 0,5 P_s</math></p> $K_{v \text{ макс}} = \frac{G_{\text{ макс}}}{23,4} \sqrt{\frac{V_s}{P}}$	$K_{v \text{ макс}} = \frac{G_{\text{ макс}}}{1000 B \sqrt{\Delta P_{\text{ мин}} \cdot 8}}$ <p>где В - коэффициент, определяемый по табл. 4</p>



Таблица 4

$\lambda = \frac{P_2}{P_1}$	Коэффициент В при значениях показателя адиабаты						
	1	1,135	1,24	1,3	1,4	1,66	2
0	0,429	0,449	0,464	0,472	0,484	0,513	0,544
0,1	0,452	0,474	0,49	0,498	0,511	0,541	0,574
0,2	0,479	0,509	0,519	0,527	0,541	0,573	0,609
0,3	0,513	0,537	0,555	0,564	0,579	0,613	0,651
0,4	0,553	0,58	0,598	0,609	0,625	0,662	0,702
0,5	0,606	0,635	0,656	0,667	0,685	0,725	0,765
0,6	0,678	0,71	0,73	0,741	0,757	0,79	0,822
0,7	0,764	0,788	0,804	0,812	0,824	0,849	0,873
0,8	0,845	0,862	0,873	0,878	0,886	0,903	0,919
0,9	0,824	0,933	0,938	0,941	0,945	0,954	0,961
1	1	1	1	1	1	1	1

2.2. Учет влияния вязкости среды на величину максимальной пропускной способности.

2.2.1. Требуемая величина пропускной способности с учетом влияния вязкости среды определяется по формуле

$$K_{VB} = \psi \cdot K_{V\max}$$

Коэффициент  $\psi$  определяется в зависимости от числа Рейнольдса  $Re$  по графику на рис. I.

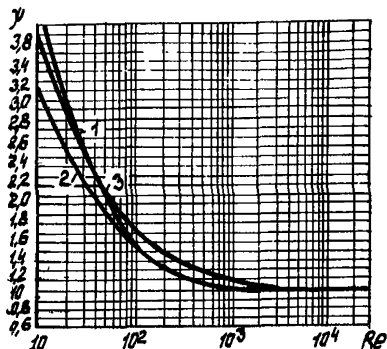


Рис. I Зависимость  $\psi$  от числа Рейнольдса.

1 - для двухседельных исполнительных устройств;  
2 - для односедельных; 3 - для заслоночных

2.2.2. Число Рейнольдса для выбранного РО и заданного максимального расхода определяется по следующим формулам:

$$Re = 353 \frac{Q_{\text{макс}}}{\sqrt{\rho \cdot D_y}} \text{ или } Re = 353 \frac{G_{\text{макс}}}{\gamma \cdot \sqrt{D_y}}$$

2.3. Учет влияния на работу РО кавитации регулируемой среды.

2.3.1. Условие бескавитационной работы РО определяется соотношением  $\Delta P_{\text{мин}} \leq \Delta P_{\text{кав}}$ , где

$\Delta P_{\text{кав}}$  - величина перепада давления на РО, при которой возникает кавитация, определяемая по формуле

$$\Delta P_{\text{кав}} = K_c (P_1 - P_n);$$

где  $K_c$  - коэффициент начала кавитации

2.3.2. Величина максимального перепада давления среды  $\Delta P_{\text{кав макс}}$ , при котором прекращается прирост расхода в условиях кавитации определяется по формуле

$$\Delta P_{\text{кав макс}} = K_{\text{с макс}}(P_1 - P_n),$$

где:

$K_{\text{с макс}}$  - коэффициент кавитации, соответствующий предельному расходу.

Коэффициенты  $K_{\text{с}}$  и  $K_{\text{с макс}}$  приведены в справочных таблицах регулирующих органов, применяемых в сантехнике (см. табл. 2+9 приложения).

### 3. РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ РЕГУЛИРУЕМЫХ УЧАСТКОВ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В САНИТАРНОЙ ТЕХНИКЕ И КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ ПОТОКОВ ЖИДКОСТИ. ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

3.1. Схема последовательного управления потоком жидкости через технологическое оборудование (схема I).

3.1.1. Схема регулируемого участка (РО, технологическое оборудование, трубопроводная линия) приведена на рис. 2.

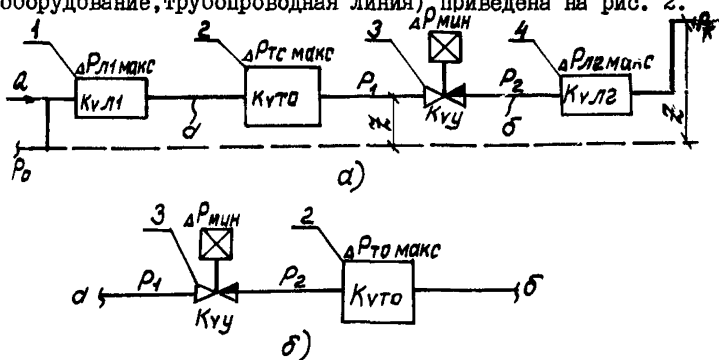


Рис.2. Схема регулируемого участка.

I - участок трубопроводной линии до технологического оборудования и регулирующего органа; 2 - технологическое оборудование (ТО); 3 - регулирующий орган (РО); 4 - участок трубопроводной линии после РО

3.1.2 Параметры регулируемого участка по схеме I связаны следующими соотношениями:

$$1. P_1 = P_0 - \Delta P_{л1 \text{ макс}} - \Delta P_{т0 \text{ макс}} \pm Z_1 \cdot \gamma \cdot 10^{-4}$$

( + , если точка с давлением  $P_0$  выше  $P_0$ ,  
 - , в противном случае);

$$2. \Delta P_{т \text{ макс}} = \Delta P_{л1 \text{ макс}} + \Delta P_{л2 \text{ макс}} + \Delta P_{т0 \text{ макс}}$$

$$3. \Delta P_c = P_0 - P_k \pm Z \cdot \gamma \cdot 10^{-4}$$

( + , если точка с давлением  $P_0$  выше точки с давлением  $P_k$ ,  
 - - в противном случае);

$$4. \Delta P_{мин} = \Delta P_c - \Delta P_{т \text{ макс}},$$

$$5. K_{VT} = Q_{\text{макс}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{\text{макс}}}};$$

$$6. K_{V \text{ макс}} = Q_{\text{макс}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{\text{мин}}}} = G_{\text{макс}} \cdot K_{VU}.$$

3.1.3 Уравнения рабочих расходных характеристик в относительных величинах для регулируемого участка по схеме I имеют следующий вид:

а) при  $P_0$  с линейной пропускной характеристикой ( $G_0 = 0; \frac{K_{VU}}{K_{VT}} = \eta$ )

$$q = \ell \sqrt{\frac{1 + \eta^2}{1 + \eta^2 \ell^2}};$$

б) при  $P_0$  с равнопроцентной пропускной характеристикой

$$(G_0 = 0,04; \frac{K_{VU}}{K_{VT}} = \eta), \quad q = 0,04 \cdot \ell \sqrt{\frac{1 + \eta^2}{1 + 0,04^2 (1 - \ell) \eta^2}}$$

Графики рабочих расходных характеристик для регулируемого участка по схеме I при различных значениях  $\eta$  приведены на рис. 3 и 4.

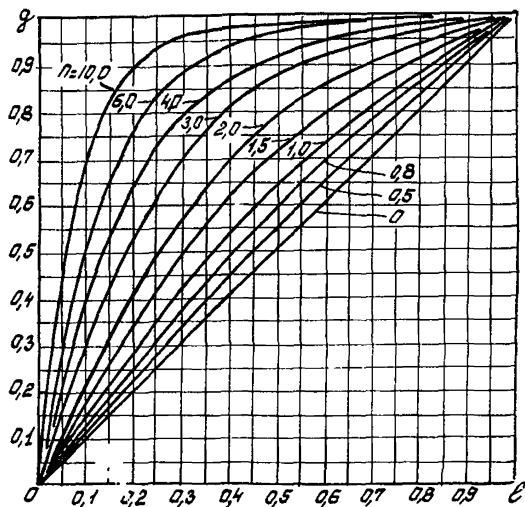


Рис.3. Графики рабочих расходных характеристик РО с линейной пропускной характеристикой, установленного на регулируемом участке по схеме I

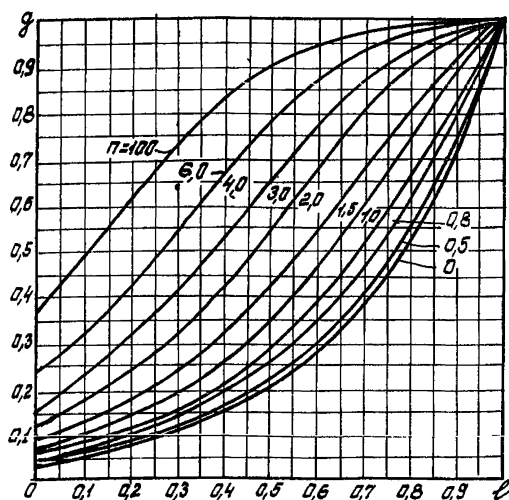


Рис. 4 Графики рабочих расходных характеристик РО с равнопроцентной пропускной характеристикой, установленного на регулируемом участке по схеме I

3.1.4. Коэффициент передачи РО на регулируемом участке по схеме I определяется следующими соотношениями:  
 а) для РО с линейной пропускной характеристикой:

$$(\sigma=0; \frac{K_{vy}}{K_{vr}}=\pi);$$

$$K=\sqrt{\frac{1+\pi^2}{(1+\pi^2)^2+3}} \quad \text{или} \quad K=\frac{\sqrt{(1+\pi^2-3\pi^2)^2}}{1+\pi^2};$$

б) для РО с равнопроцентной пропускной характеристикой ( $\sigma_0=0,04; \frac{K_{vy}}{K_{vr}}=\pi$ ),

$$K=3,22 \cdot 0,04^{1-\epsilon} \cdot \sqrt{\frac{1+\pi^2}{[1+0,04^2(1-\epsilon) \cdot \pi^2]^3}} \quad \text{или} \quad K=3,22q \left(1-\frac{q^2 \cdot \pi^2}{1+\pi^2}\right)$$

Графики зависимости относительного расхода среды от величины  $K$  при различных значениях  $\pi$  приведены на рис. 5, 6

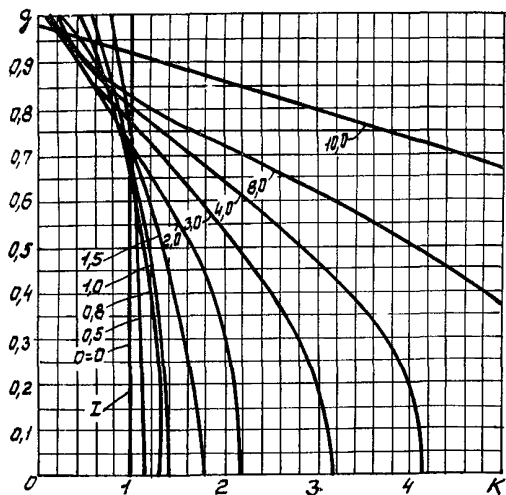


Рис. 5 Графики зависимости относительного расхода  $q$  от коэффициента передачи  $K$  для РО с линейной пропускной характеристикой, установленного на регулируемом участке по схеме I

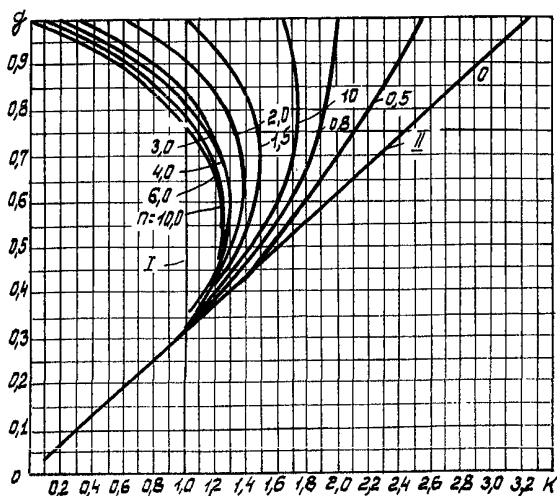


Рис.6. Графики зависимости относительного расхода  $q$  от коэффициента передачи  $K$  для РО с равнопроцентной пропускной характеристикой, установленного на регулируемом участке по схеме I

3.1.5. Абсолютная величина максимальной разности коэффициентов передачи  $\Delta K_{\text{макс}}$  в интервале значений  $q$  от 0 до 0,9 между кривой  $q = f(K)$  с заданным значением  $n$  и линией I ( $K=1$ ) равна: для РО с линейной пропускной характеристикой

$$\Delta K_{\text{макс}} = \sqrt{1+n^2} - 1 \quad (\text{при } q=0);$$

для РО с равнопроцентной пропускной характеристикой

$$\Delta K_{\text{макс}} = \frac{1,24}{n} \cdot \sqrt{1+n^2} - 1 \quad (\text{при } q = \sqrt{\frac{1+n^2}{3n^2}} \text{ и } n \geq 0,705)$$

При  $n=1,24$  значения  $\Delta K_{\text{макс}}$  для РО с линейной и равнопроцентной пропускными характеристиками равны между собой, при  $n < 1,24$



$\Delta K_{\text{макс}}$  меньше для РО с линейной пропускной характеристикой, при  $\nu > 1,24$  - для РО с равнопроцентной пропускной характеристикой.

3.2. Схема параллельного управления потоком жидкости через технологический аппарат (схема 2).

3.2.1. Схема регулируемого участка приведена на рис. 7.

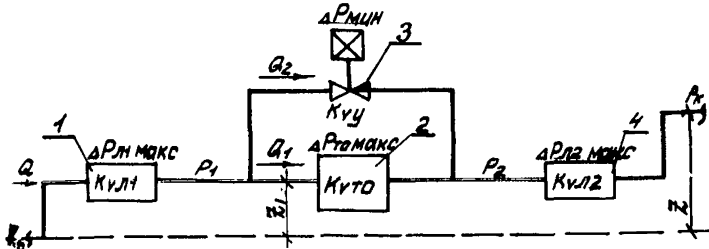


Рис. 7. Схема регулируемого участка

- 1 - участок трубопроводной линии до технологического оборудования и регулирующего органа;
- 2 - технологическое оборудование (ТО);
- 3 - регулирующий орган (РО);
- 4 - участок трубопроводной линии после ТО и РО

3.2.2. Параметры регулируемого участка по схеме 2 связаны следующими соотношениями:

$$1. P_1 = P_0 - \Delta P_{\text{л макс}} \pm Z \cdot \gamma \cdot 10^{-4}$$

( + , если точка с давлением  $P_0$  расположена выше  $P_1$  - если ниже)

$$2. \Delta P_{\text{л макс}} = \Delta P_{\text{л макс}} + \Delta P_{\text{л макс}};$$

$$3. \Delta P_c = P_0 - P_k \pm Z \cdot \gamma \cdot 10^{-4}$$

( + , если точка с давлением  $P_0$  расположена выше точки с давлением  $P_k$ , - , если ниже);

$$4. Q = K_{vc} \sqrt{\frac{\Delta P_c}{\gamma}}, \text{ где } K_{vc} = \frac{K_{vl}(K_{vта} + \sigma \cdot K_{vy})}{\sqrt{K_{vl}^2 + (K_{vта} + \sigma \cdot K_{vy})^2}};$$

$$5. Q = K_{vl} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_c}{\gamma} - \frac{Q_1^2}{K_{vта}^2}};$$

$$6. Q_1 = \frac{Q \cdot K_{vта}}{K_{vта} + \sigma \cdot K_{vy}}; \quad Q_2 = \frac{Q \cdot \sigma \cdot K_{vy}}{K_{vта} + \sigma \cdot K_{vy}}$$

3.2.3. Уравнение рабочих расходных характеристик в относительных величинах для ветви с технологическим оборудованием регулируемого участка по схеме 2 имеет следующий вид:

а) при РО с линейной пропускной характеристикой ( $\sigma = 0; \frac{K_{vy}}{K_{vта}} = \pi$ ;  
 $\frac{K_{vl}}{K_{vта}} = m$ ,  $m$  и  $\pi$  - характеристические гидравлические параметры)

$$Q_d = \sqrt{\frac{1+m^2}{(1+\pi \cdot \ell)^2 + m^2}}$$

б) при РО с равнопроцентной пропускной характеристикой  
 $(\sigma = 0,04; \frac{K_{vy}}{K_{vта}} = \pi; \frac{K_{vl}}{K_{vта}} = m)$

$$Q_d = \sqrt{\frac{(1+0,04 \cdot \pi)^2 + m^2}{(1+0,04 \cdot \pi)^2 + m^2}}$$

Графики рабочих расходных характеристик для ветви с технологическим оборудованием по схеме 2 при различных значениях  $n$  и  $m$  приведены на рис. 8 и 9.

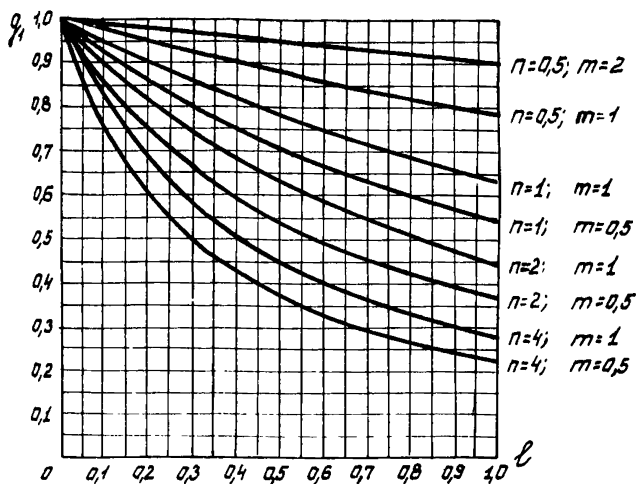


Рис.8. Графики рабочих расходных характеристик для ветви с технологическим оборудованием (схема 2, P0 с линейной пропускной характеристикой)

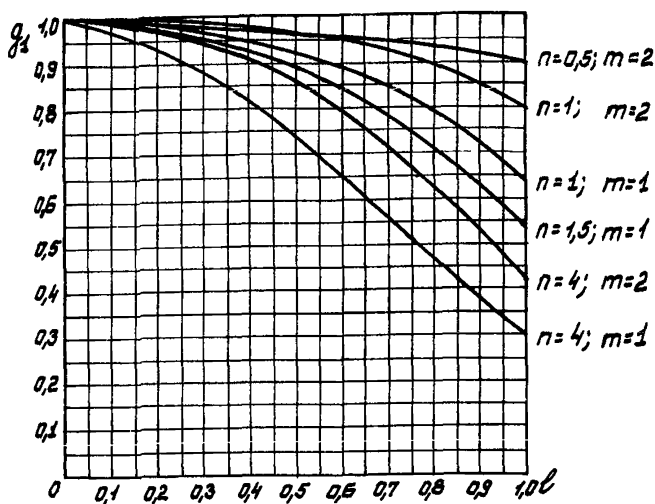


Рис. 9. Графики рабочих расходных характеристик для ветви с технологическим оборудованием (схема 2, РО с равнопроцентной пропускной характеристикой)

3.2.4. Коэффициент передачи РО для ветви с технологическим оборудованием по схеме 2 определяется следующими соотношениями:

а) для РО с линейной пропускной характеристикой ( $\mathcal{G}_0 = 0$ ;

$$\frac{K_{\text{вч}}}{K_{\text{вго}}} = n; \quad \frac{K_{\text{вл}}}{K_{\text{вто}}} = m$$

$$K_1 = -\frac{n\sqrt{1+m^2} \cdot (1+n\beta)}{[(1+n\beta)^2 + m^2]^{3/2}} = -\frac{n \cdot q_1^2}{1+m^2} \sqrt{1+m^2(1-q_1^2)}$$

б) для РО с равнопроцентной пропускной характеристикой

$$(\zeta_0 = 0,04; \frac{K_{vy}}{K_{vto}} = n; \frac{K_{vl}}{K_{vto}} = m)$$

$$K_1 = - \frac{3,22n \cdot 0,04^{1-\epsilon} (1+0,04^{1-\epsilon} n) \sqrt{(1+0,04n)^2 + m^2}}{[(1+0,04^{1-\epsilon} n)^2 + m^2]^{3/2}} =$$

$$= - \frac{3,22q_1 \sqrt{(1+0,04n)^2 + m^2} (1-q_1^2) [\sqrt{(1+0,04n)^2 + m^2} + m^2(1-q_1^2) - q_1]}{(1+0,04n)^2 + m^2}$$

На рис. 10, II приведены графики зависимости относительного расхода через ветвь с технологическим оборудованием  $q_1$  от величины  $K_1$

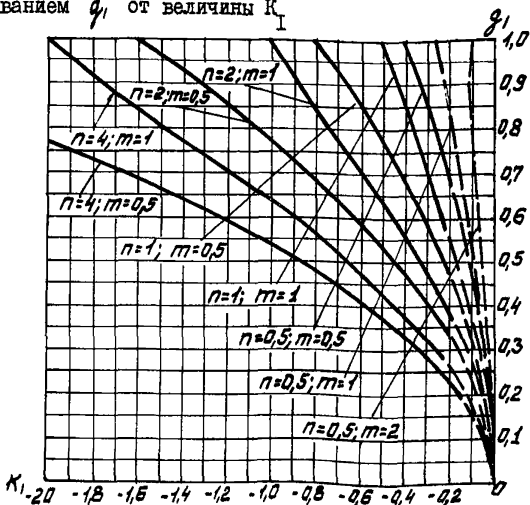


Рис. 10 Графики зависимости  $q_1 = f(K_1)$  для РО с линейной пропускной характеристикой

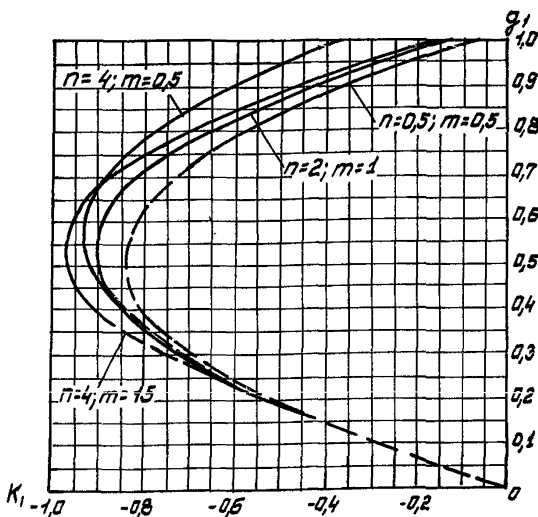


Рис. II Графики зависимости  $Q_1 = f(K_1)$  для РО с равнопроцентной пропускной характеристикой.

3.2.5. Отношение максимального значения величины  $K_{\Gamma}$  к её минимальному значению определяется следующими соотношениями:

а) для РО с линейной пропускной характеристикой

$$\frac{K_{\Gamma \text{ макс}}}{K_{\Gamma \text{ мин}}} = \frac{1}{1+n} \left[ \frac{(1+n)^2 + m^2}{1+m^2} \right]^{3/2},$$

где  $K_{\Gamma \text{ макс}}$  соответствует значению  $l = 0$ ,

$K_{\Gamma \text{ мин}}$  соответствует значению  $l = I$ ;

б) для РО с равнопроцентной пропускной характеристикой

$$\frac{K_{\Gamma \text{ макс}}}{K_{\Gamma \text{ мин}}} = \frac{K_{\Gamma}(1)}{K_{\Gamma}(0)} = \frac{1+n}{0,04(1+0,04n)} \cdot \left[ \frac{(1+0,04n)^2 + m^2}{(1+n)^2 + m^2} \right]^{3/2}$$

3.2.6. Отношение  $\frac{K_{1, \max}}{K_{1, \min}}$  для РО с равнопроцентной пропускной характеристикой будет меньшим, чем для РО с линейной пропускной характеристикой при выполнении (приблизительно) следующего соотношения между величинами  $n$  и  $m$ :

$$n > 1,3(1+m^2)$$

3.3. Схема управления потоком жидкости через технологическое оборудование путем его разделения трехходовым РО (схема 3).

3.3.1. Схема регулируемого участка приведена на рис. 12.

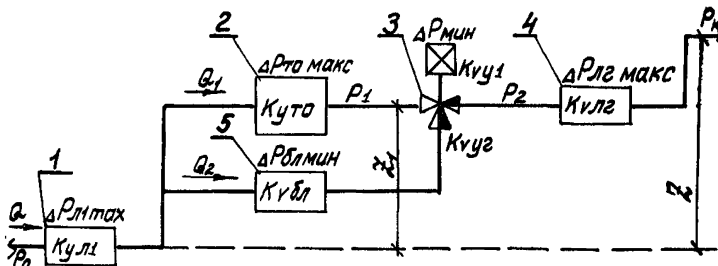


Рис. 12. Схема регулируемого участка

- I - участок трубопроводной линии до технологического оборудования и регулирующего органа; 2 - технологическое оборудование (ТО); 3 - регулирующий орган (РО); 4 - участок трубопроводной линии после РО; 5 - участок байпасной линии

3.3.2. Параметры регулируемого участка по схеме 3 связаны следующими соотношениями

1.

$$P_1 = P_0 - \Delta P_{л \max} - \Delta P_{то \max} \pm Z_1 \cdot \gamma \cdot 10^{-4};$$

(+, если точка с давлением  $P_0$  выше РО,

- в противном случае);

2.  $\Delta P_{л \max} = \Delta P_{л \max} + \Delta P_{лг \max};$

$$3. \Delta P_c = P_0 - P_A \pm Z \cdot \gamma \cdot 10^{-4}$$

( + если точка с давлением  $P_0$  выше точки с давлением  $P_A$ ,

- в противном случае)

$$4. \Delta P_{1 \text{ мин}} = \Delta P_c - \Delta P_{\text{л макс}} - \Delta P_{\text{го макс}};$$

$$5. \Delta P_{2 \text{ мин}} = \Delta P_c - \Delta P_{\text{л макс}} - \Delta P_{\text{дн макс}};$$

$$6. K_{\text{н макс}} = Q_{1 \text{ макс}} \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{1 \text{ мин}}}} = G_{1 \text{ макс}} \cdot K_{\text{в у 1}};$$

$$7. K_{\text{в 2 макс}} = Q_{2 \text{ макс}} \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{2 \text{ мин}}}} = G_{2 \text{ макс}} \cdot K_{\text{в у 2}};$$

$$8. K_{\text{в 1}} = Q_{1 \text{ макс}} \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{\text{л макс}}}};$$

$$9. K_{\text{в го}} = Q_{1 \text{ макс}} \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{\text{го макс}}}};$$

$$10. K_{\text{в дн}} = G_{2 \text{ макс}} \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{\text{дн макс}}}};$$

$$11. Q = \frac{\left[ \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{K_{\text{в го}}^2} + \frac{1}{G_1^2 \cdot K_{\text{в у 1}}^2}} + \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{K_{\text{в дн}}^2} + \frac{1}{G_2^2 \cdot K_{\text{в у 2}}^2}}} \right] \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_c}{\gamma}}}{\sqrt{1 + \frac{1}{K_{\text{в 1}}^2}} \cdot \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{K_{\text{в го}}^2} + \frac{1}{G_1^2 \cdot K_{\text{в у 1}}^2}} + \frac{1}{\frac{1}{K_{\text{в дн}}^2} + \frac{1}{G_2^2 \cdot K_{\text{в у 2}}^2}}}}^2}$$

$$12. K_{\text{см}} = \frac{Q_2}{Q} = \frac{\sqrt{\frac{1}{K_{\text{в дн}}^2} + \frac{1}{G_2^2 \cdot K_{\text{в у 2}}^2}}}{\sqrt{\frac{1}{K_{\text{в го}}^2} + \frac{1}{G_1^2 \cdot K_{\text{в у 1}}^2} + \sqrt{\frac{1}{K_{\text{в дн}}^2} + \frac{1}{G_2^2 \cdot K_{\text{в у 2}}^2}}}}$$



3.3.3. Уравнение рабочих расходных характеристик в относительных величинах для ветви с технологическим оборудованием регулируемого участка по схеме 3 при линейной пропускной характеристике трехходового РО имеет следующий вид (учитывая, что  $G_{10} = 0$ ;  $G_{20} = 1$ ;  $\frac{K_{VУ2}}{K_{VУ1}} = n$ ;  $\frac{K_{VЛ}}{K_{VТО}} = m$ ;

$$\frac{K_{VДП}}{K_{VТО}} = \rho; \quad \frac{K_{VУ2}}{K_{VУ1}} = a);$$

$$q_1 = \rho \cdot \sqrt{\frac{1+n^2 + \frac{n^2}{m^2}}{1+n^2 \rho^2 + \frac{n^2}{m^2} [\rho + a(1-\rho)]^2}},$$

$$\text{где } A = \sqrt{\frac{1+n^2 \rho^2}{1 + \frac{n^2 a^2}{\rho^2} \cdot (1-\rho)^2}}.$$

Примеры графиков рабочих расходных характеристик для ветви с технологическим оборудованием при различных значениях  $n$ ,  $m$ ,  $\rho$  и  $a$  приведены на рис. 13 и 14.

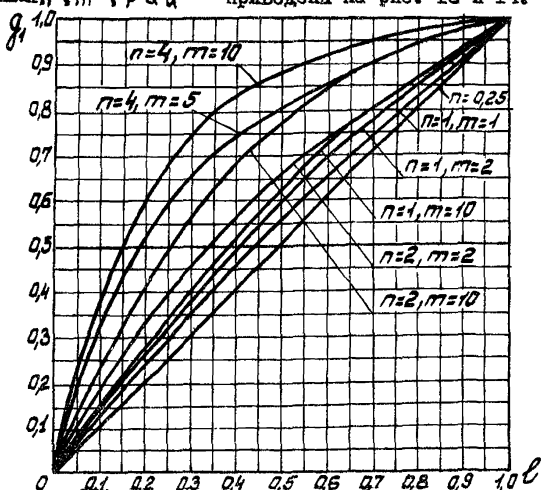


Рис. 13. Рабочая расходная характеристика трехходового РО с равновеликими окнами ( $a = 1$ ,  $\rho = \infty$ )

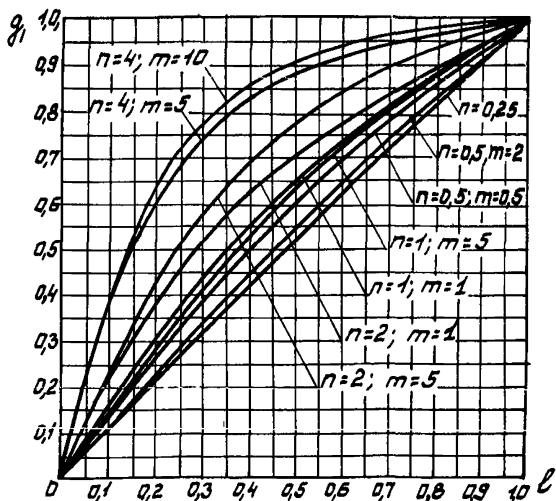


Рис. 14. Рабочая расходная характеристика трехходового Р0 с неравновеликими окнами ( $\alpha = 0,415$ ;  $P = \infty$ )

3.3.4. Зависимость коэффициента смешения от хода затвора трехходового Р0 с линейной пропускной характеристикой в относительных величинах для регулируемого участка по схеме 3 имеет следующий вид

$$\left( G_{10} = 0; G_{20} = 1; \frac{K_{VЧ1}}{K_{VТ0}} = \eta; \frac{K_{VБП}}{K_{VТ0}} = \rho; \right.$$

$$\left. \frac{K_{VЧ1}}{K_{VЧ2}} = \alpha \right), \quad K_{см} = \frac{\ell}{\ell + \alpha(1-\ell)} \cdot A, \\ \text{где } A = \sqrt{\frac{1 + \eta^2 \rho^2}{1 + \frac{\rho^2 \alpha^2}{\rho^2} \cdot (1-\ell)^2}}$$

3.3.5. Коэффициент передачи по расходу трехходового Р0 с линейной пропускной характеристикой для ветви с технологическим оборудованием  $K_4 = \frac{d q_1}{d \ell}$  определяется следующим соотношением:

$$K_1 = \frac{\sqrt{1+n^2+\frac{n^2}{m^2}} \left\{ 1 + \frac{n^2 \cdot a \cdot A}{m^2} [\ell + a \cdot (1-\ell) \cdot A] (1-\ell + \ell \cdot A^2) \right\}}{(1+n^2 \ell^2) \left\{ 1 + n^2 \ell^2 + \frac{n^2}{m^2} [\ell + a(1-\ell) \cdot A]^2 \right\}^{3/2}},$$

$$\text{где } A = \sqrt{\frac{1+n^2 \ell^2}{1 + \frac{n^2 \cdot a^2}{p^2} (1-\ell)^2}}$$

( $m, n, p$  и  $a$  - тоже, что и в п. 3.3.3).

3.3.6. Коэффициент передачи по величине смещения трехходового РО с линейной пропускной характеристикой  $K = \frac{d K_{CM}}{dV}$  определяется

следующим соотношением:

$$K = \frac{a A (1-\ell + \ell \cdot A^2)}{[\ell + a(1-\ell) \cdot A]^2 (1+n^2 \ell^2)},$$

$$\text{где } A = \sqrt{\frac{1+n^2 \ell^2}{1 + \frac{n^2 \cdot a^2}{p^2} (1-\ell)^2}}$$

( $n, p$  и  $a$  - тоже, что и в п. 3.3.4)

4. МЕТОДИКА ВЫБОРА ДВУХХОДОВЫХ РО ДЛЯ  
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ  
ЖИДКОСТИ

4.1. Исходные данные для расчета.

4.1.1. Расчетные схемы представлены на рис. 1.

4.1.2. Исходными данными для расчета являются следующие величины:

Абсолютное давление в трубопроводе, кгс/см<sup>2</sup>:

в начале расчетного участка . . . . . P<sub>0</sub>

в конце расчетного участка . . . . . P<sub>к</sub>

Потери давления в расчетном участке трубопроводной  
линии при максимальном расходе среды, кгс/см<sup>2</sup>

до P<sub>0</sub> . . . . . ΔP<sub>л1макс</sub>

после P<sub>0</sub> . . . . . ΔP<sub>л2макс</sub>

Потери давления на технологическом оборудовании при  
максимальном расходе среды , кгс/см<sup>2</sup> . . . . . ΔP<sub>томакс</sub>

Разности уровней, мм:

точки начала и конца расчетного участка . . . . . Z

точки начала расчетного участка

и отметки, на которой установлен P<sub>0</sub> . . . . . Z<sub>1</sub>

Температура среды перед P<sub>0</sub>, °C . . . . . t<sub>1</sub>

Максимальный объемный расход среды, м<sup>3</sup>/ч . . . . . Q<sub>макс</sub>

Удельный вес среды, г/см<sup>3</sup> . . . . . γ

Кинематический коэффициент вязкости, см<sup>2</sup>/с . . . . . ν

Наружный диаметр трубопровода , мм . . . . . D<sub>н</sub>

Длина прямого участка трубопровода после P<sub>0</sub>, мм . . . . . L

4.2. Расчет условной пропускной способности  
и выбор условного прохода P<sub>0</sub>

4.2.1. Выбирают тип P<sub>0</sub> в соответствии с требованиями, предъявляемыми к проектируемой системе регулирования и с параметрами регулируемой среды.

4.2.2. Определяют по формулам (1)+(4) п.3.1.2. следующие параметры расчетной схемы:

$P_I$  - давление среды перед РО, кгс/см<sup>2</sup>;

$\Delta P_T^{пр}$  макс - предварительное значение потери давления в технологическом оборудовании и участке трубопроводной линии при максимальном расходе среды, кгс/см<sup>2</sup>;

$\Delta P_c$  - перепад давления на регулируемом участке, кгс/см<sup>2</sup>;

$\Delta P_{мин}^{пр}$  - предварительное значение перепада давления на РО, кгс/см<sup>2</sup>.

Величины  $\Delta P_T^{пр}$  макс и  $\Delta P_{мин}^{пр}$  пока считаются предварительно вычисленными, поскольку в последующих расчетах они могут быть изменены.

4.2.3. Производят проверку на кавитацию. Для этого определяют величину перепада давления на РО, при котором возникает кавитация.

$$\Delta P_{кав} = K_c (P_I - P_n).$$

Значение  $P_n$  определяется из табл. I приложения по заданному значению  $t_I$ .

Коэффициент кавитации  $K_c$  определяется по табл. 2+9 приложения в зависимости от выбранного типа РО.

Если  $\Delta P_{мин}^{пр} \leq P_{кав}$ , принимают  $\Delta P_{мин} = \Delta P_{мин}^{пр}$

Если  $\Delta P_{мин}^{пр} > P_{кав}$ , принимают  $\Delta P_{мин} = \Delta P_{кав}$

и вычисляют оставшийся перепад давления, который необходимо погасить дроссельной шайбой, установленной после РО -  $\Delta P_{ш}$ ,

$$\Delta P_{ш} = \Delta P_{мин}^{пр} - \Delta P_{кав}.$$

В этом случае

$$\Delta P_{T макс} = \Delta P_T^{пр макс} + \Delta P_{ш}$$

4.2.4. Определяют максимальную пропускную способность по формуле (6) п. 3.1.2.

4.2.5. Определяют минимальное значение коэффициента запаса пропускной способности  $\zeta$  в зависимости от длины прямого участка после РО:

если  $\frac{L_p}{D_n} < 10$ , принимают  $\zeta = 1,4$ ;

если  $\frac{L_p}{D_n} \geq 10$ , принимают  $\zeta = 1,2$

4.2.6. Определяют по данным каталогов (см. табл. 2+9 приложения) ближайшее значение условной пропускной способности, отвечающее условию

$$K_{vy} \geq \zeta \cdot K_{v \max}$$

4.2.7. Выбирают условный проход РО - Ду, соответствующий найденному значению  $K_{vy}$  и наименее отличающийся от величины  $D_n$ .

4.2.8. Определяют поправочный коэффициент на влияние вязкости жидкости. Предварительно вычисляют число Рейнольдса  $Re$  по одной из формул

$$Re = 3630 \frac{Q_{\max}}{\nu \cdot D_y} \quad \text{или} \quad Re = 3,53 \cdot \frac{G_{\max}}{\rho \cdot \nu \cdot D_y}$$

Затем по графику на рис. I определяют поправочный коэффициент для уточнения величины требуемой максимальной пропускной способности с учетом вязкости  $K_{vB}$ .

При  $Re > 2000$   $\psi = 1$  и в этом случае влияние вязкости не учитывают.

4.2.9. Определяют требуемую максимальную пропускную способность с учетом вязкости

$$K_{vB} = \zeta \cdot \psi \cdot K_{v \max}$$

4.2.10. Если  $K_{vB} \leq K_{vy}$ , оставляют выбранные значения  $K_{vy}$  и Ду, если  $K_{vB} > K_{vy}$ , принимают значения  $K_{vB}$  и Ду ближайшие большие ранее выбранных и вновь определяют  $K_{vB}$ .

### 4.3. Выбор пропускной характеристики РО

4.3.1. Определяют пропускную способность технологической сети  $K_{VT}$  по формуле

$$K_{VT} = Q_{\text{макс}} \cdot \sqrt{\frac{\delta}{\Delta P_{T \text{ макс}}}}$$

4.3.2. Определяют отношение условной пропускной способности РО и пропускной способности технологической сети  $n$  по формуле

$$n = \frac{K_{VУ}}{K_{VT}}$$

4.3.3. Выбирают пропускную характеристику РО по найденному значению  $n$  из условия:

при  $n \leq 1,24$  принимают РО с линейной пропускной характеристикой;

при  $n > 1,24$  принимают РО с равнопроцентной пропускной характеристикой (см. п.3.1.5).

Примечание. Если по расчету  $n > 1,24$ , но в номенклатуре нет требуемых РО с равнопроцентной характеристикой, величину  $n$  можно уменьшить, снизив перепад давления на дроссельной шайбе, установленной после РО для избежания кавитации.

В этом случае принимают

$$\Delta P_{\text{мин}} = \Delta P_{\text{кав. макс}};$$

$$\Delta P_{\text{ш}} = \Delta P_{\text{мин}}^{\text{пр}} - \Delta P_{\text{кав. макс}},$$

$$\text{где } \Delta P_{\text{кав. макс}} = K_{\text{с макс}}(P_1 - P_n) \text{ (п. 2.3.2)}.$$

Уменьшить величину  $n$  можно также, увеличив, по возможности, давление в начале расчетного участка РО (давление источника напора).

Расчет в этом случае следует выполнить заново.

4.4. Примеры расчета и выбора параметров РО, осуществляющих последовательное управление потоком среды.

4.4.1. Расчет и выбор параметров РО, управляющего потоком кавитирующей жидкости.

А. Исходные данные

Управляемая среда . . . . .	вода
Абсолютное давление в трубопроводе, кг/см <sup>2</sup>	
в начале расчетного участка, P <sub>0</sub> . . . . .	9,7
в конце расчетного участка, P <sub>к</sub> . . . . .	4,5
Потери давления в расчетном участке трубопроводной линии при максимальном расходе среды, кгс/см <sup>2</sup>	
до РО, ΔP <sub>д1 макс</sub> . . . . .	0,15
после РО, ΔP <sub>д2 макс</sub> . . . . .	0,05
Потери давления в технологическом оборудовании при максимальном расходе среды ΔP <sub>то макс</sub> , кгс/см <sup>2</sup> . . . . .	0,22
Разности уровней, мм:	
верхней и нижней отметок трубопровода, Z . . . . .	1000
отметок источника напора и РО, Z <sub>1</sub> . . . . .	2500
(источник напора расположен выше РО и выше конечной точки участка)	
Температура среды перед РО, t, °С . . . . .	130
Максимальный расход среды Q <sub>макс</sub> , м <sup>3</sup> /ч . . . . .	18,0
Удельный вес среды γ, гс/см <sup>3</sup> . . . . .	1
Кинематический коэффициент вязкости среды ν, см <sup>2</sup> /с . . . . .	0,002
Наружный диаметр трубопровода D <sub>н</sub> , мм . . . . .	76
Длина прямого участка трубопровода после РО, l <sub>н</sub> , мм . . . . .	350
Требуется выбрать размер РО для регулятора температуры прямого действия типа РТ.	



## Б. Расчет и выбор основных параметров

1. Составляют схему расчетного участка. Расчетной схемой для данного примера является схема на рис. I б.

2. Определяют давление среды перед РО

$$P_1 = P_0 - \Delta P_{л макс} + Z_1 \cdot \gamma \cdot 10^{-4} = 9,7 - 0,15 + 2500 \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 9,8 \text{ кгс/см}^2$$

3. Определяют предварительное значение потери давления в технологическом оборудовании и участке трубопроводной линии при максимальном расходе среды

$$\Delta P_{г макс}^{пр} = \Delta P_{л макс} + \Delta P_{э макс} + \Delta P_{тв макс} = 0,15 + 0,05 + 0,22 = 0,42 \text{ кгс/см}^2$$

4. Определяют перепад давления на регулируемом участке

$$\Delta P_c = P_0 - P_k + Z \cdot \gamma \cdot 10^{-4} = 9,7 - 4,5 + 1000 \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 5,3 \text{ кгс/см}^2$$

5. Определяют предварительное значение перепада давления на РО при максимальном расходе среды

$$\Delta P_{мин}^{пр} = \Delta P_c - \Delta P_{г макс}^{пр} = 5,3 - 0,42 = 4,88 \text{ кгс/см}^2$$

6. Определяют величину перепада давления на РО, при котором возникает кавитация

$$\Delta P_{кав} = K_c (P_1 - P_n) = 0,4(9,80 - 2,75) = 2,82 \text{ кгс/см}^2$$

( $K_c$  определяют по табл. 5,  $P_n$  определяют по табл. I приложения).

7. Поскольку  $\Delta P_{мин}^{пр} > \Delta P_{кав}$  (4,88 > 2,82) принимают

$$\Delta P_{мин} = \Delta P_{кав} = 2,82 \text{ кгс/см}^2$$

8. Определяют перепад давления, который необходимо потерять на дроссельной шайбе

$$\Delta P_{ш} = \Delta P_{мин}^{пр} - \Delta P_{мин} = 4,88 - 2,82 = 2,06 \text{ кгс/см}^2$$

9. Определяют величину потери давления в технологическом оборудовании и участке трубопроводной линии при

максимальном расходе среды (после установки дроссельной шайбы)

$$\Delta P_{T\max} = \Delta P_{T\max}^{np} + \Delta P_{ш} = 0,42 + 2,06 = 2,48 \text{ кгс/см}^2$$

10. Определяют максимальную пропускную способность РО

$$K_{V\max} = Q_{\max} \cdot \sqrt{\frac{3}{\Delta P_{\min}}} = 18 \cdot \sqrt{\frac{1}{2,82}} = 10,07 \text{ м}^3/\text{ч}$$

11. Определяют минимальное значение коэффициента запаса  $\zeta$ .

$$\text{Поскольку } \frac{K_{V\max}}{K_{V\text{н}}} = \frac{350}{76} = 4,6 < 10,$$

принимают  $\zeta = 1,4$

12. Вычисляют значение произведения

$$\zeta \cdot K_{V\max} = 1,4 \cdot 10,07 = 14,1 \text{ м}^3/\text{ч}$$

и выбирают по табл. 5 величину условной пропускной способности РО  $K_{Vу} = 16 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Соответствующее значение условного прохода Ду = 40 мм.

13. Определяют число Рейнольдса

$$Re = 3530 \frac{Q_{\max}}{V \cdot \text{Ду}} = 3530 \frac{18}{0,002 \cdot 40} = 8 \cdot 10^5.$$

Поскольку  $Re > 2000$ , влияние вязкости на расход среды через РО незначительно и поэтому не учитывается.

14. Определяют пропускную способность технологической сети  $K_{VT}$

$$K_{VT} = Q_{\max} \sqrt{\frac{8}{\Delta P_{T\max}}} = 18 \sqrt{\frac{1}{2,48}} = 11,4 \text{ м}^3/\text{ч}$$

15. Определяют отношение пропускных способностей РО ( $K_{Vу}$ ) и технологической сети

$$n = \frac{K_{Vу}}{K_{VT}} = \frac{16}{11,4} = 1,4 = 1,24$$

16. Принимают к установке клапан регулятора РТ с условным диаметром Ду=40 мм,  $K_{Vу} = 16 \text{ м}^3/\text{ч}$  и линейной пропускной характеристикой (поскольку клапана с равно-

процентной характеристикой в номенклатуре нет).

17. Для улучшения рабочей расходной характеристики можно уменьшить число  $n$ , допустив работу клапана в условиях кавитации.

В этом случае принимают:

$$\Delta P_{\text{мин}} = \Delta P_{\text{кав макс}} = K_{\text{с макс}} (P_1 - P_n) = 0,53(9,8 - 2,76) = 3,73 \text{ кгс/см}^2$$

Тогда

$$\Delta P_{\text{ш}} = 1,15 \text{ кгс/см}^2; \Delta P_{\text{т макс}} = 1,57 \text{ кгс/см}^2; K_{\text{вт}} = 14,4 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$n = 1,11$

4.4.2. Расчет и выбор параметров РО, управляющего потоком вязкой жидкости.

А. Исходные данные:

Управляемая среда . . . . . мазут марки 100

Абсолютное давление в трубопроводе, кгс/см<sup>2</sup>

в начале расчетного участка  $P_0$  . . . . . 17,5

в конце расчетного участка  $P_k$  . . . . . 2,3

Потери давления в расчетном участке трубопроводной линии при максимальном расходе среды, кгс/см<sup>2</sup> . .

до РО,  $\Delta P_{\text{л1 макс}}$  . . . . . 0,12

после РО,  $\Delta P_{\text{л2 макс}}$  . . . . . 0,04

Потеря давления в технологическом оборудовании при максимальном расходе среды,  $\Delta P_{\text{ТО макс}}$ , кгс/см<sup>2</sup> . . . . . 0,2

Разности уровней, мм

верхней и нижней отметок трубопровода,  $Z$  . . . . . 0

отметок источника напора и РО,  $Z_1$  . . . . . 1500

(источник напора расположен ниже РО)

Температура среды перед РО  $t_1$ , °С . . . . . 80

Максимальный расход среды,  $G_{\text{макс}}$ , кгс/ч . . . . . 1200

Удельный вес среды  $\gamma$ , гс/см<sup>3</sup> . . . . . 0,99

Кинематический коэффициент вязкости среды  $\nu$ , см<sup>2</sup>/с . . . . . 1,14

Наружный диаметр трубопровода  $D_n$ , мм . . . . . 50

Длина прямого участка трубопровода после РО,  $L_n$ , мм I400

Требуется выбрать размер РО для регулятора давления "после себя".

### Б. Расчет и выбор основных параметров РО

1. Составляют схему расчетного участка. Расчетной схемой для данного примера является схема на рис.2а. Определяют тип подходящего по техническим условиям РО. Принимают тип 9с (ввиду малого расхода среды).

2. Определяют давление среды перед РО

$$P_1 = P_0 - \Delta P_{л макс} - \Delta P_{т макс} - Z_1 \cdot \gamma \cdot 10^{-4} = 17,5 - 0,12 - 0,2 - 1500 \cdot 0,99 \cdot 10^{-4} = 17,03 \text{ кгс/см}^2$$

3. Определяют предварительное значение потери давления в технологическом оборудовании и участке трубопроводной линии при максимальном расходе среды

$$\Delta P_{т макс}^{пр} = \Delta P_{л макс} + \Delta P_{л2 макс} + \Delta P_{т макс} = 0,12 + 0,04 + 0,2 = 0,36 \text{ кгс/см}^2$$

4. Определяют перепад давления на регулируемом участке

$$\Delta P_c = P_0 - P_k \pm Z \cdot \gamma \cdot 10^{-4} = 17,5 - 2,3 + 0 = 15,2 \text{ кгс/см}^2$$

5. Определяют предварительное значение перепада давления на РО при максимальном расходе среды

$$\Delta P_{мин}^{пр} = \Delta P_c - \Delta P_{т макс}^{пр} = 15,2 - 0,36 = 14,84 \text{ кгс/см}^2$$

6. Определяют величину перепада давления на РО, при котором возникает кавитация

$$\Delta P_{кав} = K_c (P_1 - P_n) = 0,76 (17,03 - 0,1) = 12,9 \text{ кгс/см}^2$$

( $K_c$  определяют по табл.6  $P_n \approx 0,1$  для мазута).

7. Поскольку  $\Delta P_{мин}^{пр} > \Delta P_{кав}$  (14,84 > 12,9), принимают  
от  $\Delta P_{мин} = \Delta P_{кав} = 12,9 \text{ кгс/см}^2$

8. Определяют перепад давления, который может быть потерян на дроссельной шайбе

$$\Delta P_{ш} = \Delta P_{мин}^{пр} - \Delta P_{кав} = 14,84 - 12,9 = 1,94 \text{ кгс/см}^2$$

9. Определяют максимальную пропускную способность  $P_0$  без учета вязкости

$$K_{vмакс} = \frac{G_{макс}}{1000 \sqrt{\Delta P_{мин}}} = \frac{1200}{1000 \sqrt{12,9 \cdot 0,99}} = 0,334 \text{ м}^3/\text{ч}$$

10. Определяют минимальное значение коэффициента запаса  $\zeta$ .

Поскольку  $\frac{L_n}{D_n} = \frac{1400}{50} = 28 > 10$ , принимают  $\zeta = 1,2$ .

11. Вычисляют произведение

$$\zeta \cdot K_{vмакс} = 1,2 \times 0,334 = 0,4$$

и выбирают по табл. 6 регулирующий клапан типа 9С-4-1 с  $K_{vу} = 0,542 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $D_y = 20 \text{ мм}$ .

Пропускная характеристика клапана - линейная.

12. Определяют число Рейнольдса

$$Re = 3,53 \frac{G_{макс}}{\delta \cdot \nu \cdot D_y} = \frac{3,53 \times 1200}{0,99 \times 1,14 \times 20} = 188$$

13. Поскольку  $Re > 2000$ , определяют значение пропускной способности с учетом влияния вязкости  $K_{vв}$ .

Предварительно по графику на рис. 1 определяют коэффициент  $\psi$ , учитывающий влияние вязкости:  $\psi = 1,27$

$$K_{vв} = \psi (\zeta \cdot K_{vмакс}) = 1,27 \times 0,4 = 0,508 \text{ м}^3/\text{ч}$$

14. Поскольку  $K_{vв} < K_{vу}$  ( $0,508 < 0,542$ ), окончательно принимают клапан типа 9С-4-1 с установкой перед ним дроссельной шайбы на перепад  $\Delta P_{ш} = 1,94 \text{ кгс/см}^2$ .

15. Определяют величину потери давления в технологическом оборудовании и участка трубопроводной линии при максимальном расходе среды (после установки дроссельной шайбы)

$$\Delta P_{T, \max} = \Delta P_{T, \max}^{np} + \Delta P_{ш} = 0,36 + 1,94 = 2,3 \text{ кгс/см}^2$$

16. Определяют пропускную способность технологической сети  $K_{VT}$

$$K_{VT} = \frac{G_{\max}}{1000 \sqrt{\Delta P_{T, \max} \cdot \delta}} = \frac{1200}{1000 \sqrt{2,3 \cdot 0,99}} = 0,795 \text{ м}^3/\text{с}$$

17. Определяют отношение пропускной способности РО ( $K_{VУ}$ ) и технологической сети

$$\eta = \frac{K_{VУ}}{K_{VT}} = \frac{0,542}{0,795} = 0,68$$

Поскольку  $\eta < 1,24$ , клапан с линейной характеристикой с заданной сетью будет работать удовлетворительно.

5. МЕТОДИКА ВЫБОРА РО ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛО-  
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТЕПЛООБМЕННЫХ УСТАНОВОК

5.1. Исходные данные для расчета.

5.1.1. Расчетная схема регулируемого участка пред-  
ставлена на рис.15.

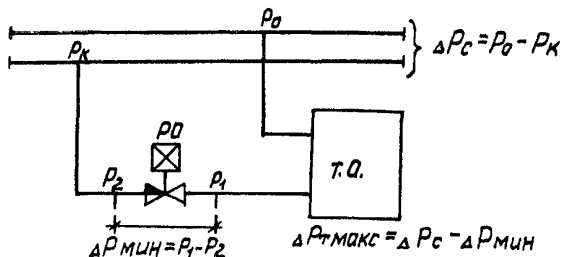


Рис.15. Расчетная схема регулирующего  
участка.

РО-регулирующий орган; ТО-теплообменник.

5.1.2. Исходными данными для расчета являются сле-  
дующие величины:

Перепад давления на регулируемом участке, кгс/см<sup>2</sup>. . . ΔP<sub>С</sub>

Потери давления в теплообменнике и трубопроводах  
прямого и обратного теплоносителя, кгс/см<sup>2</sup>. . . ΔP<sub>Т МАКС</sub>

Температура теплоносителя, °С

перед теплообменником . . . . . t<sub>0</sub>

после теплообменника . . . . . t<sub>1</sub>

Максимальный расход теплоносителя, м<sup>3</sup>/ч. . . . . Q<sub>МАКС</sub>

## 5.2. Расчет условной пропускной способности и выбор рабочей расходной характеристики РО

5.2.1. Определяют предварительное значение потери давления на РО при максимальном расходе теплоносителя

$$\Delta P_{\text{мин}}^{\text{пр}} = \Delta P_{\text{с}} - \Delta P_{\text{т макс}}$$

5.2.2. Определяют возможный нижний предел перепада давления на РО, при котором возникает кавитация -

$$- \Delta P_{\text{кав}}^{\text{в.н.}} (\Delta P_{\text{кав}}^{\text{в.н.}} \approx \Delta P_{\text{кав}})$$

$$\Delta P_{\text{кав}}^{\text{в.н.}} = K_c [(P_{\text{оп}} - \Delta P_{\text{т макс}}) - P_{\text{пл}}],$$

где  $P_{\text{оп}}$  - давление насыщенных паров теплоносителя при температуре  $t_{\text{с}}$ ,

$P_{\text{пл}}$  - то же, при температуре  $t_{\text{г}}$

( $P_{\text{оп}}$  и  $P_{\text{пл}}$  определяют по табл. I приложения)

Величина  $K_c = 0,5$  для РО, применяемых в САР теплообменных установках.

Примечания. I. Вышеприведенное соотношение для величины  $\Delta P_{\text{кав}}^{\text{в.н.}}$  справедливо, так как для предотвращения вскипания теплоносителя в теплообменнике всегда выбирают  $P_0 \geq P_{\text{оп}}$ , а поскольку  $P_{\text{г}} \geq P_0 - \Delta P_{\text{т макс}}$  имеем:  $P_{\text{г}} \geq P_{\text{оп}} - \Delta P_{\text{т макс}}$

$$\text{и } K_c [(P_{\text{оп}} - \Delta P_{\text{т макс}}) - P_{\text{пл}}] \leq K_c (P_{\text{г}} - P_{\text{пл}}),$$

$$\text{то есть } \Delta P_{\text{кав}}^{\text{в.н.}} \approx \Delta P_{\text{кав}}$$

2. Если  $P_0 \geq 8 \text{ кгс/см}^2$ , РО устанавливается перед ТО и тогда  $\Delta P_{\text{кав}}^{\text{в.н.}} = K_c [(P_0 - \Delta P_{\text{т макс}}) - P_{\text{пл}}]$

Величина  $P_0$  в этом случае включается в исходные данные.

5.2.3. Определяют окончательное значение потери давления на РО при максимальном расходе теплоносителя с учетом предупреждения кавитации.

Принимают:  $\Delta P_{\text{мин}} = \Delta P_{\text{мин}}^{\text{пр}}$ , если  $\Delta P_{\text{мин}}^{\text{пр}} < \Delta P_{\text{кав}}^{\text{в.н.}}$ ;  
 $\Delta P_{\text{мин}} = \Delta P_{\text{кав}}^{\text{в.н.}}$ , если  $\Delta P_{\text{мин}}^{\text{пр}} \geq \Delta P_{\text{кав}}^{\text{в.н.}}$ .



Во втором случае после РО устанавливают дроссельную шайбу на перепад давления

$$\Delta P_{ш} = \Delta P_{мин}^{пр} - \Delta P_{мин}$$

5.2.4. Определяют максимальную пропускную способность РО

$$K_{V\text{макс}} = \frac{Q_{\text{макс}}}{V_{\Delta P_{мин}}}$$

(поскольку теплоносителем является вода считают, что  $\gamma \approx 1$ , кроме того, учитывают, что вязкость не влияет на выбор РО),

5.2.5. Определяют условную пропускную способность Ро. Выбирают по табл. 2,3 приложения I ближайшее значение  $K_{Vу}$ , отвечающее условию

$$K_{Vу} \geq 1,2 K_{V\text{макс}}$$

Минимальное значение коэффициента запаса принимают 1,2, поскольку типовые узлы обвязки РО для теплообменников систем вентиляции (серия В9-2) предусматривают достаточные длины прямых участков после РО.

Если  $3K_{V\text{макс}} < K_{Vу\text{мин}}$

( $K_{Vу\text{мин}}$  - минимальное значение величины  $K_{Vу}$  в номенклатуре выбранного типа РО), принимают значение условной пропускной способности РО -  $K_{Vу\text{мин}}$ , но после РО ставят дроссельную шайбу на перепад давления

$$\Delta P_{ш} = \Delta P_{мин}^{пр} - \left( \frac{3Q_{\text{макс}}}{K_{Vу\text{мин}}} \right)^2$$

В этом случае дроссельная шайба, выбранная по п.5.2.3, не ставится.

Примечание. Дроссельная шайба, рассчитанная по вышеприведенной формуле, обеспечивает значение  $K_{V\text{макс}} = 3 K_{Vу\text{мин}}$ , что в свою очередь обеспечивает значение  $q_{\text{тах}} \geq 0,5$  для РО с равнопроцентной характеристикой при  $n > 1,24$ .

5.2.6. Определяют пропускную способность технологической сети  $K_{VT}$  по одной из формул

$$K_{VT} = \frac{Q_{\text{макс}}}{\sqrt{\Delta P_{\text{макс}}}} \text{ или } K_{VT} = \frac{Q_{\text{макс}}}{\sqrt{\Delta P_{\text{макс}} \cdot \Delta P_{\text{ш}}}} \text{ (при установке дроссельной шайбы)}$$

5.2.7. Определяют отношение условной пропускной способности РО и пропускной способности технологической сети  $\eta$

$$\eta = \frac{K_{VT}}{K_{VT}}$$

5.2.8. Выбирают пропускную характеристику РО: при  $\eta \leq 1,24$  принимают РО с линейной пропускной характеристикой, при  $\eta > 1,24$  принимают РО с равнопроцентной пропускной характеристикой.

### 5.3. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА И ВЫБОРА РО ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТЕПЛОБМЕННЫХ УСТАНОВОК

5.3.1. Исходные данные для расчетов и выбора приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные	№ примера						
	1	2	3	4	5	6	7
$\Delta P_c$ , кгс/см <sup>2</sup>	0,75	0,748	0,775	0,788	0,732	0,68	0,6
$\Delta P_{T\text{макс}}$ кгс/см <sup>2</sup>	0,25	0,031	0,125	0,1	0,122	0,08	0,018
$t^{\circ}/t_1^{\circ}C$	$\frac{130}{70}$	$\frac{130}{70}$	$\frac{130}{70}$	$\frac{130}{70}$	$\frac{130}{70}$	$\frac{130}{70}$	$\frac{130}{70}$
$Q_{\text{макс}}$ м <sup>3</sup> /ч	3,484	0,64	2,33	6,93	7,05	1,6	0,81

5.3.2. Результаты расчетов и выбора РО приведены в табл. 2 (к установке выбраны клапаны типа 25ч931нж).

Таблица 2

Расчетные величины	№ примера						
	1	2	3	4	5	6	7
$\Delta P_{\text{мин}}^{\text{пр}} = \Delta P_c - \Delta P_{T\text{макс}}$	0,5	0,717	0,65	0,688	0,61	0,6	0,582

Продолжение табл.2

Расчетные величины	№ примера						
	I	2	3	4	5	6	7
$\frac{P_{оп}}{P_{ип}}$	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76
$\frac{P_{оп}}{P_{ип}}$	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
$\Delta P_{каб}^{в.н} = 0,5[(P_{оп} \Delta P_{тмакс} - P_{ип}) - P_{ип}]$	1,095	1,204	1,157	1,170	1,159	1,18	1,21
$\Delta P_{мин} \begin{cases} \Delta P_{мин}^{пр} \text{ если } \Delta P_{мин}^{пр} < \Delta P_{каб}^{в.н} \\ \Delta P_{каб}^{в.н} \text{ если } \Delta P_{мин}^{пр} \geq \Delta P_{каб}^{в.н} \end{cases}$	0,5	0,717	0,65	0,688	0,61	0,6	0,582
$\Delta P_{ш} = \Delta P_{мин}^{пр} - \Delta P_{мин}$	0	0	0	0	0	0	0
$K_{умакс} = \frac{Q_{макс}}{Q_{P_{мин}}}$	4,92	0,755	2,89	8,34	9,03	2,07	1,06
$K_{уу} \geq 1,2 K_{умакс}$	6,3	4	4	10	16	4	4
$\Delta P_{ш} = \Delta P_{мин}^{пр} \left( \frac{3 Q_{макс}}{K_{уу мин}} \right)^2$	0	0,487	0	0	0	0	0,212
$K_{ут} = \frac{Q_{макс}}{Q_{P_{макс}} \Delta P_{ш}}$	6,97	0,89	6,57	21,9	20	5,65	1,69
$\eta = \frac{K_{уу}}{K_{ут}}$	0,9	4,5	0,61	0,456	0,8	0,71	2,37
Тип пропускной характеристики	Линейная	Равнопроцентная	Линейная	Линейная	Линейная	Линейная	Равнопроцентная

**6. МЕТОДИКА ВЫБОРА ДВУХХОДОВЫХ РО  
ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ПОТОКОМ ЖИДКОСТИ**

**6.1. Исходные данные для расчета**

6.1.1. Расчетная схема представлена на рис.7.

6.1.2. Исходными данными для расчета являются следующие величины:

- Абсолютное давление в трубопроводе, кгс/см<sup>2</sup>
- в начале расчетного участка . . . . . P<sub>0</sub>
  - в конце расчетного участка. . . . . P<sub>к</sub>
- Потери давления в расчетном участке трубопроводной линии при максимальном расходе среды, кгс/см<sup>2</sup> . . . P<sub>л макс</sub>
- Потери давления на технологическом оборудовании при максимальном расходе среды, кгс/см<sup>2</sup>. . . . P<sub>то макс</sub>
- Разность уровней точек начала и конца расчетного участка, мм . . . . . Z
- Удельный вес среды, гс/см<sup>3</sup> . . . . . γ
- Расход среды через технологическое оборудование, м<sup>3</sup>/ч:
- максимальный . . . . . Q<sub>т макс</sub>
  - минимальный. . . . . Q<sub>т мин</sub>
- Расход среды через расчетный участок, м<sup>3</sup>/ч:
- минимальный. . . . . Q<sub>мин</sub>
  - максимальный . . . . . Q<sub>макс</sub>
- Наружный диаметр трубопровода с РО, мм. . . . . D<sub>н</sub>
- Длина прямого участка трубопровода после РО, мм . L<sub>п</sub>

Примечания: 1. В данной методике не учитывается кавитация и вязкость среды, поскольку схема 2 применяется, в основном, для невязких сред, причем из-за незначительного перепада давления на РО кавитация в нем не возникает.

2. Максимальному расходу среды через технологическое оборудование соответствует минимальный расход через расчетный участок и наоборот.

## 6.2. Расчет условной пропускной способности и выбор условного прохода РО

6.2.1. Выбирают РО в соответствии с требованиями, предъявленными к проектируемой САР, и с параметрами регулируемой среды.

6.2.2. Определяют по формуле (3) п.3.2.2. перепад давления на регулируемом участке -  $\Delta P_c$

6.2.3. Определяют требуемую пропускную способность технологического оборудования по формуле

$$K_{\text{тто}}^{\text{тп}} = Q_{\text{мин}} \cdot \sqrt{\frac{\rho(\rho^2 z^2 - 1)}{\Delta P_c (\rho^2 - 1)}},$$

где

$$\rho = \frac{Q_{\text{макс}}}{Q_{\text{мин}}}, \quad z = \frac{Q_{\text{макс}}}{Q_{\text{тто}}}$$

6.2.4. Определяют требуемую максимальную пропускную способность РО по формуле

$$K_{\text{умакс}} = K_{\text{тто}}^{\text{тп}} \left( \frac{Q_{\text{макс}}}{Q_{\text{тто}}} - 1 \right).$$

6.2.5. Определяют минимальное значение коэффициента запаса пропускной способности в зависимости от длины прямого участка после РО:

если  $\frac{L_d}{L_H} < 10$  принимают  $\gamma = 1,4$ ,

если  $\frac{L_d}{L_H} \geq 10$  принимают  $\gamma = 1,2$

6.2.6. Определяют по данным каталогов (см. табл. 2+9) ближайшее значение условной пропускной способности  $K_{\text{vy}}$ , отвечающее условию

$$K_{\text{vy}} \geq \gamma \cdot K_{\text{умакс}}$$

и выбирают соответствующий условный проход РО - Ду.

## 6.3. Определение требуемых гидравлических параметров расчетного участка

6.3.1. Определяют требуемую пропускную способность расчетного участка трубопроводной линии по формуле

$K_{\text{вЛ}}^{\text{ТР}} = Q_{\text{МИН}} \cdot \sqrt{\frac{\delta \cdot (P^2 - 1)}{\Delta P_{\text{с}} \cdot (P^2 - 1)}}$   
 ( $P_{\text{с}}$  обозначают то же, что и в п.6.2.3).

6.3.2. Определяют требуемый перепад давления на ветви с технологическим оборудованием при максимальном расходе среды

$$\Delta P_{\text{то макс}}^{\text{ТР}} = \frac{Q_{\text{макс}}^2 \cdot \delta}{K_{\text{вТО}}^2}$$

6.3.3. Определяют перепад давления, теряемый на дроссельной шайбе, которую требуется установить на ветви с технологическим оборудованием при максимальном расходе среды

$$\Delta P_{\text{ш1}} = \Delta P_{\text{то макс}}^{\text{ТР}} - \Delta P_{\text{то макс}}$$

6.3.4. Определяют потерю перепада давления на участке трубопроводной линии при максимальном расходе среды

$$\Delta P_{\text{л макс}}^{\text{ТР}} = \frac{Q_{\text{макс}}^2 \cdot \delta}{K_{\text{вЛ}}^2}$$

6.3.5. Определяют перепад давления, теряемый на дроссельной шайбе, которую требуется установить на участке трубопроводной линии при максимальном расходе среды

$$\Delta P_{\text{ш2}} = \Delta P_{\text{л макс}}^{\text{ТР}} - \Delta P_{\text{л макс}}$$

#### 6.4. Выбор пропускной характеристики РО

6.4.1. Определяют характеристические параметры по формулам

$$n = \frac{K_{\text{вУ}}}{K_{\text{вТО}}}; \quad m = \frac{K_{\text{вЛ}}}{K_{\text{вТО}}}$$

6.4.2. Определяют тип пропускной характеристики РО одним из двух способов:

1. Определяют соотношение между параметрами  $n$  и  $m$ ; если  $h > 1,30(1+m^2)$ , выбирают РО с равнопроцентной пропускной характеристикой; если  $h \leq 1,30(1+m^2)$  - с линейной.

2. С помощью графика на рис.16 определяют область, в которую попадает точка с координатами  $(n, m)$ . Тип выбираемой пропускной характеристики соответствует определенной выше области.

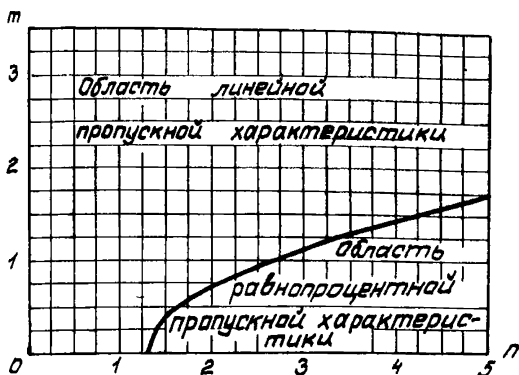


Рис.16. График для определения типа пропускной характеристики РО, управляющего параллельным потоком жидкости

6.5. Пример расчета и выбора параметров РО, осуществляющих параллельное управление потоком жидкости

6.5.1. Определить параметры РО регулятора температуры охладителя конденсата.

А. Исходные данные.

- Абсолютное давление в трубопроводе, кгс/см<sup>2</sup>
  - в начале расчетного участка  $P_0$  . . . . . 4,5
  - в конце расчетного участка  $P_K$  . . . . . 2,7
- Потери давления в расчетном участке трубопроводной линии при максимальном расходе среды  $\Delta P_{л \text{ макс}}$ , кгс/см<sup>2</sup>. . . 0,12
- Потери давления на технологическом оборудовании при максимальном расходе среды  $\Delta P_{т \text{ макс}}$ , кгс/см<sup>2</sup>. . . . 0,18
- Разность уровней точек начала и конца расчетного участка,  $Z$  , мм. . . . . +2500
- Удельный вес среды  $\gamma$ , гс/см<sup>3</sup>. . . . . 1
- Расход среды через технологическое оборудование, м<sup>3</sup>/ч:

максимальный . . . . .	II
минимальный . . . . .	5,5
Расход среды через расчетный участок, м <sup>3</sup> /ч	
минимальный . . . . .	I2
максимальный . . . . .	I4
Наружный диаметр трубопровода с РО D <sub>н</sub> , мм . . . . .	80
Длина прямого участка трубопровода после РО L <sub>н</sub> , мм . . . . .	I500

**Б. Расчет и выбор основных параметров РО**

1. В соответствии с требованиями, предъявляемыми к проектируемой САР, и с параметрами регулируемой среды (холодной воды) выбирается регулятор температуры прямого действия типа РТ. Схема регулируемого участка соответствует схеме на рис. 6

2. Определяют перепад давления на регулируемом участке  
 $\Delta P_c = P_0 - P_k + Z \cdot \gamma \cdot 10^{-4} = 4,5 - 2,7 + 2500 \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 2,05 \text{ кгс/см}^2$

3. Определяют требуемую пропускную способность технологического оборудования

$$K_{VTP} = Q_{2 \text{ мин}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma(P^2 z^2 - 1)}{\Delta P_c (P^2 - 1)}} = 5,5 \cdot \sqrt{\frac{1(1,167^2 \cdot 2^2 - 1)}{2,05(1,167^2 - 1)}} = 13,5 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$P = \frac{Q_{\text{макс}}}{Q_{\text{мин}}} = \frac{14}{12} = 1,167; \quad z = \frac{Q_{\text{макс}}}{Q_{\text{1 мин}}} = \frac{11}{5,5} = 2$$

4. Определяют требуемую максимальную пропускную способность РО

$$K_{V \text{ макс}} = K_{VTP} \left( \frac{Q_{\text{макс}}}{Q_{\text{мин}}} - 1 \right) = 13,5 \left( \frac{14}{5,5} - 1 \right) = 20,85 \text{ м}^3/\text{ч}$$

5. Определяют минимальное значение коэффициента запаса  $\zeta$

$$\frac{K_{VTP}}{D_n} = \frac{1500}{80} = 19 > 10 \quad \text{Принимают } \zeta = 1,2$$

6. Определяют произведение  $\zeta \cdot K_{V \text{ макс}} = 1,2 \cdot 20,85 = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$  и выбирают регулятор РТ-80, у которого  $K_{Vу} = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,



Ду=50 мм.

7. Определяют требуемую пропускную способность расчетного участка трубопроводной линии

$$K_{пл}^{TP} = Q_{мин} \sqrt{\frac{\gamma(\rho^2 \alpha^2 - 1)}{\Delta P_c (\alpha^2 - 1)}} = 12 \cdot \sqrt{\frac{1(1,167^2 \cdot 2^2 - 1)}{2,05(2^2 - 1)}} = 10,2 \text{ м}^3/\text{ч}$$

8. Определяют требуемый перепад давления на ветви с технологическим оборудованием при максимальном расходе среды

$$\Delta P_{то макс}^{TP} = \frac{Q_{ч макс}^2 \gamma}{K_{VTO}^{TP2}} = \frac{14^2 \cdot 1}{13,5^2} = 0,665 \text{ кгс/см}^2$$

9. Определяют необходимую величину потери давления на дроссельной шайбе, установленной на ветви с технологическим оборудованием, при максимальном расходе среды

$$\Delta P_{ш} = \Delta P_{то макс}^{TP} - \Delta P_{то макс} = 0,665 - 0,18 = 0,485 \text{ кгс/см}^2$$

10. Определяют перепад давления, который требуется потерять на участке трубопроводной линии при максимальном расходе среды

$$\Delta P_{л макс}^{TP} = \frac{Q_{ч макс}^2 \gamma}{K_{пл}^{TP2}} = \frac{14^2 \cdot 1}{10,2^2} = 1,89 \text{ кгс/см}^2$$

11. Определяют необходимую величину потери давления на дроссельной шайбе, установленной на трубопроводной линии, при максимальном расходе среды

$$\Delta P_{ш2} = \Delta P_{л макс}^{TP} - \Delta P_{л макс} = 1,89 - 0,12 = 1,77 \text{ кгс/см}^2$$

12. Определяют характеристические параметры

$$n = \frac{K_{VУ}}{K_{VTO}^{TP}} = \frac{2,5}{13,5} = 1,85$$

$$m = \frac{K_{VЛ}^{TP}}{K_{VTO}^{TP}} = \frac{10,2}{13,5} = 0,755$$

13. Определяют тип требуемой пропускной характеристики РО.

Поскольку

$$1,3(1+\pi^2) = 1,3(1+0,755^2) = 2,04 > \pi,$$

предпочтительной является линейная пропускная характеристика.

## 7. МЕТОДИКА ВЫБОРА ТРЕХХОДОВЫХ РО ИЗ УСЛОВИЯ ПОСТОЯНСТВА РАСХОДА СРЕДЫ ЧЕРЕЗ РАСЧЕТНЫЙ УЧАСТОК

### 7.1. Исходные данные

7.1.1. Расчетная схема представлена на рис. 12.

7.1.2. Исходными данными для расчета являются следующие величины:

Абсолютное давление в трубопроводе, кгс/см<sup>2</sup>

в начале расчетного участка . . . . . P<sub>0</sub>

в конце расчетного участка . . . . . P<sub>к</sub>

Потери давления на расчетном участке

трубопроводной линии при максимальном расходе

среды, кгс/см<sup>2</sup> . . . . . ΔP<sub>л макс</sub>

Потери давления на ветви с технологическим оборудованием

при максимальном расходе среды, кгс/см<sup>2</sup> . . . ΔP<sub>то макс</sub>

Разность уровней точек начала и конца

расчетного участка, мм . . . . . Z

Удельный вес среды, гс/см<sup>3</sup> . . . . . γ

Максимальный расход среды через технологи-

ческое оборудование, м<sup>3</sup>/ч . . . . . Q<sub>I макс</sub>

Максимальный расход среды через расчетный

участок . . . . . Q <sub>макс</sub>

Наружный диаметр трубопровода с РО, мм . . . . D<sub>н</sub>

Длина прямого участка трубопровода после РО, мм . . . L<sub>н</sub>

### 7.2. Расчет условной пропускной способности и выбор условного прохода РО

7.2.1. Выбирают тип РО в соответствии с требованиями, предъявляемыми к проектируемой САР и с параметрами регулируемой среды

7.2.2. Определяют по формуле (3) п.3.3.2. перепад давления  $\Delta P_z$  на регулируемом участке.

7.2.3. Определяют по формуле (4) п.3.3.2. заданную потерю давления на РО при максимальном расходе среды по ходу ветви с технологическим оборудованием. .  $\Delta P_{\text{I мин}}$

7.2.4. Определяют по формуле (6) п.3.3.2. заданную максимальную пропускную способность трехходового РО по ходу ветви с технологическим оборудованием. .  $K_{VI \text{ макс}}$

7.2.5. Определяют минимальное значение коэффициента запаса пропускной способности  $\zeta$  в зависимости от длины прямого участка после РО:

если  $\frac{K_{VI}}{D_H} < 10$ , принимают  $\zeta = 1,4$ ;

если  $\frac{K_{VI}}{D_H} \geq 10$ , принимают  $\zeta = 1,2$ .

7.2.6. Определяют максимальный коэффициент смещения по формуле  $K_{CM \text{ макс}} = \frac{B_{1 \text{ макс}}}{A_{\text{ макс}}}$

7.2.7. Определяют оптимальные значения величины  $\alpha = \frac{K_{VU2}}{K_{VU1}}$  и  $B_{1 \text{ макс}} = \frac{K_{VI \text{ макс}}}{K_{VU1}}$

из следующих соотношений:

$$\text{при } K_{CM \text{ макс}} < 0,5 \quad \alpha < 1; \quad B_{1 \text{ макс}} \leq \frac{\alpha}{\alpha - 1 + \frac{1}{K_{CM \text{ макс}}}};$$

$$\text{при } K_{CM \text{ макс}} = 0,5 \quad \alpha = 1; \quad B_{1 \text{ макс}} = 0,5;$$

$$\text{при } 0,5 < K_{CM \text{ макс}} < \frac{1}{\zeta} \quad 1 \leq \alpha < \frac{1 - K_{CM \text{ макс}}}{K_{CM \text{ макс}}(\zeta - 1)};$$

$$\frac{\alpha}{\alpha - 1 + \frac{1}{K_{CM \text{ макс}}}} \leq B_{1 \text{ макс}} \leq \frac{1}{\zeta};$$

$$\text{при } K_{CM \text{ макс}} > \frac{1}{\zeta} \quad \alpha < 1; \quad \frac{\alpha}{\alpha - 1 + \frac{1}{K_{CM \text{ макс}}}} \leq B_{1 \text{ макс}} \leq \frac{1}{\zeta}.$$

Примечание. Значения  $a$  и  $\sigma_{\text{макс}}$  уточняются после выбора РО.

7.2.8. Выбирают по каталогу (см. табл. 10 приложения) трехходовой РО со значениями условных пропускных способностей  $K_{\text{ву}1}$  и  $K_{\text{ву}2}$ , которые отвечают следующим условиям:

$$K_{\text{ву}1} \geq \sigma \cdot K_{\text{в} \text{ макс}}$$

$$K_{\text{ву}2} = K_{\text{ву}1} \text{ при } a=1 \text{ (РО с равновеликими окнами)}$$

$$\left. \begin{array}{l} K_{\text{ву}2} > K_{\text{ву}1} \text{ при } a > 1 \\ K_{\text{ву}2} < K_{\text{ву}1} \text{ при } a < 1 \end{array} \right\} \text{(РО с неравновеликими окнами)}$$

### 7.3. Определение требуемых гидравлических параметров расчетного участка

7.3.1. Определяют требуемую величину гидравлических параметров  $\eta = \frac{K_{\text{ву}1}}{K_{\text{в} \text{ то}}}$  и  $\rho = \frac{K_{\text{в} \text{ вл}}}{K_{\text{в} \text{ то}}}$  по формулам

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{1}{a^2} + \frac{1}{a^2(1 - \sigma_{\text{макс}})^2} - \left(\frac{K_{\text{ем макс}}}{1 - K_{\text{ем макс}}}\right)^2} \cdot \frac{\sigma_{\text{в} \text{ макс}}}{\sigma_{\text{в} \text{ макс}}}; \rho = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\eta^2} - \frac{1}{a^2 \eta^2}}}$$

Примечания: 1. Определенные по вышеприведенным формулам значения параметров  $\eta$  и  $\rho$  обеспечивают наибольшую стабильность расхода среды через расчетный участок  $-Q$ , в частности, равенство этого расхода при значениях  $\sigma=0$  и  $\sigma=1$

2. Если  $1 + \frac{1}{\eta^2} - \frac{1}{a^2 \eta^2} \leq 0$ , принимают  $\rho = \infty$

7.3.2. Определяют требуемое значение максимальной пропускной способности РО по ходу ветви с технологическим оборудованием по формуле

$$K'_{\text{в} \text{ макс}} = \sigma_{\text{макс}} \cdot K_{\text{ву}1}$$

7.3.3. Определяют требуемое значение пропускной способности ветви с технологическим оборудованием по формуле

$$K_{\text{в} \text{ то}} = \frac{K_{\text{ву}1}}{\eta}$$

7.3.4. Определяют требуемое значение пропускной способности байпасной линии по формуле

$$K_{\nu\tau 0} = \rho \cdot K_{\nu\tau 0}$$

7.3.5. Определяют требуемое значение потери давления на РО по ветви с технологическим оборудованием при максимальном расходе среды

$$\Delta P'_{\text{мин}} = \frac{G_{\nu, \text{макс}}^2 \cdot \gamma}{K_{\nu, \text{макс}}^2}$$

7.3.6. Определяют требуемое значение потери давления на ветви с технологическим оборудованием при максимальном расходе среды

$$\Delta P'_{\text{то макс}} = \frac{G_{\nu, \text{макс}}^2 \cdot \gamma}{K_{\nu\tau 0}^2}$$

7.3.7. Определяют требуемое значение потери давления на дроссельной шайбе, устанавливаемой на ветви с технологическим оборудованием, при максимальном расходе среды

$$\Delta P_{\text{шз}} = \Delta P'_{\text{то макс}} - \Delta P'_{\text{то макс}}$$

Примечание. При  $\Delta P'_{\text{то макс}} < \Delta P'_{\text{то макс}}$  дроссельная шайба на ветви с технологическим оборудованием не ставится. В этом случае значения  $K_{\nu\tau 0}$ ,  $\rho$  и  $P$  определяют по формулам

$$K_{\nu\tau 0} = G_{\nu, \text{макс}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P'_{\text{то макс}}}}; \quad \rho = \frac{K_{\nu\tau 0}}{K_{\nu\tau 0}}$$

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\left(\frac{1}{K_{\text{см}}} - 1\right)^2 \pi^2 G_{\nu, \text{макс}}^2} - \frac{1}{\alpha^2 \pi^2 (1 - \sigma_{\nu, \text{макс}})^2}}}}$$

(принимают  $P = \infty$ , если в данной формуле под корнем получается отрицательное число).

7.3.8. Определяют требуемое значение потери давления на трубопроводной линии при максимальном расходе среды через расчетный участок

$$\Delta P'_{\text{л макс}} = \Delta P_{\text{с}} - \Delta P'_{\text{мин}} - \Delta P'_{\text{то макс}}$$

Примечание. При  $\Delta P'_{\text{та макс}} < \Delta P_{\text{та макс}}$  в вышеприведенной формуле величина  $\Delta P'_{\text{та макс}}$  заменяется на  $\Delta P_{\text{та макс}}$

7.3.9. Определяют требуемое значение потери давления на дроссельной шайбе, устанавливаемой на трубопроводной линии, при максимальном расходе среды через расчетный участок  $\Delta P_{\text{ш2}} = \Delta P'_{\text{л макс}} - \Delta P_{\text{л макс}}$

Примечание. При  $\Delta P'_{\text{л макс}} < \Delta P_{\text{л макс}}$  дроссельная шайба не устанавливается, а величины  $\Delta P_{\text{ш}}$  и  $\eta$  пересчитываются, исходя из того, что  $\Delta P'_{\text{та макс}} = \Delta P_{\text{с}} - \Delta P_{\text{л макс}} - \Delta P'_{\text{ли}}$

7.3.10. Определяют требуемое значение потери давления на дроссельной шайбе, устанавливаемой на байпасной линии, при расходе среды через байпасную линию  $Q_2 = Q_{\text{макс}} - Q'_{\text{макс}}$

$$\Delta P_{\text{ш2}} = \Delta P_{\text{бл}} = \frac{Q_2^2 \cdot \gamma}{K_{\text{ш}}^2 \cdot \nu \cdot \rho}$$

Примечание. 1. При  $r = \infty$  дроссельная шайба на байпасной линии не устанавливается.

2. Местные сопротивления байпасной линии ввиду их незначительности здесь не учитываются.

7.4. Проверка выполнения условия работы РО

7.4.1. Определяют пропускную способность трубопроводной линии после установки на ней дроссельной шайбы по формуле

$$K_{\text{вл}} = Q_{\text{макс}} \cdot \sqrt{\frac{r}{\Delta P_{\text{л макс}} + \Delta P_{\text{ш2}}}}$$

7.4.2. Определяют гидравлический параметр  $m$

$$m = \frac{K_{\text{вл}}}{K_{\text{вт0}}}$$

7.4.3. Определяют расходы среды через расчетный участок  $\sqrt{Q}$  при значениях  $G = 0$ ,  $G = 1$  и в экстремальной точке  $G = G_{\text{ext}}$  по формулам

$$Q_{(0)} = \frac{K_{\text{вт0}} \cdot \sqrt{\Delta P_{\text{с}}}}{\sqrt{\frac{1}{m^2} + \frac{1}{\alpha^2 n^2} + \frac{1}{\beta^2}}}$$

$$Q_{(1)} = \frac{K_{VT0} \cdot \sqrt{\Delta P_c}}{\sqrt{\frac{1}{m^2} + \frac{1}{n^2} + 1}};$$

$$Q_{(ext)} = \frac{K_{VT0} \sqrt{\Delta P_c}}{\sqrt{\frac{1}{m^2} + \frac{1}{n^2 + G_{ext}^2} + \frac{1}{[G_{ext} + (1 - G_{ext}) a^{4/3}]^2}}},$$

$$2g \rho E G_{ext} = \frac{\sqrt{\frac{a^{4/3}}{\rho^2} - \frac{1}{n^2} \left(1 - \frac{1}{a^{4/3}}\right) \left(1 - \frac{a^{4/3}}{\rho^2}\right)} - \frac{a^{4/3}}{\rho^2}}{1 - \frac{a^{4/3}}{\rho^2}}.$$

Примечания: 1.  $Q_{(ext)}$  определяют, если  $0 < G_{ext} < 1$   
 2. при  $a = 1$   $G_{ext} = \frac{1}{\rho + 1}$  и

$$Q_{(ext)} = \frac{K_{VT0} \sqrt{\Delta P_c}}{\sqrt{\frac{1}{m^2} + \frac{1}{n^2 + (\rho + 1)^2}}}.$$

7.4.4. Определяют относительную погрешность расходов средн через расчетный участок при значениях  $G = 0$ ,  $G = 1$  и  $G = G_{ext}$  по формулам:

$$\Delta Q(0) \% = \frac{Q(0) - Q_{\max}}{Q_{\max}} \cdot 100 \%$$

$$\Delta Q(1) \% = \frac{Q(1) - Q_{\max}}{Q_{\max}} \cdot 100 \%$$

$$\Delta Q(\text{act})\% = \frac{Q(\text{act}) - Q_{\text{макс}}}{Q_{\text{макс}}} \cdot 100\%$$

7.4.5. Если полученные погрешности превышают допустимые, следует выбрать РО с большим значением  $K_{\text{ву}}$  и вновь выполнить расчет.

#### 7.5. Примеры расчета и выбора трехходовых РО

##### 7.5.1. Пример I.

###### А. Исходные данные

Абсолютное давление в трубопроводе, кгс/см <sup>2</sup>	
в начале расчетного участка, $P_0$ . . . . .	2,8
в конце расчетного участка, $P_K$ . . . . .	1,8
Потери давления на расчетном участке трубопроводной линии при максимальном расходе среды, $\Delta P_{\text{л макс}}$ , кгс/см <sup>2</sup> . . . . .	0,05
Потери давления на ветви с технологическим оборудованием при максимальном расходе среды, $\Delta P_{\text{об макс}}$ , кгс/см <sup>2</sup> . . . . .	0,12
Разность уровней точек начала и конца расчетного участка, $Z$ , мм . . . . .	0
Удельный вес среды $\gamma$ , гс/см <sup>3</sup> . . . . .	1
Максимальный расход среды через технологическое оборудование, $Q_{\text{ч макс}}$ , м <sup>3</sup> /ч . . . . .	6
Максимальный расход среды через расчетный участок, $Q_{\text{макс}}$ , м <sup>3</sup> /ч . . . . .	8
Наружный диаметр трубопровода с РО $D_H$ , мм . . . . .	70
Длина прямого участка трубопровода $l_H$ , после РО $l_H$ , мм . . . . .	1200



**Б. Расчет условной пропускной способности  
и выбор условного прохода РО**

1. В соответствии с требованиями проектируемой САР выбирают РО типа 25ч905нж.
2. Определяют перепад давления на регулируемом участке

$$\Delta P_D = P_c - P_k \pm Z \cdot \gamma \cdot 10^{-4} = 2,8 - 1,8 + 0 = 1,0 \text{ кгс/см}^2$$

3. Определяют заданную потерю давления на РО при максимальном расходе среды по ходу ветви с технологическим оборудованием

$$\Delta P_{D \text{ мин}} = \Delta P_c - \Delta P_{L \text{ макс}} - \Delta P_{T \text{ макс}} = 1 - 0,05 - 0,12 = 0,83 \text{ кгс/см}^2$$

4. Определяют заданную максимальную пропускную способность РО по ходу ветви с технологическим оборудованием

$$K_{V \text{ макс}} = Q_{V \text{ макс}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{D \text{ мин}}}} = 6 \cdot \sqrt{\frac{1}{0,83}} = 6,58 \text{ м}^3/\text{ч}$$

5. Определяют минимальное значение коэффициента запаса

$$\frac{L_p}{D_n} = \frac{1200}{70} \approx 17,2 > 10, \text{ Принимают } \gamma = 1,2$$

6. Определяют максимальный коэффициент смешения

$$K_{\text{см макс}} = \frac{Q_{V \text{ макс}}}{Q_{\text{ макс}}} = \frac{6}{8} = 0,75$$

7. Определяют оптимальные значения величин  $\alpha$  и  $\beta_{\text{ макс}}$

$$\text{При } K_{\text{см макс}} = 0,75 < \frac{1}{\gamma}; \text{ } 1 \leq \alpha < \frac{1 - K_{\text{см макс}}}{K_{\text{см макс}}(\gamma - 1)} = \frac{1 - 0,75}{0,75(1,2 - 1)} = 1,66$$

Принимают  $\alpha = 1$ ,

$$\beta_{\text{ макс}} \leq \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{1,2} = 0,834 \text{ и } \beta_{\text{ макс}} \geq \frac{\alpha}{\alpha - 1 + \frac{1}{K_{\text{см макс}}}} = K_{\text{см макс}} = 0,75$$

Принимают  $\beta_{\text{ макс}} = 0,8$

8. Выбирают по табл. 10 РО типа 25ч905нж с  $K_{V \text{ уч}} = K_{V \text{ Д}} = 27 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $D_u = 50 \text{ мм}$

**В. Определение требуемых гидравлических параметров расчетного участка**

- I. Определяют требуемую величину гидравлических параметров  $\pi$  и  $\rho$ :

$$\pi = \sqrt{\frac{1 - \frac{1}{\alpha^2} + \frac{1}{\alpha^2(1 - \beta_{1\max})^2} - \left(\frac{K_{см\max}}{1 - K_{см\max}}\right)^2 \cdot \frac{1}{\beta_{1\max}}}{\left(\frac{K_{см\max}}{1 - K_{см\max}}\right)^2 - 1}} =$$

$$= \sqrt{\frac{1 - 1 + \frac{1}{1 \cdot 0,2^2} - \left(\frac{0,75}{0,25}\right)^2 \cdot \frac{1}{0,8}}{\left(\frac{0,75}{0,25}\right)^2 - 1}} = 1,17;$$

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\pi^2} - \frac{1}{\alpha^2 \pi^2}}} = 1 \text{ (при } \alpha=1)$$

2. Определяют требуемое значение максимальной пропускной способности РО по ходу ветви с технологическим оборудованием

$$K'_{ви\max} = \beta_{1\max} \cdot K_{ви} = 0,8 \cdot 27 = 21,6 \text{ м}^3/\text{с}$$

3. Определяют требуемое значение пропускной способности ветви с технологическим оборудованием

$$K_{вта} = \frac{K_{ви}}{\pi} = \frac{27}{1,17} = 23 \text{ м}^3/\text{с}$$

4. Определяют требуемое значение пропускной способности байпасной линии

$$K_{вбп} = \rho \cdot K_{вта} = 1 \cdot 23 = 23 \text{ м}^3/\text{с}$$

5. Определяют требуемое значение потери давления на РО по ветви с технологическим оборудованием при максимальном расходе среды

$$\Delta P'_{\min} = \frac{Q_{1\max}^2 \cdot \delta}{K_{ви\max}^2} = \frac{6^2 \cdot 1}{21,6^2} = 0,077 \text{ кгс/см}^2$$

6. Определяют требуемое значение потери давления на ветви с технологическим оборудованием при максимальном расходе среды

$$\Delta P'_{то\max} = \frac{Q_{1\max}^2 \cdot \delta}{K_{вта}^2} = \frac{6^2 \cdot 1}{23^2} = 0,068 \text{ кгс/см}^2$$

7. Определяют требуемое значение потери давления на дроссельной шайбе, устанавливаемой на ветви с технологическим оборудованием при расходе  $Q_{1\text{макс}} = 6 \text{ м}^3/\text{ч}$

$$\Delta P_{ш1} = \Delta P'_{т\text{макс}} - \Delta P'_{т\text{в макс}} = 0,068 - 0,05 = 0,018 \text{ кгс/см}^2$$

8. Определяют требуемое значение потери давления на трубопроводной линии при расходе  $Q_{\text{макс}} = 8 \text{ м}^3/\text{ч}$

$$\Delta P'_{л\text{макс}} = \Delta P_c - \Delta P'_{\text{мин}} - \Delta P'_{т\text{макс}} = 1 - 0,077 - 0,068 = 0,855 \text{ кгс/см}^2$$

9. Определяют требуемое значение потери давления на дроссельной шайбе, устанавливаемой на трубопроводной линии при расходе  $Q_{\text{макс}} = 8 \text{ м}^3/\text{ч}$

$$\Delta P_{ш2} = \Delta P'_{л\text{макс}} - \Delta P_{л\text{макс}} = 0,855 - 0,12 = 0,735 \text{ кгс/см}^2$$

10. Определяют требуемое значение потери давления на дроссельной шайбе, устанавливаемой на байпасной линии, при расходе среды через байпасную линию  $Q_2 = Q_{\text{макс}} - Q_{\text{у макс}} = 8 - 6 = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$

$$\Delta P_{ш3} = \Delta P_{бп} = \frac{Q_2^2 \cdot \delta}{K_{v\delta n}^2} = \frac{2^2 \cdot 1}{23^2} = 0,0076 \text{ кгс/см}^2$$

#### Г. Проверка выполнения условия работы РО

1. Определяют пропускную способность трубопроводной линии после установки на ней дроссельной шайбы

$$K_{vл} = \frac{Q_{\text{макс}}}{\sqrt{(\Delta P_{л\text{макс}} + \Delta P_{ш}) \cdot \delta}} = \frac{8}{\sqrt{0,855/1}} = 8,65 \text{ м}^3/\text{ч}$$

2. Определяют гидравлический параметр

$$m = \frac{K_{vл}}{K_{vт\text{о}}} = \frac{8,65}{23} = 0,376.$$

3. Определяют расходы среды через расчетный участок при значениях  $G_1 = 0$ ,  $G_2 = 1$

При  $q = 1$  и  $p = 1$

$$Q_1(q) = Q_1(1) = \frac{K_{vт\text{о}} \sqrt{\Delta P_c}}{\sqrt{\frac{1}{m^2} + \frac{1}{n^2} + 1}} = \frac{23 \sqrt{1}}{\sqrt{\frac{1}{0,376^2} + \frac{1}{1,17^2} + 1}} = 7,7 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q_{(ext)} = \frac{K_{VT0} \sqrt{\Delta P_c}}{\sqrt{\frac{1}{\eta^2} + \frac{1}{\eta^2} + \frac{1}{(\eta+R)^2}}} = \frac{23 \cdot \sqrt{1}}{\sqrt{\frac{1}{0,976^2} + \frac{1}{1,17^2} + \frac{1}{2^2}}} = 8,072 \text{ м}^3/\text{с}$$

4. Определяют относительные погрешности расходов

$$\Delta Q_{(1)}\% = \Delta Q_{(1)}\% = \frac{Q_{(1)} - Q_{\text{макс}}}{Q_{\text{макс}}} \cdot 100\% = \frac{77 - 8}{8} \cdot 100\% = 3,75\%$$

$$\Delta Q_{(ext)} = \frac{Q_{(ext)} - Q_{\text{макс}}}{Q_{\text{макс}}} \cdot 100\% = \frac{8,072 - 8}{8} \cdot 100\% = 0,9\%$$

5. Работа выбранного РО на регулируемом участке удовлетворительная.

7.5.2. Пример 2.

А. Исходные данные

$$P_0 = 5,6 \text{ кгс/см}^2;$$

$$P_k = 4,8 \text{ кгс/см}^2;$$

$$\Delta P_{\text{л макс}} = 0,08 \text{ кгс/см}^2;$$

$$\Delta P_{\text{то макс}} = 0,19 \text{ кгс/см}^2;$$

$$Z = -2000 \text{ мм};$$

$$\gamma = 1 \text{ гс/см}^3;$$

$$Q_{\text{макс}} = 15 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$n_{\text{макс}} = 17 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$d = 100 \text{ мм};$$

$$L_n = 1500 \text{ мм}$$

Б. Расчет условной пропускной способности и выбор условного прохода

1. Выбирают РО типа 25ч905ж

$$2. \Delta P_c = P_0 - P_k - Z \cdot \gamma \cdot 10^{-4} = 5,6 - 4,8 - 2000 \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 0,6 \text{ кгс/см}^2.$$

$$3. \Delta P_{\text{л макс}} = \Delta P_c - \Delta P_{\text{л макс}} - \Delta P_{\text{то макс}} = 0,6 - 0,08 - 0,19 = 0,33 \text{ кгс/см}^2.$$

$$4. K_{V1 \text{ макс}} = \frac{Q_{\text{макс}}}{\sqrt{\Delta P_{\text{л макс}} / \gamma}} = \frac{15}{\sqrt{0,33/1}} = 26 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$5. \frac{L_n}{d_n} = \frac{1500}{100} = 15 > 10. \text{ Принимают } \zeta = 1,2$$

$$6. K_{CM \text{ макс}} = \frac{Q_{1 \text{ макс}}}{Q_{2 \text{ макс}}} = \frac{15}{17} = 0,882$$

7. Поскольку  $K_{CM \text{ макс}} > \frac{1}{\rho} = 0,83$  принимают  $\alpha = 1$ .

8.  $\rho \cdot K_{V \text{ макс}} = 1,2 \times 26 = 31,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Выбирают РО с неравновеликими окнами  $D_{y1} = 50 \text{ мм}$ ,  $K_{V y1} = 35 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  
 $K_{V y2} = 15 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\alpha = \frac{15}{35} = 0,428$ .

$$9. \sigma_{1 \text{ макс}} \geq \frac{\alpha}{\alpha - 1 + \frac{1}{K_{CM \text{ макс}}}} = \frac{0,428}{0,428 - 1 + \frac{1}{0,882}} = 0,76$$

$$\sigma_{1 \text{ макс}} < \frac{1}{\rho} = 0,83$$

Принимают  $\sigma_{1 \text{ макс}} = 0,82$

### В. Определение требуемых гидравлических параметров расчетного участка

$$1. h = \sqrt{\frac{1 - \frac{1}{\alpha^2} + \frac{1}{\alpha^2(1 - \sigma_{1 \text{ макс}})^2} - \left(\frac{K_{CM \text{ макс}}}{1 - K_{CM \text{ макс}}}\right)^2 \cdot \frac{1}{\sigma_{1 \text{ макс}}^2}}{\left(\frac{K_{CM \text{ макс}}}{1 - K_{CM \text{ макс}}}\right)^2 - 1}} =$$

$$= \sqrt{\frac{1 - 1/0,428^2 + 1/0,18^2 - 0,428^2 - (0,882/0,118 \cdot 0,882)^2}{(0,882/0,118)^2 - 1}} = 1,21$$

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{h^2} - \frac{1}{\alpha^2 h^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{1,21^2} - \frac{1}{0,428^2 \cdot 1,21^2}}} = \frac{1}{\sqrt{-1,98}}$$

Принимают  $\rho = \infty$

$$2. K_{V1 \text{ макс}} = \sigma_{1 \text{ макс}} \cdot K_{V y1} = 0,82 \cdot 35 = 28,7 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$3. K_{V \text{ то}} = \frac{K_{V y1}}{h} = \frac{35}{1,21} = 28,9 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$4. K_{V \text{ об}} = \rho \cdot K_{V \text{ то}} = \infty \cdot 28,9 = \infty$$

$$5. \Delta P'_{\text{то макс}} = \frac{Q_{1 \text{ макс}}^2}{K_{V \text{ то}}^2} \cdot \gamma = \frac{15^2 \cdot 1}{28,9^2} = 0,27 \text{ кгс/см}^2$$

$$6. \Delta P'_{\min} = \frac{Q_{\max}^2 \delta}{K_{\text{вп макс}}^2} = \frac{15^2 \cdot 1}{28,7^2} = 0,274 \text{ кгс/см}^2$$

$$7. \Delta P_{\text{ш1}} = \Delta P'_{\text{то макс}} - \Delta P_{\text{то макс}} = 0,27 - 0,19 = 0,08 \text{ кгс/см}^2$$

$$8. \Delta P'_{\text{л макс}} = \Delta P_{\text{с}} - \Delta P'_{\min} - \Delta P'_{\text{то макс}} = 0,6 - 0,274 - 0,27 = 0,056 \text{ кгс/см}^2$$

9. Поскольку  $\Delta P'_{\text{л макс}} \approx \Delta P_{\text{л макс}}$ , дроссельная шайба на трубопроводной линии не ставится, принимается  $\Delta P'_{\text{л макс}} = 0,08 \text{ кгс/см}^2$  и пересчитываются следующие величины:

$$\Delta P'_{\text{то макс}} = \Delta P_{\text{с}} - \Delta P'_{\min} - \Delta P'_{\text{л макс}} = 0,6 - 0,274 - 0,08 = 0,246 \text{ кгс/см}^2 ;$$

$$\Delta P_{\text{ш1}} = \Delta P'_{\text{то макс}} - \Delta P_{\text{то макс}} = 0,246 - 0,19 = 0,056 \text{ кгс/см}^2 ;$$

$$K_{\text{вто}} = \frac{Q_{\max}}{\sqrt{\Delta P'_{\text{то макс}} / \delta}} = \frac{15}{\sqrt{0,246/1}} = 30,2 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$n = \frac{K_{\text{вч1}}}{K_{\text{вто}}} = \frac{35}{30,2} = 1,16$$

10. Поскольку  $P = \infty$ , дроссельная шайба на байпасной линии не устанавливается.

### Г. Проверка выполнения условия работы РО

$$1. K_{\text{вл}} = \frac{Q_{\max}}{\sqrt{\Delta P_{\text{л макс}} / \delta}} = \frac{17}{\sqrt{0,08/1}} = 60 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$2. m = \frac{K_{\text{вл}}}{K_{\text{вто}}} = \frac{60}{30,2} = 1,99$$

$$3. Q_{(0)} = \frac{K_{\text{вто}} \sqrt{\Delta P_{\text{с}}}}{\sqrt{\frac{1}{m^2} + \frac{1}{n^2} + \frac{1}{P^2}}} = \frac{30,2 \sqrt{0,6}}{\sqrt{1,99^2 + 0,428^2 \cdot 1,16^2 + 0}} = 11,3 \text{ м}^3/\text{ч} ;$$

$$Q_{(1)} = \frac{K_{\text{вто}} \sqrt{\Delta P_{\text{с}}}}{\sqrt{\frac{1}{m^2} + \frac{1}{n^2} + 1}} = \frac{30,2 \sqrt{0,6}}{\sqrt{1,99^2 + \frac{1}{1,16^2} + 1}} = 15,6 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$G_{ext} = \sqrt{\frac{\frac{a^{4/3}}{p} - \frac{1}{n^2} \left(1 - \frac{1}{a^{2/3}}\right) \left(1 - \frac{a^{4/3}}{p^2}\right) - \frac{a^{4/3}}{p^2}}{1 - \frac{a^{4/3}}{p^2}}}$$

$$= \sqrt{\frac{0 - \frac{1}{1,16^2} \left(1 - \frac{1}{0,428^{2/3}}\right) (1 - 0) - 0}{1 - 0}} = 0,752;$$

$$Q_{(ext)} = \sqrt{\frac{K_{VTQ} \sqrt{\Delta P_c}}{\frac{1}{m^2} + \frac{1}{n^2} + G_{ext}^2}} =$$

$$= \frac{30,2 \sqrt{0,5}}{\sqrt{\frac{1}{1,39^2} + \frac{1}{1,16^2} + 0,752^2}} = 17,04 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$4. \quad \Delta Q(0)\% = \frac{Q(0) - Q_{\max}}{Q_{\max}} \cdot 100\% = \frac{11,3 - 17}{17} \cdot 100\% = -33,5\%;$$

$$\Delta Q(1)\% = \frac{Q(1) - Q_{\max}}{Q_{\max}} \cdot 100\% = \frac{15,6 - 17}{17} \cdot 100\% = -2,35\%;$$

$$\Delta Q_{(ext)}\% = \frac{Q_{(ext)} - Q_{\max}}{Q_{\max}} \cdot 100\% = \frac{17,04 - 17}{17} \cdot 100\% = 0,24\%$$

5. Выбранный РО работает удовлетворительно в диапазоне относительной пропускной способности (или хода затвора) 0,5+I.

## 8. ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица I

Давление насыщенных паров воды

$t,$ °C	$P_n,$ кгс/см <sup>2</sup>	$t,$ °C	$P_n,$ кгс/см <sup>2</sup>	$t,$ °C	$P_n,$ кгс/см <sup>2</sup>	$t,$ °C	$P_n,$ кгс/см <sup>2</sup>
45	0,1	80	0,48	115	1,72	150	4,85
50	0,125	85	0,59	120	2,02	155	5,55
55	0,16	90	0,72	125	2,36	160	6,3
60	0,2	95	0,86	130	2,76	165	7,15
65	0,25	100	1,03	135	3,2	170	8,1
70	0,32	105	1,23	140	3,69	175	9,1
75	0,38	110	1,46	145	4,25	180	10,05

Таблица 2

Клапан регулирующий с электрическим исполнительным механизмом типа 25ч93Инж, имеющий линейную или равнопроцентную пропускную характеристику производства завода "Красный Профинтерн" (г. Гусь-Хрустальный)

$D_u,$ мм	$K_{vy}, \text{ м}^3/\text{ч}$		$K_c$	$K_{c \text{ макс}}$	$S_y,$ мм	$\beta_y,$ град.
	60%	100%				
15	4	6,3	0,51	0,65	10	180
20	6,3	10	0,51	0,65	16	180
25	10	16	0,51	0,65	16	180
40	25	40	0,51	0,65	25	180
50	40	63	0,51	0,65	25	180
80	100	160	0,51	0,65	40	180



Таблица 3

Клапаны регулирующие с мембранным пневматическим исполнительным механизмом типов 25ч30нж и 25ч32нж, имеющие линейную или равнопроцентную пропускную характеристику производства завода "Красный профинтерн" (г.Гусь-Хрустальный) и киевского завода "Промарматура"

Ду, мм	$K_{vч}$ , $\frac{м^3}{ч}$		K <sub>0</sub>	K <sub>смакс</sub>	S <sub>y</sub> , мм	h <sub>y</sub> , мм
	60%	100%				
15	4	6,3	0,51	0,65	10	10
20	6,3	10	0,51	0,65	16	16
25	10	16	0,51	0,65	16	16
40	25	40	0,51	0,65	25	25
50	40	63	0,51	0,65	25	25
80	100	160	0,51	0,65	40	40
100	160	250	0,51	0,65	60	60
150	400	630	0,51	0,65	60	60

Таблица 4

Клапаны регулирующие с мембранным гидравлическим исполнительным механизмом типа УРРД и РК-1, имеющие линейную пропускную характеристику, производства заводов "Теплоприбор", (г.Улан-Удэ) и Полтавского турбомеханического

Тип	Ду, мм	$K_{vч}$ , $\frac{м^3}{ч}$	K <sub>с</sub>	K <sub>смакс</sub>	S <sub>y</sub> , мм	h <sub>y</sub> , мм
УРРД	50	25	0,4	0,53	18	18
УРРД	80	60	0,4	0,53	18	18
РК-1	25	6	0,4	0,53	13	13
РК-1	32	10	0,4	0,53	13	13
РК-1	40	16	0,4	0,53	13	13

Продолжение табл. 4

Тип	Ду, мм	$K_{vy}$ , м <sup>3</sup> /ч	$K_c$	$K_{c_{\max}}$	$S_y$ , мм	$h_y$ , мм
PK-I	50	25	0,4	0,53	18	18
PK-I	70	40	0,4	0,53	18	18
PK-I	80	60	0,4	0,58	18	18
PK-I	100	100	0,4	0,53	36	36
PK-I	125	160	0,4	0,53	36	36
PK-I	150	250	0,4	0,53	54	54
PK-I	200	400	0,4	0,53	54	54
PK-I	250	600	0,4	0,53	54	54

Таблица 5

Клапан регулирующий регулятора температуры прямого действия типа РТ, имеющий линейную пропускную характеристику, производства завода "Теплоконтроль" (г.Сафоново)

Ду, мм	$K_{vy}$ , м <sup>3</sup> /ч	$K_c$	$K_{c_{\max}}$	$S_y$ , мм	$h_y$ , мм
15	2,5	0,4	0,53	4	4
20	4	0,4	0,53	4	4
25	6,3	0,4	0,53	4	4
40	16	0,4	0,53	4	4
50	25	0,4	0,53	12	12
80	60	0,4	0,53	12	12

Таблица 6

Клапан регулирующий без исполнительного механизма с линейной пропускной характеристикой производства Барнаульского котельного и Темиртаусского литейно-механического заводов

Обозначение	$D_y$ , мм	$K_{yq}$ , м <sup>3</sup> /ч	$K_c$	$K_{c_{\max}}$	$S_y$ , мм	$\varphi_y$ , град.
6с-8-1	150	151	0,33	0,44		90
6с-8-2	200	250	0,33	0,44		90
6с-8-3	250	423	0,33	0,44		90
6с-8-4	300	514	0,33	0,44		90
6с-9-1	80	30,2	0,33	0,44		90
6с-9-2	100	54,5	0,33	0,44		90
6с-9-3	150	151	0,33	0,44		90
6с-9-4	200	250	0,33	0,44		90
6с-9-5	250	423	0,33	0,44		90
9с-1-1	10	0,18	0,76	0,76	10	
9с-1-2	10	0,25	0,76	0,76	10	
9с-3-3-1	50	1,81	0,76	0,76	25	
9с-3-3-2	50	2,72	0,76	0,76	25	
9с-3-3-3	50	4,84	0,76	0,76	25	
9с-3-3-4	50	8,45	0,76	0,76	25	
9с-4-1	20	0,542	0,76	0,76	30	
9с-4-2	32	1,51	0,76	0,76	30	

Таблица 7

Клапаны регулирующие питательные и регуляторы питания и перелива производства завода "Красный котельщик" (г. Таганрог)

Наименование	Типо-размер	Ду, мм	$K_v$ , м <sup>3</sup> /ч	$K_c$	$K_{c_{\max}}$	$\gamma$ , град.	$S_y$ , мм
Клапаны регулирующие питательные	T-336	50	12	0,27	0,38	56	-
	T-346	80	32	0,31	0,42	54	-
	T-356	100	100	0,4	0,53	54	-
	T-366	150	150	0,34	0,46	58	-
Регуляторы питания	T-21-1	80	60	0,38	0,5	-	II
	T-21-2	100	75	0,34	0,46	-	II
Регуляторы перелива	T-22-1	80	60	0,38	0,5	-	II
	T-22-2	100	75	0,34	0,46	-	II

Таблица 8

Пневматические исполнительные устройства типа ПОВ-8 производства Арматурного завода (г. Конотоп)

Ду, мм	$K_v$ , м <sup>3</sup> /ч	$K_c$	$K_{c_{\max}}$	$S_y$ , мм
15	0,1	0,75	0,75	10
15	0,16	0,75	0,75	10
15	0,25	0,75	0,75	10
15	0,4	0,75	0,75	10
15	0,6	0,8	0,8	10
15	1	0,8	0,8	10
15	1,6	0,85	0,85	10
15	2,5	0,85	0,85	10
20	1,6	0,8	0,8	10
20	2,5	0,85	0,85	10
20	4	0,85	0,85	10

Таблица 9

Регуляторы давления прямого действия типа 21х10нж и 21х12нж с линейной пропускной характеристикой производства Механического завода (г. Бугульма)

Ду, мм	$K_v$ м <sup>3</sup> /ч	$K_c$	$K_{c_{\max}}$	$S_y$ мм
50	40	0,51	0,65	-
80	100	0,51	0,65	-
100	160	0,51	0,65	-
150	400	0,51	0,65	-

Таблица 10

Клапаны трехходовые регулирующие типа 27ч905нж с электрическим исполнительным механизмом и типа 27ч5нж с пневматическим исполнительным механизмом (пропускная характеристика - линейная) производства арматурного завода "Красный Профинтерн" (г. Гусь-Хрустальный)

Ду, мм	$K_v$ м <sup>3</sup> /ч					$S_y$ мм	$f_y$ град.
	Равновеликие окна типа			Неравновеликие окна типа			
	I	II	III	нижнее	верхнее		
50	56	44	27	15	35	25	180
100	169	106	40	63	165	40	180

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ГОСТ 16443-70. "Устройства исполнительные. Методы расчета пропускной способности, выбора условного прохода и пропускной характеристики". М., 1971.

Номенклатурный справочник на освоенные и серийно выпускаемые изделия арматуростроения на 1979 г.

ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ. М., 1979.

Арматура энергетическая. Каталог-справочник.

НИИинформтяжмаш. М., 1977.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение . . . . .	2
1. Основные понятия и обозначения. . . . .	3
2. Расчетные формулы и соотношения для определения требуемой максимальной пропускной способности РО . . . . .	8
3. Расчетные схемы регулируемых участков, применяемые в санитарной технике и котельных установках для потоков жидкости . . . . .	II
4. Методика выбора двухходовых РО для последовательного управления потоком жидкости. . . . .	28
5. Методика выбора РО для регулирования теплопроизводительности теплообменных установок. . . . .	39
6. Методика выбора двухходовых РО для параллельного управления потоком жидкости. . . . .	44
7. Методика выбора трехходовых РО из условия постоянства расхода среды через расчетный участок . . . . .	50
8. Приложения. . . . .	64
9. Список литературы . . . . .	70

Л-109875 подп. к печ. 15.12.80 Заказ 64 Тираж 7300 л. 1 руб. 5 коп.

Отпечатано в ЦЭМ ВНИИС