РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

АРМАТУРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ РАСХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

РТМ 108 711 02—79

Издание официальное

gost.e-ecolog.ru

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

АРМАТУРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ РАСХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

РТМ 108.711.02 - 79

Издание официальное

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ УКАЗАНИЕМ

Министерства энергетического машиностроения

от 24.12.79 1979г. № ВВ-002/9555

ИСПОЛНИТЕЛИ: Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт атомного энергетического машиностроения

Э.Е.Благов

И.И.Айзенштат

СОГЛАСОВАН с Главным Техническим управлением по эксплуатации энергосистем Министерства энергетики и электрификации СССР

Начальник Главного Технического управления Трубицын

РАЗРАБОТАН Всесоюзным научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом атомного энергетического машиностроения

Директор Г.А.Шишков

ВНЕСЕН Научно-производственным объединением по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И.Ползунова

Генеральный директор Н.М.Марков

письмо от 14.06.79 № 2/7764

Заведующий отраслевым отделом стандартизации П.М.Христюк

ПОДГОТОВЛЕН К УТВЕРЖДЕНИЮ Техническим управлением Министерства энергетического машиностроения

Начальник Технического управления 19.12. В.П.Пластов

Главный энергетик А.Г.Вишняк

Начальник отдела стандартизации и метрологии В.А.Готовцев

СОГЛАСОВАН:

с Чеховским заводом энергетического машиностроения

Главный инженер Г.А.Чистяков

письмо от II.05.79 № 2/3047

с Производственным объединением "Красный котельщик"

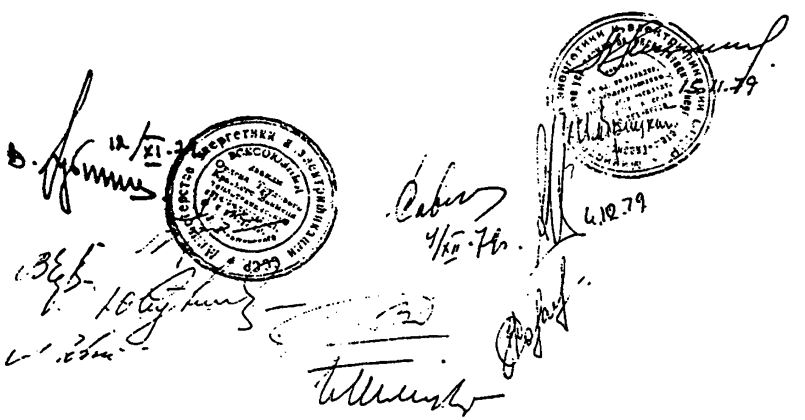
Главный конструктор СКО-2 Б.Ф.Вакуленко

письмо от 23.04.79 № I-4I-20/889/8898

с Барнаульским котельным заводом

Директор Распопов

телеграмма от 9.04.79 № 2I98



УДК_____ Группа I02

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Арматура энергетическая. Методы определения пропускной способности регулирующих органов и выбор оптимальной расходной характеристики.

РТМ I08.7II.02 – 79

Вводится впервые

Указанием Министерства энергетического машиностроения от "___"_____I979г. № _____ введен как рекомендуемый.

Настоящий руководящий технический материал (РТМ) распространяется на регулирующие органы (РО) исполнительных устройств систем автоматического регулирования АЭС и ТЭС.

РТМ устанавливает методы определения максимальной пропускной способности РО одноступенчатого дросселирования, выбора условного прохода, а также расходной, пропускной и конструктивной характеристик РО, обеспечивающих оптимальные условия для автоматического регулирования потоков однофазных сред:

- воды, в том числе вскипающей при дросселировании;
- водяного пара (перегретого или сухого насыщенного).

Настоящий РТМ рекомендуется для всех предприятий и организаций Министерства энергетического машиностроения (Минэнергомаша) и Министерства энергетики и электрификации (Минэнерго СССР), проектирующих, изготовляющих и эксплуатирующих дроссельно-регулирующую трубопроводную арматуру.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

I.I. Устанавливаются следующие условные обозначения основных величин:

D_y - условный проход трубопровода, мм;

d_y - условный проход РО, мм;

Q - объемный расход среды, $м^3/ч$;

G - массовый расход среды, кг/ч;

$q = G/G_{max}$ - относительный расход среды;

h - ход подвижного элемента затвора РО, мм;

α - угол поворота подвижного элемента затвора, град;

$\ell = h/h_{max} = \alpha/\alpha_{max}$ - относительный ход подвижного элемента затвора;

ΔH - разность уровней начала и конца расчетного участка, м;

κ - показатель адиабаты водяного пара;

K_v - пропускная способность РО;

$\overline{K_v} = K_v/K_{v\,max}$ - относительная пропускная способность;

K_c - коэффициент начала кавитации;

K_m - коэффициент критического расхода;

K_n - коэффициент учета влияния переходных патрубков;

$K_{об}$ - коэффициент усиления регулируемого объекта;

$K_{ро}$ - коэффициент усиления РО;

$\overline{K_{ро}} = K_{ро}/G_{max}$ - относительный коэффициент усиления РО;

$\Delta\overline{K_{ро}}$ - допустимое отклонение относительного значения коэффициента усиления РО;

$K_{уч}$ - коэффициент усиления регулируемого участка;

C - константа;

n - модуль гидравлической системы;

P - давление, МПа;

P_o - абсолютное давление среды в начале расчетного участка, МПа;

$P_к$ - абсолютное давление среды в конце расчетного участка, МПа;

P_y - условное давление, МПа;

$P_{нас}$ - абсолютное давление насыщенных паров жидкости при температуре t_I, МПа;

P^* – критическое термодинамическое давление, равное 22,115 МПа;

ΔP – перепад давления, МПа;

ΔP_c – суммарные потери давления в гидравлической системе, включая РО, МПа;

$\Delta P_т$ – потери давления в трубопроводе без РО, МПа;

$\Delta P_{Ро}$ – перепад давления на РО, МПа;

$\Delta P_{кав}$ – перепад давления на РО, соответствующий началу кавитации, МПа;

$\Delta P_{кав.max}$ – эффективный критический перепад давления, МПа;

$\Delta P_{эр}$ – перепад давления, соответствующий началу эрозионного износа, МПа;

z – коэффициент;

t – температура среды, ^{0}С;

W – скорость среды, м/с;

ρ – плотность среды, кг/м^3;

v – удельный объем пара, м^3/кг;

y – коэффициент расширения пара;

μ – коэффициент расхода;

h – коэффициент запаса по расходу;

$\zeta_д$ – коэффициент гидравлического сопротивления РО, отнесенный к площади сечения его условного прохода;

ζ – коэффициент гидравлического сопротивления РО, отнесенный к регулируемому проходному сечению;

$\omega_д$ – площадь сечения условного прохода РО, см^2;

ω – площадь регулируемого проходного сечения, см^2;

ω_c – площадь минимального (сжатого) сечения потока;

$\bar{\omega} = \omega/\omega_{max}$ – степень открытия регулируемого проходного сечения;

$m = \omega/\omega_д$ – степень сжатия проходного сечения;

$\varepsilon = \omega_c/\omega$ – коэффициент сужения потока;

I.2. Устанавливаются следующие индексы:

$Ро$ - величина относится к регулирующему органу;

max - максимальная величина;

min - минимальная величина;

$ном$ - номинальная величина;

$нас$ - насыщенный;

1 - условия на входе в РО;

2 - условия на выходе из РО;

d - величина отнесена к сечению условного прохода РО;

$р$ - расчетное значение;

$Кр$ - критическое значение;

$п$ - с учетом влияния переходных патрубков.

I.3. Исходные данные для расчетов согласно перечню, приведенному в рекомендуемом приложении I, должны быть выданы разработчиками технологического оборудования, а в части статических характеристик регулируемых участков - разработчиками системы автоматического регулирования.

Основные параметры и характеристики РО определяются для докавитационных, кавитационных и критических режимов течения воды с оценкой эрозиостойкости материалов проточной части, а также для докритических и критических режимов течения водяного пара.

В зависимости от цели расчета он может быть поверочным или конструктивным. Целью поверочного расчета является выбор для известных условий работы оптимального типоразмера РО из числа серийно выпускаемых. Целью конструктивного расчета является выбор типа РО из числа известных, определение его условного прохода, требуемой конструктивной характеристики, а также конфигурации проточной части для разработки новых типоразмеров РО.

2. РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ И ВЫБОР УСЛОВНОГО ПРОХОДА РО ДЛЯ ПОТОКА ВОДЫ

2.I. Поверочный расчет.

2.I.I. Исходные данные для расчета должны соответствовать рекомендуемому приложению I.

2.I.2. Определяют максимальный расход среды по одной из формул:

$$G_{max} = h \cdot G_{ном} \qquad (I)$$

или

$$Q_{max} = h \cdot Q_{ном} \quad , \qquad (2)$$

где $G_{ном}$, $Q_{ном}$ – значения расхода при номинальном режиме работы оборудования;

h – величина коэффициента запаса по расходу, принимаемая в зависимости от назначения РО (см.рекомендуемое приложение 5).

2.I.3. Определяют при максимальном расходе по заданным зависимостям $P_1 = f(G)$ и $\Delta P_{po} = f(G)$ значения давления P_1 перед РО и перепада давления $\Delta P_{po\,min}$ на РО. Затем находят величину давления P_2 на выходе из РО

$$P_2 = P_1 - \Delta P_{po\,min} \qquad (3)$$

2.I.4. По заданным параметрам рабочей среды, используя ГОСТ 356-68, определяют условное давление P_y. С помощью рекомендуемого приложения 4 определяют тип РО.

2.I.5. Случай $P_2 > P_{нас}$ (испарение на выходе из РО отсутствует).

2.I.5.I. Определяют предварительное расчетное значение максимальной пропускной способности $K'_{v\,max}$ по одной из формул

$$K'_{v\,max} = 10^{-2} \cdot G_{max} \frac{1}{\sqrt{\rho \cdot \Delta P_{po\,min}}} \qquad (4)$$

или

$$K'_{v\,max} = 10^{-2} \cdot Q_{max} \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P_{po\,min}}} \qquad (5)$$

2.I.5.2. Выбирают из каталогов типоразмер РО с условным проходом d_y и максимальной пропускной способностью $K^{Po}_{v\,max}$, удовлетворяющей условию $K^{Po}_{v\,max} \geq K'_{v\,max}$.

2.I.5.3. Проверяют РО на возможность возникновения кавитации, для чего рассчитывают перепад давления ΔP_{kal}, соответствующий началу кавитации:

$$\Delta P_{kal} = K_c \left(p_1 - p_{nac} \right) \qquad (6)$$

Значения коэффициента начала кавитации K_c определяют из каталогов арматуры или по табл.I,2 справочного приложения 3 для значения относительной пропускной способности $\overline{K}_v = 1{,}0$.

Значение давления насыщения P_{nac} при температуре среды t_1 на входе в РО определяют по таблицам термодинамических свойств воды и водяного пара.

При выполнении условия $\Delta P_{po\,min} \leq \Delta P_{kal}$ (режим течения - докавитационный) дальнейший расчет проводят согласно п.п.2.I.5.7÷2.I.5.I0.

2.I.5.4. Если $\Delta P_{po\,min} > \Delta P_{kal}$, то определяют эффективный перепад давления $\Delta P_{kal.max}$ по формуле:

$$\Delta P_{kal\,max} = K_m \left(p_1 - 2p_{nac} \right) \qquad (7)$$

Значение коэффициента критического расхода K_m для РО выбранного типа определяют из каталогов арматуры или из табл.I,2 справочного приложения 3 для значения относительной пропускной способности $\overline{K}_v = 1{,}0$.

Коэффициент 2, зависящий от физических свойств регулируемой среды, определяют для воды по формуле

$$2 = 0{,}96 - 0{,}28 \sqrt{p_{nac}/p^*} \qquad (8)$$

2.I.5.5. При $\Delta P_{kal} < \Delta P_{Po\,min} < \Delta P_{kal.max}$ значение $K'_{v\,max}$, полученное согласно 2.I.5.I., оставляют без изменения.

2.I.5.6. При $\Delta P_{Po\,min} \geq \Delta P_{kal.max}$ предварительное расчетное значение максимальной пропускной способности пересчитывают по одной из формул

$$K'_{v\,max} = 10^{-2} \frac{G_{max}}{\sqrt{\rho \cdot \Delta P_{kal.max}}} \qquad (9)$$

или

$$K'_{v\,max} = 10^{-2} \cdot Q_{max} \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P_{kal.max}}} \qquad (10)$$

С учетом нового значения $K'_{v\,max}$ производят уточнение выбранных значений d_y и $K^{Po}_{v\,max}$ (п.2.I.5.2.).

2.I.5.7. При одинаковых условных проходах РО и трубопровода ($d_y = D_y$) расчет и выбор РО согласно п.п.2.I.5.2. и 2.I.5.6. следует считать законченным.

2.I.5.8. При неодинаковых условных проходах РО и трубопровода ($d_y \neq D_y$) определяют поправочный коэффициент K_n по формуле (I), приведенной в справочном приложении 7.

2.I.5.9. Определив значение K_n, рассчитывают требуемую максимальную пропускную способность РО

$$K_{v\,max} = K'_{v\,max} / K_n \qquad (11)$$

При выполнении условия $K^{Po}_{v\,max} \geq K_{v\,max}$ расчет и выбор типоразмера РО с требуемой пропускной способностью следует считать законченным. В противном случае следует выбрать РО с большим значением $K^{Po}_{v\,max}$ и повторить расчет.

2.I.5.I0. Для оценки возможности эрозионного износа проточной части РО сравнивают значение перепада давления на РО при расходе среды, соответствующем наиболее длительному режиму работы оборудования, со значением перепада давления $\Delta P_{эр}$. Значение $\Delta P_{эр}$ и рекомендации по повышению надежности работы РО даны в справочном приложении 9.

2.I.6. Случай $p_2 < p_{нас}$ (режим течения с испарением, включая случай $p_1 = p_{нас}$).

2.I.6.I. Определяют предварительное расчетное значение максимальной пропускной способности $K'_{v\,max}$ по формуле (9) или (I0).

Значение $\Delta P_{кав.\,max}$ определяют по формуле (7) согласно п.2.I.5.4.

2.I.6.2. Выбирают РО в соответствии с п.2.I.5.2.

2.I.6.3. При одинаковых условных проходах РО и трубопровода ($d_y = D_y$) расчет и выбор РО следует считать законченным.

2.I.6.4. При неодинаковых значениях диаметров условного прохода РО и трубопровода ($d_y \neq D_y$) определяют поправочный коэффициент $K_{m,n}$ по формуле (8), приведенной в справочном приложении 7.

2.I.6.5. Определив значение $K_{m,n}$, рассчитывают скорректированное с учетом влияния переходных патрубков значение перепада давления

$$\Delta P'_{кав.\,max} = K_{m,n}\left(p_1 - 2p_{нас}\right) \qquad (I2)$$

2.I.6.6. По формуле (9) или (I0) рассчитывают требуемую максимальную пропускную способность $K''_{v\,max}$, подставляя в них значения перепада $\Delta P'_{кав.\,max}$. При выполнении условия $K^{Po}_{v\,max} \geq K''_{v\,max}$ расчет и выбор типоразмера РО с требуемой пропускной способностью следует считать законченным. В противном случае следует выбрать РО с большим значением $K^{Po}_{v\,max}$ и повторить расчет.

2.2. Конструктивный расчет

2.2.1. Исходные данные для расчета должны соответствовать рекомендуемому приложению 1.

2.2.2. Определяют максимальный расход среды через РО согласно п.2.1.2.

2.2.3. Определяют значения P_2, $\Delta P_{Po\,min}$, P_2. согласно п.2.1.3.

2.2.4. Выбирают тип РО согласно п.2.1.4.

2.2.5. Определяют диаметр условного прохода РО по формуле

$$d_y' = \sqrt{\frac{353\,G_{max}}{\rho W_1}} = \sqrt{\frac{353\,Q_{max}}{W_1}} \qquad (13)$$

Скорость воды W_1 на входе в РО не должна превышать 8 м/с. Диаметр условного прохода d_y принимают по ГОСТ 355-67, выбирая ближайшее значение. Площадь сечения патрубка, соответствующую условному проходу, рассчитывают по формуле

$$\omega_d = 0{,}785 \cdot 10^{-2} \cdot d_y^2 \qquad (14)$$

2.2.6. Для выбранного по п.2.2.4. типа РО по табл.1,2 справочного приложения 3 находят значения коэффициентов K_c и K_m для относительной пропускной способности $\overline{K}_y = 1{,}0$.

2.2.7. По формулам (6) и (7) рассчитывают значения ΔP_{kal} и $\Delta P_{kal.max}$, которые сравнивают со значением $\Delta P_{Po\,min}$.

2.2.8. Определяют предварительное расчетное значение максимальной пропускной способности K_y' :

для случая $P_2 > P_{kac}$ и $\Delta P_{Po\,min} < \Delta P_{kal.max}$

по формулам (4), (5);

для случая $P_2 > P_{kac}$ и $\Delta P_{Po\,min} \geq \Delta P_{kal.max}$

по формулам (9), (10);

для случая $P_2 < P_{kac}$ по формулам (12),(9),(10).

2.2.9. Определяют требуемую расчетную пропускную способность $K_{v\,max}$ с учетом влияния переходных патрубков и режима течения согласно п.п.2.1.5.7.+ 2.1.5.9. и 2.1.6.3.+ 2.1.6.6.

2.2.10. Принимают значение $K^{РО}_{v\,max} \geq K_{v\,max}$.

2.2.11. Определяют максимальную площадь регулируемого проходного сечения ω_{max} по формуле

$$\omega_{max} = \frac{K^{РО}_{v\,max}}{5{,}34 \cdot \mu} \qquad (15)$$

Значение коэффициента расхода μ находят из графика зависимости вида $\mu\bar{\omega} = f(\bar{\omega})$ для РО конструируемого или близкого к нему типа (черт.12+16 справочного приложения 10).

2.2.12. Находят модуль сжатия регулируемого проходного сечения

$$m_{max} = \omega_{max} / \omega_d \qquad (16)$$

2.2.13. Рассчитывают требуемый коэффициент гидравлического сопротивления РО

$$\zeta_d = 25{,}4 \left(\frac{\omega_d}{K^{РО}_{v\,max}}\right)^2 \qquad (17)$$

2.2.14. Рассчитывают коэффициент сужения струи ε (при условии $d_{y1} = d_{y2}$)

$$\varepsilon = 0{,}57 + \frac{0{,}043}{1-m} \qquad (18)$$

2.2.15. С учетом принятого по п.1.2.6. значения K_c и рассчитанных - ζ_d, m, ε - определяют величину $\zeta_{1c,c}$ по формуле

$$\zeta_{1c,c} = \frac{\zeta^{РО}_c}{K_c} + (\varepsilon m)^2 - 1, \qquad (19)$$

где $\zeta^{РО}_c = \zeta_d (\varepsilon m)^2$, $\zeta_{1c,c}$ - соответственно коэффициенты гидравлического сопротивления РО в целом и его входного участка до сужения в затворе, отнесенные к площади минимального (сжатого) сечения струи

2.2.I6. При проектировании РО значения ζ_{1c} и ζ_c^{Po} должны быть реализованы в виде совокупности элементарных местных сопротивлений (сужений, расширений, поворотов и т.д.), обусловливающих конфигурацию проточной части РО. Данные по коэффициентам местных гидравлических сопротивлений берут из справочников.

2.2.I7. Спроектированная проточная часть подлежит поверочному расчету с целью выяснения расхождений в исходных и полученных значениях ζ_{1c} и ζ_c^{Po}. При удовлетворительном совпадении указанных параметров переходят к расчету и построению конструктивной характеристики (см.раздел 4 справочного приложения I0).

2.2.I8. Производят сравнение перепада давления при расходе среды, соответствующем наиболее длительному режиму работы оборудования, со значениями $\Delta P_{эр}$ для различных материалов и при необходимости принимают меры по повышению износостойкости проточной части (см. справочное приложение 9).

3. РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ И ВЫБОР УСЛОВНОГО ПРОХОДА РО ДЛЯ ПОТОКА ВОДЯНОГО ПАРА (ПЕРЕГРЕТОГО ИЛИ СУХОГО НАСЫЩЕННОГО)

3.I. Поверочный расчет.

3.I.I. Исходные данные для расчета должны соответствовать рекомендуемому приложению I.

3.I.2. Определяют максимальный расход по формуле

$$G_{max} = 1{,}2\, G_{ном} \qquad (20)$$

3.I.3. Определяют P_1, $\Delta P_{Po\,min}$ и P_2 согласно п.2.I.3.

3.I.4. Выбирают тип РО согласно п.2.I.4.

3.I.5. Определяют критический перепад давления на РО без учета влияния переходных патрубков

$$\Delta P_{кр} = 0{,}6 \cdot \kappa \cdot K_m \cdot P_1 \qquad (2I)$$

Показатель адиабаты для перегретого водяного пара $\kappa = I{,}30$ и сухого насыщенного - $\kappa = I{,}I35$.

Значение коэффициента критического расхода K_m для выбранного по п.3.I.4. типа РО определяют из каталогов арматуры или по табл.I,2 справочного приложения 3 для значения относительной пропускной способности $\overline{K}_v = I{,}0$.

3.I.6. Определяют предварительное расчетное значение максимальной пропускной способности $K'_{v\,max}$ (для случая $d_y = D_y$) по формуле

$$K'_{v\,max} = 10^{-2} \cdot \frac{G_{max}}{y} \cdot \sqrt{\frac{v_1}{\Delta P_p}} \qquad (22)$$

Для критического режима течения, когда $\Delta P_{Po\,min} < \Delta P_{кр}$, в качестве расчетного перепада давления ΔP_p принимают $\Delta P_{Po\,min}$

Коэффициент расширения y определяют по формуле

$$y = 1 - \frac{\Delta P_p}{3 \cdot \Delta P_{кр}} \qquad (23)$$

Для докритического течения значение y должно удовлетворять условию $2/3 < y < I$.

Для критического режима течения, когда $\Delta P_{Po\,min} \geq \Delta P_{kp}$, в качестве расчетного значения перепада давления ΔP_P принимают ΔP_{kp}. При этом коэффициент расширения $y = 2/3$.

3.I.7. Выбирают РО в соответствии с п.2.I.5.2. При одинаковых условных проходах РО и трубопровода ($d_y = D_y$) расчет и выбор РО следует считать законченным.

3.I.8. При неодинаковых условных проходах РО и трубопровода ($d_y \neq D_y$) определяют поправочный коэффициент Ки по формуле (I), приведенной в справочном приложении 7.

3.I.9. Затем по формуле (I0) справочного приложения 7 определяют значение критического перепада давления с учетом переходных патрубков $\Delta P_{kp,n}$.

3.I.I0. Определяют новое значение максимальной пропускной способности по формуле

$$K'_{v\,max} = 10^{-2} \cdot \frac{G_{max}}{y_n} \cdot \sqrt{\frac{v_1}{\Delta P_P}} \qquad (24)$$

Для докритического режима течения, когда $\Delta P_{Po\,min} < \Delta P_{kp,n}$, в качестве расчетного перепада давления ΔP_P принимают $\Delta P_{Po\,min}$.

Коэффициент расширения y_n определяют по формуле

$$y_n = 1 - \frac{\Delta P_P}{3 \cdot \Delta P_{kp,n}} \qquad (25)$$

Значение y_n должно удовлетворять условию $2/3 < y_n < I$.

Для критического режима течения, когда $\Delta P_{Po\,min} \geq \Delta P_{kp,n}$, в качестве расчетного значения перепада давления принимают $\Delta P_{kp,n}$. При этом коэффициент расширения $y_n = 2/3$.

3.I.II. Определяют требуемую максимальную пропускную способность и проверяют правильность выбора РО согласно п.2.I.5.9.

3.2. Конструктивный расчет.

3.2.I. Исходные данные для расчета должны соответствовать рекомендуемому приложению I.

3.2.2. Выбирают тип РО согласно п.2.I.4.

3.2.3. Определяют максимальный расход среды через РО согласно п.3.I.2.

3.2.4. Определяют диаметр входного патрубка по формуле

$$d_{y1}=\sqrt{\frac{353\,G_{max}\cdot v_1}{W_{1max}}} \qquad (26)$$

Скорость пара W_{1max} принимают согласно рекомендуемому приложению 6. Диаметр условного прохода d_{y1} определяют по ГОСТ 355-67, выбирая ближайшее значение. Площадь сечения условного прохода на входе ω_{d1} рассчитывают по формуле (I4) согласно п.2.2.5. Значение диаметра условного прохода d_{y2} на выходе из РО должно удовлетворять условию $d_{y2}\geq d_{y1}$.

3.2.5. При одинаковых условных проходах РО и трубопровода ($d_y=D_y$) рассчитывают значение критического перепада давления $\Delta P_{кр}$ согласно п.3.I.5. и определяют режим течения - критический или докритический.

3.2.6. Производят расчет максимальной пропускной способности K'_{vmax} согласно п.3.I.6. и принимают $K^{Po}_{vmax}\geq K'_{vmax}$.

3.2.7. При неодинаковых условных проходах РО и трубопровода ($d_y\neq D_y$) проводят повторный расчет значения K''_{vmax} согласно п.п.3.I.8+3.I.I0.

3.2.8. Принимают значение $K^{Po}_{vmax}\geq K''_{vmax}$.

3.2.9. По табл.I,2 справочного приложения 3 при значении $\bar{K}_v=$ I,0 определяют для выбранного типа РО значение коэффициента K_c (см.справочное приложение 8).

3.2.I0. Проводят расчет ω_{max}, m, ε, $\zeta_{1c,t}$ согласно п.п.2.2.II+ 2.2.I7.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ РО

4.1. Расходную характеристику определяют для тех РО, которые предназначены для изменения в широких пределах расходов регулируемой среды, используемого в качестве регулирующего воздействия.

Для РО, которые служат для непосредственного поддержания давления или расхода регулируемой среды в качестве регулируемых параметров, расходная характеристика не определяется.

4.2. Исходными данными для определения расходной характеристики являются:

максимальный расход регулируемой среды G_{max}, определяемый согласно п.2.1.2. или п.3.1.2;

минимальный регулируемый расход среды G_{min} согласно рекомендуемому приложению 1;

статическая характеристика регулируемого участка $K_{yr}=f(G)$, заданная аналитически или графически (см.рекомендуемое приложение 1).

В случае многоконтурных схем регулирования статическая характеристика должна быть задана для наименее инерционного регулируемого участка. Для ряда типовых регулируемых участков статическую характеристику следует принимать согласно табл.1 справочного приложения 10.

4.3. Для определения расходной характеристики предварительно находим:

относительное значение минимального расхода

$$q_{min}=G_{min}/G_{max}, \qquad (27)$$

величина которого, как правило, должна быть не менее 0,02;

статическую характеристику регулируемого участка для относительных значений расхода $K_{yr}=f(q)$, для чего значения всех абсцисс характеристики $K_{yr}=f(G)$ делят на величину G_{max}.

4.4. Расходную характеристику РО определяют в относительных координатах.

4.4.1. Для типовых регулируемых участков, коэффициент усиления которых является постоянной величиной, следует принимать линейную расходную характеристику РО согласно уравнению прямой

$$q_v = q_0 + (1 - q_0)\ell \quad , \tag{28}$$

где $q_0 \leq q_{min}$.

В большинстве случаев для РО с линейной расходной характеристикой принимают q_0 минимально возможным с учетом типа конструкции и технологии изготовления РО.

4.4.2. Для типовых регулируемых участков с коэффициентом усиления, изменяющимся обратно пропорционально расходу регулируемой среды, следует принимать равнопроцентную расходную характеристику РО согласно уравнению

$$q_v = q_{min}^{1-\ell} \tag{29}$$

Задаваясь различными значениями относительного хода ℓ от $\ell = 0$ до $\ell = 1$, определяют по формуле (29) значения q_v.

Начальную часть расходной характеристики РО от $q_v = q_{min}$ до $q_v = 0$ выполняют линейной на участке хода $|\Delta\ell| \leq 0{,}1$ (см.например, раздел I справочного приложения I3). У полученной таким образом характеристики изменяют масштаб по оси абсцисс, чтобы значения относительного хода не выходили за пределы 0÷1. Новые значения абсцисс ℓ_1 для точек характеристики находят из соотношения

$$\ell_1 = \frac{\ell + \Delta\ell}{1 + \Delta\ell} \tag{30}$$

и соответственно перестраивают характеристику $q_v = f(\ell_1)$.

4.4.3. Для регулируемых участков, статическая характеристика которых не является типовой и задана аналитически или графически, расходную характеристику РО определяют из выражения

$$l = \frac{1}{C_1} \int_{q_{min}}^{q} K_{yn}(q)\,dq \quad , \tag{3I}$$

где

$$C_1 = \int_{q_{min}}^{1} K_{yn}(q)\,dq \tag{32}$$

Интегралы в указанных выражениях находят либо аналитически, либо графо-аналитически - методом численного интегрирования (см. раздел 6 справочного приложения I3 и справочное приложение I4).

Из выражений (3I) и (32) находят сначала функцию $l = f(q)$, обратную расходной характеристики РО. Затем, меняя местами оси координат, определяют расходную характеристику РО $q = f(l)$.

Начальную часть характеристики следует достроить по крутой линейной зависимости, как это было рекомендовано для равнопроцентной характеристики.

4.5. Для получения расходной характеристики в абсолютных значениях расхода $G = f(l)$ необходимо все ординаты характеристики $q = f(l)$ умножить на величину G_{max} .

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ РО

5.I. Конструктивный расчет РО.

5.I.I. РО изменяют расход воды в широких пределах. Режим течения при максимальном расходе - докритический $\left(\Delta P_{Po\,min} \leq \Delta P_{кав.max}\right)$.

5.I.I.I. Исходные данные для расчета:

значение $K_{y\,max}^{Po}$, определяемое согласно п.2.I.5.;

расходная характеристика РО $q_y = f(l)$, определяемая согласно разделу 4 РТМ;

зависимости $\Delta P_c = f(G)$, $\Delta P_{Po} = f(G)$, $P_1 = f(G)$

и температура среды t_1 согласно рекомендуемому приложению I.

5.I.I.2. Определяют потери давления в гидравлической системе без РО при расходе G_{max}

$$\Delta P_{T\,max} = \Delta P_c^{\circ} - \Delta P_{Po\,min}\ , \qquad (33)$$

где ΔP_c° - суммарные потери давления во всей системе при расходе G_{max}.

5.I.I.3. Определяют модуль гидравлической системы

$$n = \sqrt{\frac{\Delta P_{T\,max}}{\Delta P_{Po\,min}}} \qquad (34)$$

5.I.I.4. Определяют зависимость суммарных потерь давления в системе от расхода в относительных координатах $\overline{\Delta P_c} = f(q_y)$, где

$$\overline{\Delta P_c} = \Delta P_c / \Delta P_c^{\circ} \qquad (35)$$

5.I.I.5. Пропускную характеристику РО определяют в относительных координатах $\overline{K}_y = f(l)$,

где $$\overline{K}_y = K_y / K_{y\,max} \qquad (36)$$

Для РО, установленных в гидравлических системах с переменной величиной ΔP_c, пропускную характеристику рассчитывают при помощи выражения

$$\bar{K}_v = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{\bar{\Delta P_c}}{q^2}-1\right)\cdot\left(1+n^2\right)}} \qquad (37)$$

Для значений хода ℓ, взятых с интервалом 0,1 в диапазоне от $\ell = 0$ до $\ell = 1$, берут значения ординат q расходной характеристики и соответствующие им значения $\bar{\Delta P_c}$ по кривой $\bar{\Delta P_c} = f(q_\ell)$. Подставляя эти значения в выражение (37), определяют ординаты K_v, соответствующие каждому из взятых значений ℓ, и строят искомую пропускную характеристику.

Для РО, установленных в гидравлических системах с постоянной величиной ΔP_c, пропускную характеристику РО рассчитывают с помощью выражения

$$\bar{K}_v = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{1}{q^2}-1\right)\cdot\left(1+n^2\right)}} \qquad (38)$$

Для РО с требуемыми линейной ($q_{min}=0$) и равнопроцентной ($q_{min}=0{,}04$) расходными характеристиками при постоянной величине $\bar{\Delta P_c}$ пропускные характеристики определяют также по известному значению модуля n из графиков черт. 4÷5 справочного приложения 10.

5.1.1.6. Для получения пропускной характеристики в абсолютных значениях K_v все ординаты характеристики $\bar{K}_v = f(\ell)$ умножают на величину $K_{v\,max}$.

5.1.1.7. Проверяют возможность возникновения критических режимов течения при частичных открытиях РО:

Определяют давление P_1 и перепад давления $\Delta P_{Po\,max}$ при минимальном расходе среды G_{min} из заданных зависимостей $P_1 = f(G)$ и $\Delta P_{Po} = f(G)$.

Определяют величину $\Delta P_{кав.max}$ для расхода G_{min} по формулам (7),(8) п.2.I.5.4. Значение коэффициента K_m при $\bar{K}_{v\,min}$ берут согласно зависимости $K_m = f(\bar{K}_v)$ для данного типа РО из каталогов арматуры или по табл.I,2 справочного приложения 3.

Если $\Delta P_{Po\,max} < \Delta P_{кав.max}$, то критический режим течения отсутствует во всем диапазоне изменения расхода, и определение пропускной характеристики согласно п.5.I.I.5. следует считать законченным.

5.I.I.8. Если $\Delta P_{Po\,max} \geq \Delta P_{кав.max}$, производят корректировку начальной части пропускной характеристики в следующей последовательности:

принимают для ряда значений расхода $G_i \geq G_{min}$ ориентировочные значения коэффициента критического расхода K'_{mi} согласно табл.I,2 справочного приложения 3;

находят для каждого значения G_i по формулам (7) и (8), пользуясь зависимостью $P_1 = f(G)$, ориентировочные значения критического перепада давления $\Delta P'_{кав.max\,i}$;

определяют для каждого значения G_i предварительное значение пропускной способности РО K'_{vi}, заменяя в формуле (9) G_{max} на G_i и $\Delta P_{кав.max}$ на $\Delta P_{кав.max\,i}$;

определяют по формуле (36) значения $\bar{K}'_{vi}$ и уточняют для них по табл.I,2 справочного приложения 3 значения коэффициентов K_{mi};

повторяют для каждого значения G_i расчет, используя уточненные значения K_{mi}; полученные уточненные значения K_{vi} наносят в качестве ординат пропускной характеристики при значениях l_i, определяемых для соответствующих значений G_i по расходной характеристике;

сравнивают ординаты первоначальной характеристики, найденной согласно п.п.5.I.I.5. и 5.I.I.6. и скорректированной, после чего строят окончательную пропускную характеристику по точкам с ординатами,

соответствующим бо́льшим значениям пропускной способности РО.

5.I.2. РО изменяют расход воды в широких пределах. Режим течения при максимальном расходе критический ($\Delta P_{Po\,min} \geq \Delta P_{kav.\,max}$ или $P_2 < P_{нас}$).

5.I.2.I. Исходные данные для расчета:

значение $K_{v\,max}$, определяемое согласно п.п.2.I.5.6.+2.I.5.9;

расходная характеристика РО $G=f(l)$, определяемая согласно разделу 4 РТМ;

зависимости $P_1=f(G)$, $\Delta P_{Po}=f(G)$ и температура среды t_1 согласно рекомендуемому приложению I.

5.I.2.2. Пропускную характеристику РО определяют в абсолютных значениях пропускной способности $K_v=f(l)$ в последовательности согласно п.5.I.I.8.

5.I.3. РО изменяют расход пара в широких пределах. Докритический и критический режимы течения.

5.I.3.I. Исходные данные для расчета:

значение $K_{v\,max}$, определяемое согласно п.3.I.6.;

расходная характеристика РО $G=f(l)$, определяемая согласно разделу 4, РТМ;

зависимости $P_1=f(G)$, $\Delta P_{Po}=f(G)$ и температура пара t_1 согласно рекомендуемому приложению I.

5.I.3.2. Пропускную характеристику РО определяют в абсолютных значениях пропускной способности $K_v=f(l)$ в следующей последовательности:

принимают для ряда значений расхода G_i, взятых по расходной характеристике РО ($G_{min} \leq G_i \leq G_{max}$), ориентировочные значения коэффициента критического расхода K'_{mi} согласно табл.I,2 справочного приложения 3;

находят для каждого значения G_i, пользуясь зависимостями $P_1 = f(G)$ и $\Delta P_{po} = f(G)$, давления на входе в РО P_{1i} и перепад давления на РО ΔP_{poi} и по формулам (21), (23) определяют ориентировочные значения ΔP_{kpi} и y_i;

определяют для каждого значения расхода пара G_i предварительное значение пропускной способности РО K'_{vi}, заменяя в формуле (22) G_{max} на G_i и подставляя в нее соответствующие значения y_i и ΔP_{pi} с учетом режима течения (докритического или критического);

определяют по формуле (36) значения $\overline{K}_{vi}$ и уточняют для них по табл.1,2 справочного приложения 3/ значения коэффициента K_{mi};

повторяют для каждого значения G_i расчет, используя уточненные значения K_{mi}; полученные уточненные значения K_{vi} наносят в качестве ординат пропускной характеристики при значениях l_i, определяемых для соответствующих значений G_i по расходной характеристике.

5.1.4. РО применяют для непосредственного поддержания давления или расхода регулируемой среды (воды или пара) в качестве регулируемых параметров.

5.1.4.1. Исходные данные для расчета:

максимальная пропускная способность РО, $K_{v\,max}$ определяется согласно п.п.2.1.5.1., 2.1.5.6., 2.1.6;

статическая характеристика регулируемого участка $K_{yr} = f(K_v)$ в диапазоне от $K_{v\,min}$ до $K_{v\,max}$ или $K_{yr} = f(\overline{K}_v)$ в диапазоне от $\overline{K}_{v\,min}$ до $K_v = 1{,}0$, где согласно формуле (36) $\overline{K}_{v\,min} = K_{v\,min}/K_{v\,max}$.

Статическая характеристика согласно рекомендуемому приложению 1/ может быть задана аналитически или графически.

Для некоторых регулируемых участков статические характеристики следует принимать согласно табл.2 справочного приложения 10.

5.I.4.2. Пропускную характеристику РО определяют в абсолютных значениях пропускной способности $K_v = f(\ell)$.

Для типовых регулируемых участков с коэффициентом усиления, изменяющимся обратно пропорционально пропускной способности РО, следует принимать равнопроцентную пропускную характеристику РО согласно уравнению

$$K_v = K_{v\,max} \cdot \overline{K_{v\,min}}^{1-\ell} \qquad (39)$$

Задаваясь различными значениями относительного хода ℓ от $\ell = 0$ до $\ell = I$, определяют по формуле (39) значения K_v.

Начальную часть пропускной характеристики РО, соответствующую изменению пропускной способности от $K_v = K_{v\,min}$ до $K_v \cong 0$, выполняют линейной на участке хода $|\Delta\ell| \leq 0{,}I$, а затем изменяют масштаб всей пропускной характеристики по оси абсцисс способом, аналогичным рекомендованному для равнопроцентной расходной характеристики РО (см.п.4.4.2.).

Для регулируемых участков, статическая характеристика которых не является типовой и задана аналитически или графически, пропускную характеристику РО рассчитывают с помощью выражения:

$$\ell = \frac{1}{C_2} \int_{K_{v\,min}}^{K_v} K_{yp}(K_v) \cdot dK_v \quad , \qquad (40)$$

где

$$C_2 = \int_{K_{v\,min}}^{K_{v\,max}} K_{yp}(K_v) \cdot dK_v \qquad (4I)$$

Интегралы в указанных выражениях определяют либо аналитически, либо графо-аналитически методом численного интегрирования (см.справочное приложение I4). Сначала находят функцию $\ell = f(K_v)$, обратную пропускной характеристике РО, а по ней - пропускную характеристику $K_v = f(\ell)$. Начальную часть характеристики следует продолжить по крутой линейной зависимости так же, как и для равнопроцентной пропускной характеристики.

5.2. Поверочный расчет РО.

5.2.1. При поверочном расчете пропускную характеристику РО рассчитывают согласно разделу 5.1., за исключением случая, рассматриваемого в п.5.2.2.(см.ниже). Эту характеристику сравнивают с пропускными характеристиками РО, приведенными в каталогах регулирующей арматуры. Выбирают РО с пропускной характеристикой, отличающейся от расчетной по крутизне $K_{P_0} = d K_v^{P_0} / dl$ при всех значениях K_v не более, чем в 1,5 раза.

5.2.2. При выборе РО из номенклатуры общепромышленной арматуры со стандартными пропускными характеристиками (линейной, равнопроцентной, заслоночной) для изменения расхода воды в широких пределах в докритическом режиме течения и при постоянной величине ΔP_c поверочный расчет выполняют в следующей последовательности:

5.2.2.1. Определяют по формуле (34) значение модуля гидравлической системы n.

5.2.2.2. Находят предварительное значение максимального относительного расхода $q_{max}^{P_0}$ по формуле

$$q_{max}^{P_0} = \frac{K_{v\,max}^{P_0}}{K_{v\,max}}, \qquad (42)$$

где $K_{v\,max}$ – расчетная максимальная пропускная способность РО и $K_{v\,max}^{P_0}$ – максимальная пропускная способность выбранного РО.

5.2.2.3. Определяют значение q_{max}, для чего на каждом из графиков черт.6÷8 справочного приложения 10 через точку, соответствующую $q_{max}^{P_0}$ проводят горизонтальную прямую до пересечения с линией $n=0$. Затем из точки пересечения проводят вертикальную прямую до пересечения с кривой, соответствующей найденному для системы значению n. Ордината точки пересечения соответствует q_{max}.

5.2.2.4. Определяют минимальный относительный расход среды по формуле

$$q_{min} = q_{max} \frac{G_{min}}{G_{max}} \qquad (43)$$

5.2.2.5. По найденным значениям n, q_{max}, q_{min} подбирают пропускную характеристику РО. Если требуется линейная расходная характеристика, то по графикам черт.9÷11 справочного приложения 10 выбирают РО с пропускной характеристикой, которая в интервале от q_{min} до q_{max} обеспечивает наименьшее значение разности $\Delta\overline{K}_{Po}$ относительных коэффициентов усиления РО $\overline{K}_{Po}$. Величину $\Delta\overline{K}_{Po}$, которая не должна превышать значения 0,5, определяют как разность абсцисс (значений $\overline{K}_{Po}$) точек кривой, соответствующей найденному значению n и прямой I ($\overline{K}_{Po} = I = const$), соответствующей линейной расходной характеристике.

Для систем с требуемой равнопроцентной расходной характеристикой выбор РО производят аналогичным образом с помощью графика черт.10 справочного приложения 10 с тем отличием, что разность абсцисс определяют между кривой, соответствующей найденному значению n, и прямой II, соответствующей равнопроцентной расходной характеристике.

5.2.2.6. Выбрав тип пропускной характеристики, подбирают типоразмер РО и определяют по соответствующему графику черт.6÷8 справочного приложения 10 рабочий участок расходной характеристики и значения l_{max} и l_{min}.

5.2.2.7. Если расхождение по коэффициентам усиления РО, соответствующим расчетной и фактической расходным характеристикам, превышает допустимую величину, принимают меры к сближению этих характеристик (см.п.6.2.2.).

5.2.3. Если для РО в каталоге вместо пропускной характеристики дана конструктивная, то поверочный расчет выполняют согласно п.6.2.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ РО.

6.1. Конструктивный расчет.

6.1.1. Исходные данные для расчета:

пропускная характеристика РО $K_v = f(\ell)$, определяемая согласно разделу 5 РТМ;

зависимость вида $\mu\bar{\omega} = f(\bar{\omega})$ для конструируемого типа РО. Усредненные зависимости указанного вида для РО различных типов даны на черт.12÷16 справочного приложения 10;

максимальное значение регулируемого проходного сечения РО ω_{max}, определяемое согласно пп.2.2.11.

6.1.2. Конструктивную характеристику РО определяют в относительных координатах $\bar{\omega} = f(\ell)$ в следующей последовательности:

для значений хода ℓ_i, взятых с интервалом 0,1 в диапазоне от $\ell = 0$ до $\ell = 1$, берут значения ординат K_{vi} пропускной характеристики;

подставляя значения K_{vi} в выражение

$$\mu\bar{\omega} = K_v / 5{,}04 \cdot \omega_{max} \quad ; \qquad (44)$$

находят значение произведения $(\mu\bar{\omega})_i$;

находят из графика вида $\mu\bar{\omega} = f(\bar{\omega})$ для каждого значения $(\mu\bar{\omega})_i$ значение относительного проходного сечения РО $\bar{\omega}_i$, наносят значения $\bar{\omega}_i$ в качестве ординат для известных значений хода ℓ_i и строят конструктивную характеристику в относительных координатах $\bar{\omega} = f(\ell)$.

6.1.3. Для получения конструктивной характеристики $\omega = f(\ell)$ в абсолютных значениях регулируемого проходного сечения необходимо все ординаты характеристики $\bar{\omega} = f(\ell)$ умножить на величину ω_{max}.

6.2. Поверочный расчет РО

6.2.1. При поверочном расчете конструктивную характеристику, полученную согласно разделу 6.1., сравнивают с конструктивными характеристиками типоразмеров РО, приведенными в каталогах регулирующей арматуры, и выбирают типоразмер РО с характеристикой, отличающейся по крутизне $d\omega/dl$ от расчетной при всех значениях ω не более, чем в 1,5 раза.

6.2.2. Если при поверочном расчете расхождение в крутизне расчетной и фактической характеристик РО превышает допустимую величину, то следует принять меры к их сближению. В качестве таких мер можно рекомендовать:

перепрофилировку регулируемого проходного сечения РО (см.рекомендуемое приложение 11 и справочное приложение 12);

изменение, если возможно, характеристики сочленения РО с исполнительным механизмом (см.рекомендуемое приложение 11).

ПРИЛОЖЕНИЕ I.

Рекомендуемое

Исходные данные для расчета РО

Наименование исходных данных	Среда	
	вода	водяной пар
Схема трубопровода с РО	Чертеж	
Условный проход трубопровода	D_y	
Расход среды: номинальный	$G_{ном}$ или $Q_{ном}$	$Q_{ном}$
минимальный	G_{min} или Q_{min}	
Перепад давления в системе в функции расхода	$\Delta P_c = f(G)$	
Абсолютное давление на входе в РО в функции расхода	$P_1 = f(G)$	
Перепад давления на РО в функции расхода	$\Delta P_{po} = f(G)$	
Температура среды на входе в РО	t_1	
Плотность среды на входе	ρ_1	–
Удельный объем пара при температуре t_1 и давлении P_1	–	v_1
Характеристика регулируемого участка в диапазоне от G_{min} до G_{max}	$K_{yr} = f(G)$ или $K_{yr} = f(\bar{K}_r)$	
Допустимое отклонение коэффициента усиления РО от расчетного коэффициента, соответствующего заданной рабочей расходной характеристике	$\Delta \bar{K}_{Po}$	

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

Справочное

Пропускная способность РО

Определение пропускной способности и условного прохода РО является существенной частью расчетов, имеющих целью создание или выбор РО. Расчет РО любого типа унифицирован путем использования понятия пропускной способности K_v. Через конструктивные параметры величина K_v выражается следующими соотношениями

$$K_v = 5{,}04 \frac{w_d}{\sqrt{\zeta_d}} = 5{,}04 \frac{w}{\sqrt{\zeta}} = 5{,}04 \cdot \mu w \qquad (I)$$

Пропускная способность определяется также параметрами потока регулируемой среды. В частности, для турбулентного потока несжимаемой, невязкой, некавитирующей жидкости при условии $d_y = D_y$ значение K_v определяют по формулам (4) или (5) РТМ. Отсюда следует, что величина K_v численно равна расходу в $м^3/ч$ несжимаемой жидкости с плотностью 1000 $кг/м^3$, проходящей через РО при перепаде давления на нем 0,098 МПа (1 $кгс/см^2$).

Указанные формулы справедливы для установившегося турбулентного режима течения жидкости. К эффектам течения, которые требуют введения в формулы поправочных коэффициентов, относятся вскипание жидкости в процессе дросселирования и сжимаемость газообразной среды (пара).

К конструктивным факторам, влияющим на величину K_v, относится возможное расхождение между условными проходами РО и присоединительного трубопровода, обусловливающее необходимость введения переходных патрубков между ними (см.справочное приложение 7).

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

Справочное

Восстановление давления в РО и режимы течения жидкости

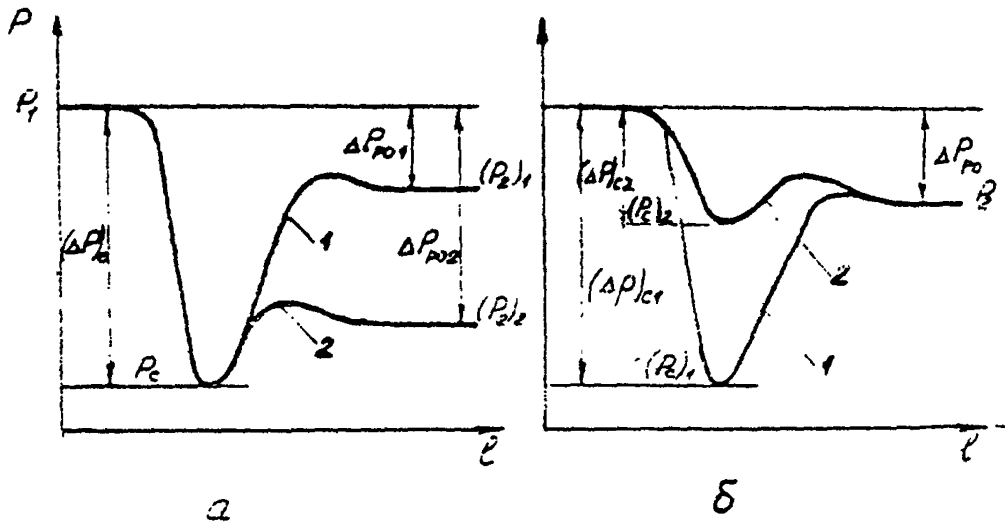
Пропускная способность РО различных типов связана со степенью восстановления давления за участком сужения потока в затворе. Степень восстановления давления зависит от конструкции РО, степени открытия регулируемого проходного сечения и направления потока рабочей среды. Изменение давления рабочей среды в проточной части РО с малой и большой степенью восстановления давления показано на черт.I.

Для несжимаемой жидкости падение и восстановление давления может сопровождаться явлениями вскипания и кавитации. На черт.2 показана типичная зависимость расхода жидкости G от перепада давления на РО при фиксированном регулируемом проходном сечении. В бескавитационном турбулентном режиме зависимость $G = f\left(\sqrt{\Delta P_{ро}}\right)$ линейна. При достижении кавитационного перепада $\Delta P_{кав}$ расходная зависимость становится нелинейной.

При прочих равных условиях кавитация начинается в различных РО при различных значениях перепада давления $\Delta P_{кав}$. С этой точки зрения РО характеризуются коэффициентом начала кавитации K_c, являющимся функцией геометрии проточной части и направления потока и определяющим перепад давления $\Delta P_{кав}$, соответствующий началу кавитации:

$$K_c = \frac{\Delta P_{кав}}{P_1 - P_{нас}} \qquad (I)$$

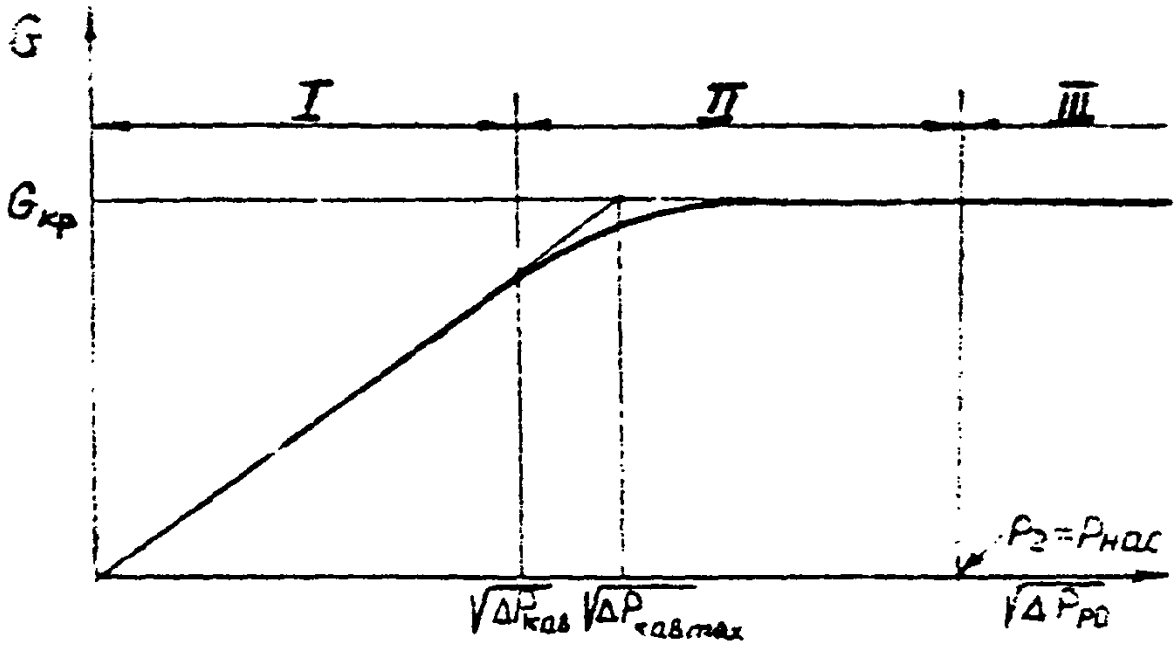
Изменение давления в РО с низким и высоким восстановлением давления



а – при постоянном значении падения давления в сжатом сечении потока $(\Delta P)_c = const$;
б – при постоянном перепаде давления на РО $\Delta P_{PO} = const$;
I – РО с низким восстановлением давления; 2 – РО с высоким восстановлением давления.

Черт. I.

Режимы течения жидкости в РО



I – турбулентное течение при отсутствии кавитации; II – кавитация (зона повышенного уровня шума и эрозионного износа); III – течение с испарением .

Черт. 2.

Для обеспечения работы РО в бескавитационном режиме необходимо, чтобы перепад давления на нем не превышал величины $\Delta P_{кав}$.

На практике не всегда удается обеспечить условия бескавитационной работы. При перепаде давления на РО больше допустимого по условию возникновения кавитации ($\Delta P_{р_0} > \Delta P_{кав}$) расход перестает быть его функцией и достигает критического значения. Перепад давления $\Delta P_{кав.max}$, начиная с которого дальнейшее увеличение перепада давления на РО практически не влияет на расход среды через РО, называется критическим перепадом.

Применительно к критическому режиму работы РО характеризуется коэффициентом критического расхода K_m, который, как и K_c, зависит от типа конструкции РО, степени открытия его проходного сечения и направления потока среды:

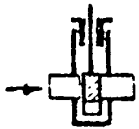
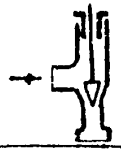
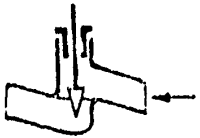
$$K_m = \frac{\Delta P_{кав\,max}}{P_1 - 2 \cdot P_{нас}} \qquad (2)$$

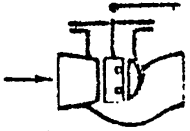
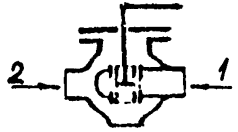
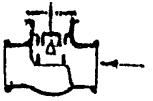
В большинстве случаев допустимо использовать значение $\Delta P_{р_0}$, лежащее между $\Delta P_{кав}$ и $\Delta P_{кав.max}$, особенно когда РО должен работать в режиме, близком к критическому, редко и кратковременно.

Значения K_c и K_m для РО различного типа в функции относительной пропускной способности $\overline{K_v}$ или угла поворота подвижного элемента затвора приведены в табл.I,2.

Таблица I

Средние значения коэффициентов K_c и K_m для различных типов РО в зависимости от параметра $\bar{R}_v$.

Конструктивная схема	Коэффициент	Относительная пропускная способность $\bar{R}_v$									
		0,I	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	I;0
Шиберный клапан 	Km	-	-	-	-	0,74	0,74	0,745	0,75	0,77	0,70
	Kc	0,82	0,8I	0,80	0,79	0,78	0,76	0,73	0,70	0,68	0,63
Угловой игольчатый клапан 	Km	0,445	0,46	0,36	0,340	0,360	0,37	0,44	0,43	0,43	0,49
	Kc	0,445	0,42	0,30	0,32	0,3I	0,295	0,28	0,29	0,35	0,4I
Проходной игольчатый клапан 	Km	-	-	0,43	0,45	0,47	0,50	0,59	0,67	0,73	0,86
	Kc	-	-	0,36	0,375	0,385	0,40	0,47	0,56	0,66	0,78

Конструктивная схема		Коэффициент	Относительная пропускная способность $\bar{K}_y$									
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Проходной игольчатый клапан 	1	K_m	0,37	0,37	0,37	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50
		Кс	0,35	0,35	0,35	0,36	0,375	0,40	0,415	0,44	0,455	0,47
	2	K_m, Кс	0,85	0,85	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,74	0,74
Поворотно-золотниковый однопоточный клапан ТКЗ 		K_m	–	0,65	0,69	0,72	0,72	0,690	0,66	0,62	0,56	–
		Кс*	0,75	0,81	0,80	0,78	0,74	0,69	0,66	0,62	0,56	0,35
Поворотно-золотниковый двухпоточный клапан БКЗ 	1	Km	–	–	0,84	0,83	0,82	0,81	0,82	0,84	0,77	–
		Кс	0,70	0,77	0,77	0,76	0,73	0,68	0,64	0,60	0,63	0,56
	2	K_m	–	0,87	0,87	0,87	0,84	0,80	0,77	–	–	–
		Кс	0,70	0,77	0,77	0,76	0,73	0,68	0,64	0,60	0,56	0,50
Клетковый клапан 		K_m	0,780	0,810	0,830	0,860	0,880	0,900	0,905	0,910	0,915	0,920
		Кс	0,570	0,590	0,610	0,625	0,640	0,655	0,660	0,665	0,670	0,670

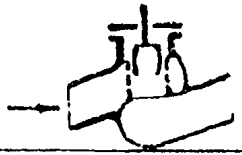
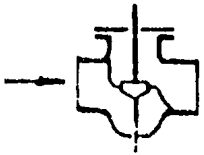
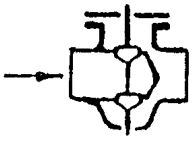
Конструктивная схема	Коэффициент	Относительная пропускная способность $\bar{K}_v$									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Клетковый клапан 	K_m	0,725	0,78	0,845	0,905	0,935	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
	Кс	0,67	0,715	0,775	0,875	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Односедельный клапан 	K_m	0,93	0,90	0,86	0,825	0,79	0,78	0,77	0,77	0,77	0,77
	Кс	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,605	0,60	0,60	0,60	0,60
Двухседельный клапан 	K_m	0,50	0,50	0,55	0,66	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77
	Кс	0,33	0,33	0,37	0,445	0,48	0,49	0,50	0,505	0,51	0,52

Таблица 2

Средние значения коэффициентов K_c и K_m для различных типов РО в зависимости от угла поворота затвора $\alpha°$.

Конструктивная схема	Коэффициент	Угол поворота $\alpha°$								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90
Шаровой клапан 	К	0,78	0,82	0,86	0,87	0,83	0,76	0,60	0,35	0,30
	Ко	0,70	0,70	0,72	0,80	0,80	0,68	0,43	0,28	0,26
Заслоночный клапан 	K_m	0,60	0,64	0,68	0,685	0,64	0,55	0,45	0,37	0,30
	Кс	0,40	0,40	0,41	0,44	0,50	0,36	0,27	–	–

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Рекомендуемое

Основные типы РО, используемые на АЭС и ТЭС при различных условных давлениях P_y

P_y, МПа	Тип РО
≤ 2,5	Поворотно-золотниковый угловой
4,0; 6,4; 10,0	Игольчатый проходной, поворотно-золотниковый проходной
20,0 и выше	Игольчатый угловой, шиберный.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Рекомендуемое

Значение коэффициентов запаса по расходу η в зависимости от назначения РО

Регулирующие питательные клапаны.....I,I

Регулирующие клапаны впрыска основных режимов парогенераторов.....2,0

Клапаны регуляторов уровня в ПНД и ПВД.....I,3

Остальные клапаны.....I,I

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Рекомендуемое

Максимальная скорость пара $W_{1\,max}$ на входе в РО в зависимости от величины условного давления среды P_y.

Ру, МПа	$W_{1\,max}$, м/с
2,5 ÷ 4,0	55
6,4 ÷ 10,0	65
25,0 ÷ 32,0	75
40,0 ÷ 50,0	80

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Справочное

Учет влияния переходных патрубков на пропускную способность РО

Установка на трубопроводе с условным диаметром D_y регулирующего органа с меньшим условным диаметром d_y $(d_y < D_y)$ является экономически выгодным.

Однако переходники (см.чертеж) создают дополнительное гидравлическое сопротивление, действующее последовательно с РО, в результате чего пропускная способность РО с переходниками становится меньше пропускной способности самого РО. Это необходимо учитывать при определении размера РО путем введения поправочного коэффициента, увеличивающего расчетное значение необходимой пропускной способности.

Поправочный коэффициент K_n рассчитывают по формуле

$$K_n = \left[1 + \frac{\Sigma K}{0{,}00157} \cdot \left(\frac{K_v}{d_y^2}\right)^2\right]^{-1/2} \qquad (1)$$

При максимальном расходе через РО в формулу подставляют значение $K'_{v\,max}$.

Сумму коэффициентов ΣK, характеризующих геометрию РО с переходными патрубками, определяют по следующей формуле, пригодной для докритического течение ($\Delta P_{po} < \Delta P_{kal.max}$)

$$\Sigma K = K_1 + K_2 + K_{B1} - K_{B2} \qquad (2)$$

Переходники рассматриваются как внезапные изменения прохода (угол конусности больше 40°). Расчетные соотношения для коэффициентов имеют вид

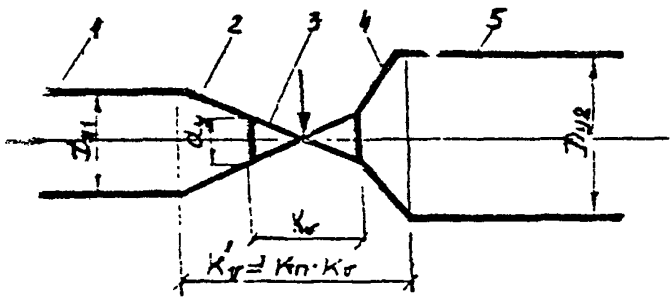
$$K_1 \approx 0{,}5 \cdot \left[1 - (d_y/D_{y1})^2\right]^2 \qquad (3)$$

$$K_2 \approx 1{,}0 \cdot \left[1 - (d_y/D_{y2})^2\right]^2 \qquad (4)$$

$$K_{B1} = 1 - (d_y/D_{y1})^4 \qquad (5)$$

$$K_{B2} = 1 - (d_y/D_{y2})^4 \qquad (6)$$

Соединение РО с трубопроводом



1 – участок трубопровода на входе;
2, 4 – переходные патрубки;
3 – РО; 5 – участок трубопровода на выходе.

Для трубопровода с одинаковыми диаметрами до и после РО ($D_{э1} = D_{э2} = D_э$) $K_{в1} = K_{в2}$ и сумму коэффициентов подсчитывают по упрощенной формуле

$$(\Sigma K)_э \cong K_1 + K_2 \simeq 1{,}5 \cdot \left[1 - (d_э/D_э)^2\right]^2 \qquad (7)$$

При критическом режиме течения жидкости ($\Delta P_{РО} \geq \Delta P_{кав.max}$) расход не зависит от геометрии потока после сжатого сечения, т.е. выходной переходник не оказывает влияния на пропускную способность РО. Влияние же входного переходника выражается в увеличении потерь давления между входным и сжатым сечениями, что приводит к уменьшению коэффициента критического расхода. Скорректированное значение $K_{т,п}$ с учетом патрубков рекомендуется определять по формуле

$$K_{т,п} = \left[\frac{1}{K_т} + \frac{K_i}{0{,}00151} \cdot \left(\frac{K_\sigma}{d_э^2}\right)^2\right]^{-1}, \qquad (8)$$

где

$$K_i = K_1 + K_{в1} \qquad (9)$$

Для сжимаемой среды влияние переходных патрубков сказывается на величине критического перепада давления, который определяют по формуле

$$\Delta P_{кр,п} = \frac{\Delta P_{кр}}{K_т^2} \cdot \left[1 + \frac{K_т \cdot K_i}{0{,}00211} \cdot \left(\frac{K_\sigma'}{d_э^2}\right)^2\right]^{-1} \qquad (10)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Справочное

Влияние направления потока среды через РО на его кавитационные характеристики

Каждый тип РО (шиберный, игольчатый, поворотно-золотниковый, клетковый и др.) имеет свои особенности геометрии проточной части. Различия в гидравлических свойствах РО при допустимости изменения направления потока через него обусловлены различием геометрии потоков в противоположных направлениях.

Коэффициент начала кавитации K_c как критерий, отражающий особенности геометрии проточной части, может быть представлен аналитически выражением вида

$$K_c = \frac{\zeta_{12,c}}{1 - (\varepsilon m)^2 + \zeta_{1c,c}} \qquad (I)$$

В физическом смысле зависимость K_c при $\varepsilon m = idem$ отражает, в каком соотношении к общему сопротивлению РО ζ_{12} находится сопротивление входного участка ζ_{1c}. Таким образом, каждый тип РО с учетом направления потока рабочей среды характеризуется свойственным только ему соотношением ζ_{12} и ζ_{1c}. Поэтому еще на стадии проектирования РО с целью обеспечения требуемых гидравлических характеристик РО необходимо производить выбор оптимального типа конструкции РО по коэффициенту начала кавитации. Тип арматуры можно, например, выбирать, используя экспериментальные зависимости вида $K_c = f(\bar{K}_v)$, полученные в автомодельной области течения при испытаниях разнотипных конструкций РО с различным возможным направлением потока через них (табл.I,2 справочного приложения 3). Для РО, работающих на водяном паре, выбор оптимального типа проточной части должен также произво-

диться по коэффициенту кавитации канала K_c, а не по коэффициенту критического расхода K_m. Это связано с тем, что хотя обе величины отражают особенности геометрии РО и взаимосвязаны между собой, аналитическое выражение получено только для K_c.

РО, существенно меняющие свои характеристики при противоположных направлениях потока среды через них, позволяют более гибко решать вопрос выбора оптимального РО для конкретных условий работы.

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Справочное

Оценка эрозиостойкости материалов деталей проточной части при выборе РО

Наряду с решением задачи выбора оптимального типа и условного прохода РО важное значение приобретает вопрос обеспечения его надежной работы в течение гарантированного срока службы. Одной из причин преждевременного выхода из строя некоторых РО на АЭС и ТЭС является эрозионное повреждение элементов проточной части. Характер и интенсивность износа зависит, в основном, от величины перепада давления на РО, геометрии проточной части и эрозиостойкости материала деталей, испытывающих воздействие потока среды. Так как одной из основных причин эрозионного разрушения проточной части является кавитационное воздействие потока среды, каждый РО проверяется на возможность возникновения кавитации по формуле (6) РТМ. Однако при этом K_c как критерий кавитации не зависит от свойства материалов элементов проточной части. Поэтому наряду с величиной ΔP_{kal} , определяемой по коэффициенту начала кавитации, важное значение приобретает перепад давления $\Delta P_{эр}$, при превышении которого возможен эрозионнй износ материалов проточной части. Величину $\Delta P_{эр}$ рекомендуется оценивать по эмпирической формуле

$$\Delta P_{эр} = 4{,}0 \cdot K_h \quad , \qquad \text{МПа}$$

Для его определения служит коэффициент эрозионной стойкости K_h, который определяют как отношение усредненных значений глубины эрозионного износа опытных образцов из различных материалов и эталонных образцов из стали IXI8HIOT. Значения K_h для некоторых сталей и

наплавочных сплавов, применяемых для изготовления деталей проточной части дроссельно-регулирующей арматуры, приведены в таблице. Из неё видно, например, что по эрозиостойкости сталь 12Х18Н10Т превосходит сталь 25 примерно в 180 раз.

Основываясь на известных значениях K_h для каждого материала, а также допустимых перепадах давления, можно оценить пригодность этих материалов для конкретных условий. Величина $\Delta P_{эр}$ должна определяться по материалу детали проточной части с минимальным коэффициентом эрозионной стойкости K_h.

Выбор РО для конкретных условий работы с учетом кавитационных характеристик и эрозионных свойств материалов деталей проточной части позволяет повысить надежность и срок службы РО.

Данные для оценки эрозиостойкости материалов проточной части РО

Детали проточной части	Материал деталей	Коэффициент эрозиостойкости $K_э$ относительно стали 12Х18Н10Т	Перепад давления $\Delta P_э$, МПа
Корпус, патрубки, седло, шибер	Сталь 25 ГОСТ 1050-74	0,0055	0,022
	Сталь 25Л ГОСТ 977-75	0,0056	0,022
	Сталь 20 ГОСТ 1050-74		
Шток, плунжер(золотник), седло	Сталь 30Х13 ГОСТ 5949-75	0,258	1,0
Шток	Сталь 14Х17Н2 ГОСТ 5949-75	0,74	2,95
Уплотнительные поверхности седла и плунжера(шибера)	Сплав на основе никеля ХН80СР2	0,83	3,32
	Сплав на основе железа ЦН-6	0,90	3,6
Корпус, патрубки, шток, плунжер(шибер), седло, защитные рубашки	Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5949-75	1,0	4,0
Уплотнительные и контактные поверхности затвора, плунжер	Сплав на основе железа ЦН-12	1,12	4,5
	Сплав на основе кобальта ЦН-2	1,44	5,75
Корпус, патрубки, шток	Сплав на основе титана ТВ-1	2,44	9,75

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

Справочное

Основы расчета и выбора оптимальных регулировочных характеристик регулирующих органов

1. Регулировочные характеристики

Различают следующие регулировочные характеристики РО:

рабочую расходную характеристику;

пропускную характеристику;

конструктивную характеристику.

Рабочая расходная характеристика, именуемая в дальнейшем расходной характеристикой - это зависимость расхода регулируемой среды G от хода h РО в рабочих условиях. Для относительного значения хода ℓ она может быть представлена уравнением $G=f(\ell)$. Расходная характеристика определяет основные свойства РО как элемента системы автоматического регулирования. Она обусловливает значения коэффициента усиления РО K_{Po} в диапазоне регулирования от минимального (G_{min}) до максимального (G_{max}) расходов регулируемой среды.

Расходная характеристика РО реализуется за счет его пропускной характеристики, представляющей собою зависимость пропускной способности K_v от хода $K_v=f(\ell)$. В общем случае формы пропускной и соответствующей ей расходной характеристик могут значительно отличаться друг от друга вследствие переменного перепада давления на РО и переменных значений физических параметров рабочей среды.

Форма пропускной характеристики РО определяется, главным образом, его конструктивной характеристикой, т.е. зависимостью площади регулируемого проходного сечения от хода $\omega = f(l)$. Эти две характеристики могут быть подобны между собой только в случае, если коэффициент расхода РО μ остается постоянным во всем диапазоне регулирования.

2. Основы расчета и выбора оптимальных расходных характеристик РО

Регулирующий орган как элемент системы автоматического регулирования представляет собою усилительное звено, включенное перед регулируемым участком, и образует вместе с ним регулируемый объект (черт.I), коэффициент усиления которого равен произведению коэффициентов усиления составляющих его звеньев

$$K_{об} = K_{ро} \cdot K_{уч} \qquad (I)$$

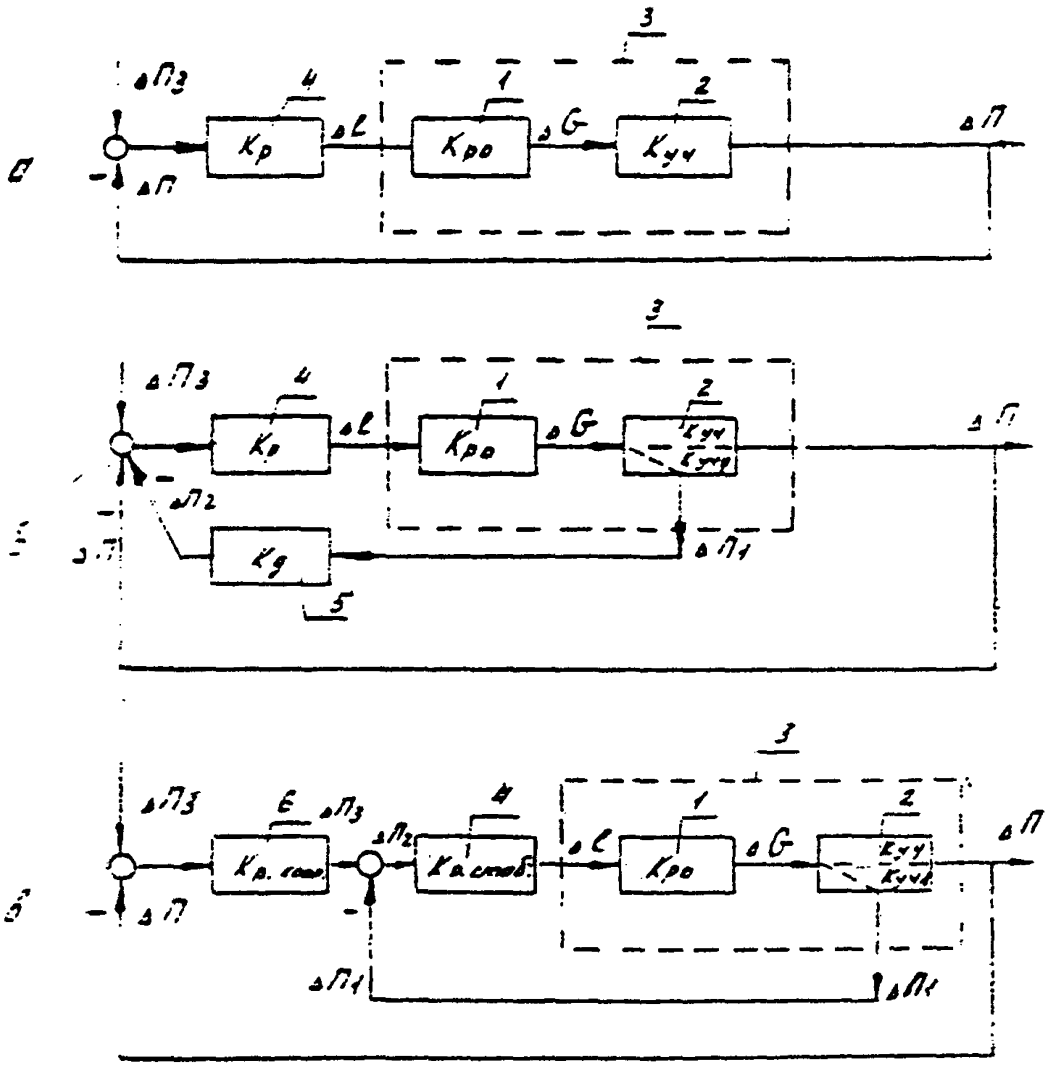
Коэффициент усиления РО $K_{ро}$ при каждом значении расхода среды через регулируемый объект определяется крутизной расходной характеристики РО при соответствующем расходе:

$$K_{ро} = dG/dl \qquad (2)$$

Определяя коэффициент усиления РО во всем диапазоне регулирования, расходная характеристика непосредственно влияет на коэффициент усиления регулируемого объекта $K_{об}$ согласно зависимости(I), а следовательно, на качество регулирования. Поэтому форма расходной характеристики должна выбираться на основании анализа динамики и точности регулирования.

Статическая точность регулирования процессов в энергетических объектах определяется прежде всего тем, что последние снабжаются,

Регулирующий орган в системе регулирования



а – одноконтурная система; б – двухконтурная система с исчезающим сигналом по малоинерционному параметру; в – двухконтурная каскадная система; I – РО; 2 – регулируемый участок; 3 – регулируемый объект; 4 – регулятор стабилизирующий; 5 – дифференциатор; 6 – регулятор корректирующий ($\Delta П_3$ – заданное значение параметра; $K_{уч1}$ – коэффициент усиления малоинерционного участка).

Черт. I

как правило, электрическими исполнительными механизмами с постоянной скоростью перемещения, которыми управляют регуляторы с релейным выходом, работающие в скользящем (пульсирующем) режиме. Элементарное перемещение такого механизма Δh_{eg} при однократном включении его электродвигателя практически постоянно и не может быть установлено меньшим некоторой предельной величины, определяемой, главным образом, конструкцией исполнительного механизма.

Произведение перемещения Δh_{eg} и $K_{об}$ определяет минимально возможное установившееся отклонение регулируемого параметра $\Delta П_{eg.\infty}$ от одного срабатывания исполнительного механизма

$$\Delta П_{eg.\infty} = K_{об} \cdot \Delta h_{eg} \qquad (3)$$

Это отклонение, в свою очередь, определяет минимальную нечувствительность регулятора $\Delta П_{неч}$, при которой еще не возникают автоколебания в режиме одного включения (для статических регулируемых участков)

$$\Delta П_{неч} \geq \Delta П_{eg.\infty} \qquad (4)$$

По условиям надежной работы исполнительных механизмов, а также нормального протекания технологических процессов возникновение автоколебаний недопустимо, если они имеют малый период, что свойственно системам регулирования участков, представляющих собой усилительные или малоинерционные звенья. Таковыми являются, в частности, большинство малоинерционных (опережающих) участков двухконтурных схем регулирования.

Из выражений (3) и (4) следует, что для статических и регулируемых участков наименьшая по условиям отсутствия автоколебаний нечувствительность регулятора и, следовательно, наивысшая статическая

точность регулирования достигается в том случае, если будет возможно меньше по абсолютному значению во всем диапазоне регулирования. Для инерционных регулируемых участков автоколебания имеют большой период и поэтому не так опасны. В таких случаях целесообразно обеспечивать минимально возможное значение $K_{об}$ не во всем диапазоне регулирования, а только в диапазоне основных или наиболее частых нагрузок, предъявляющих повышенные требования к точности регулирования. Это обеспечит при основных нагрузках отсутствие автоколебаний, а в остальной части диапазона регулирования большое значение их периода.

Требование минимальности $K_{об}$ в определенных границах изменения расхода среды выполняется в том случае, если в указанных границах выдерживается постоянство коэффициента усиления регулируемого объекта:

$$K_{об} = C = const \qquad (5)$$

или с учетом соотношения (I)

$$K_{ро} = C / K_{уп} \qquad (6)$$

Таким образом, $K_{ро}$ в требуемом диапазне должен изменяться обратно пропорционально величине $K_{уп}$.

Условие (6) соответствует также наилучшей динамике процесса регулирования и поэтому положено в основу определения оптимальной формы расходной характеристики РО. В случае применения двухконтурных схем регулирования с основным и опережающим регулируемыми участками (см. черт.I) в выражении (6) и вытекающих из него зависимостях следует в качестве $K_{уп}$ принимать коэффициент усиления опережающего (малоинерционного) участка $K_{уп1}$.

В качестве исходной информации должна быть задана (аналитически или графически) статическая характеристика регулируемого участка, т.е. зависимость $K_{уч} = f(G)$ в требуемом диапазоне изменения расхода регулируемой среды. Для многих типовых регулируемых участков эта зависимость известна. В остальных случаях её должны выдавать разработчики систем автоматического регулирования.

Регулируемые участки по характеру изменения коэффициента усиления $K_{уч}$ можно подразделить на следующие типы:

с постоянной величиной коэффициента усиления $K_{уч}$ во всем диапазоне регулирования

$$K_{уч} = a = const \qquad (7)$$

с переменным коэффициентом усиления, являющимся функцией расхода регулируемой среды

$$K_{уч} = f(G)$$

Последний тип участка может иметь следующие разновидности:

с коэффициентом усиления, изменяющимся обратно пропорционально расходу среды:

$$K_{уч} = a/G \qquad (8)$$

с коэффициентом усиления, представляющим собою более сложную функцию от G, которая может быть задана графически или аналитически.

Примеры регулируемых участков разных типов даны в табл.I.

Из соотношений (2) и (6) выведены выражения (3I) и (32) РТМ, по которым может быть рассчитана расходная характеристика РО в самом общем случае.

Таблица I.

Характеристики регулируемых участков некоторых регулируемых объектов энергетического оборудования

Общая характеристика регулируемого объекта	Регулируемый параметр	Регулирующее воздействие участка	Характеристика коэффициента усиления участка $K_{уч}$	Инерционность регулируемого участка	Вид оптимальной характеристики РО	Примеры	Примечание
Регулируемый объект, в котором расход воды поддерживается воздействием на регулирующий питательный клапан.	Расход воды	Расход воды	$K_{уч}=1=const$	Усилительное (безинерционное) звено	Расходная характеристика линейная	Узел регулирования питания одного или нескольких прямоточных парогенераторов с общим числом водопаровых трактов более двух, имеющих общую группу питательных насосов.	
Регулируемый объект, в котором уровень воды в емкости поддерживается воздействием на регулирующий питательный или сливной клапан.	Уровень воды	Расход воды	$K_{уч}=1=const$ $K_{уч}=\frac{d(d\Pi/dt)}{dG}$	Интегрирующее звено со временем "удвоения" параметра более 35с.	Расходная характеристика линейная	Узлы регулирования уровня воды в барабанах парогенераторов с естественной циркуляцией, в подогревателях ПНД и ПВД, в баках деаэраторов и в различных других баках и емкостях.	
Регулируемый объект (пароохладитель), температура пара за которым поддерживается воздействием на регулирующий клапан впрыска воды, причем перепад давления на тракте впрыска связан приблизительно квадратичной зависимостью с расходом пара.	Температура пара	Расход впрыскиваемой воды	$K_{уч}=a=const$	Апериодическое звено с незначительной постоянной времени, определяемой инерционностью термопарн.	Расходная характеристика линейная	Узлы регулирования температуры пара впрыском воды в основных режимах работы прямоточных парогенераторов. Узлы регулирования температуры пара впрыском собственного конденсата парогенераторов с естественной циркуляцией.	

Продолжение

Общая характеристика регулируемого объекта	Регулируемый параметр	Регулирующее воздействие участка	Характеристика коэффициента усиления участка $K_{уч}$	Инерционность регулируемого участка	Вид оптимальной характеристики РО	Примеры	Примечание
Регулируемый объект (пароохладитель), температура пара за которым поддерживается воздействием на регулирующий клапан впрыска воды. Параметры пара до и после пароохладителя поддерживаются более или менее постоянными.	Температура пара	Расход впрыскиваемой воды	$K_{уч}=\frac{const}{q}$	То же	Расходная характеристика равнопроцентная (в диапазоне регулирования).	Узлы регулирования температуры пара впрыском в редукционно-охладительных установках.	
Регулируемый объект (пароохладитель), температура пара за которым поддерживается воздействием на регулирующий клапан впрыска воды. Параметры пара до и после пароохладителя меняются в широких пределах.	Температура пара	Расход впрыскиваемой воды	$K_{уч}$ уменьшается по мере роста q. Зависимость $K_{уч}=f(q)$ задается графически.	"	Расходная характеристика с возрастающей крутизной (возрастающим $K_{ро}$) по мере открытия	Узлы регулирования температуры пара впрыском воды в растопочных режимах прямоточных парогенераторов (узлы растопочных впрысков).	Расходная характеристика рассчитывается по общему выражению (I4), (I5). При отсутствии зависимости $K_{уч}=f(q)$ может быть применена равнопроцентная характеристика.

Если в формулах (31) и (32) РТМ принять согласно (7) $K_{уг} = a = const$, то может быть получено уравнение (28) РТМ для линейной расходной характеристики, оптимальной для РО регулируемых участков с постоянной величиной $K_{уг}$. Относительная величина коэффициента усиления РО с такой расходной характеристикой определяется согласно уравнению (28) РТМ следующим выражением

$$\bar{K}_{Ро} = dq/dl = 1 - q_o \quad , \qquad (9)$$

т.е. является постоянной величиной.

Из выражений (31) и (32) РТМ, если положить в них согласно (8) $K_{уг} = a/q$, выводится уравнение (29) РТМ для равнопроцентной расходной характеристики, оптимальной для РО тех регулируемых участков, коэффициенты усиления которых изменяются обратно пропорционально расходу среды.

Относительный коэффициент усиления $\bar{K}_{Ро}$ РО с равнопроцентной расходной характеристикой определяется согласно уравнению (29) РТМ выражением

$$\bar{K}_{Ро} = dq/dl = q \cdot \ln \frac{1}{q_{min}} \quad , \qquad (10)$$

из которого вытекает, что $\bar{K}_{Ро}$ изменяется прямо пропорционально расходу среды q. Поэтому такой РО в сочетании с регулируемым участком, коэффициент усиления $K_{уг}$ которого изменяется обратно пропорционально расходу, образует регулируемый объект с постоянной величиной $K_{об}$.

Значение $\bar{K}_{Ро}$, как это следует из (10), существенно зависит от величины начального регулируемого пропуска q_{min}. Так, например, увеличение для равнопроцентной характеристики q_{min} с 1% до 10% уменьшает $\bar{K}_{Ро}$ в отношении $\ln 100 / \ln 10$, т.е. в 2 раза и в таком же отношении повышает точность регулирования. Поэтому в случае

равнопроцентной расходной характеристики уменьшение $q_{v\,min}$ до предельно возможного по условиям изготовления РО значения нецелесообразно. Следует принимать $q_{v\,min}$, исходя из значения минимального расхода, начиная с которого необходимо обеспечить высокое качество регулирования. Если же значительный нерегулируемый пропуск нежелателен по каким-либо технологическим соображениям, то начальную часть расходной характеристики в области значений целесообразно выполнять по крутой линейной зависимости.

На черт.2 даны примеры рассмотренных выше линейной и равнопроцентной расходных характеристик.

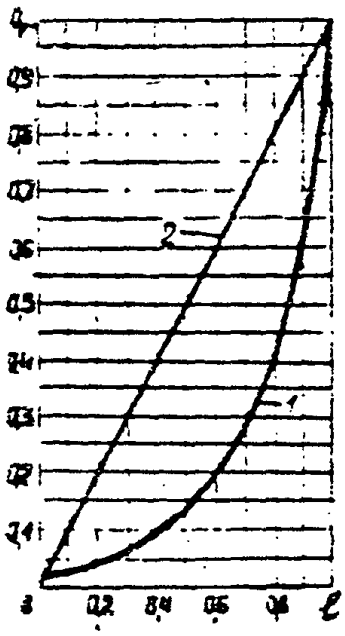
3. Основы расчета пропускных характеристик РО

3.1. Общие положения.

Пропускную характеристику РО рассчитывают или выбирают большей частью в зависимости от необходимой расходной характеристики. В общем случае формы этих характеристик для одного и того же РО, построенные в относительных координатах, могут значительно отличаться между собой. Это расхождение определяется, в первую очередь, тем, что перепад давления на РО составляет лишь часть общего перепада на всей системе и изменяется в зависимости от степени открытия РО.

При работе РО на воде в докритическом режиме течения аналитическая зависимость пропускной характеристики РО $\overline{K}_v = f(l)$ от его расходной характеристики $q_v = f(l)$ при переменном перепаде давления в системе определяется выражением (37) РТМ, в которое входят постоянная величина n и переменная $\Delta\overline{P}_c$. Модуль гидравлической системы n определяется как квадратный корень из отношения перепада давления на всех элементах системы (кроме РО) $\Delta P_{T\,max}$ к перепаду давления на РО $\Delta P_{PO\,min}$ при максимальном расходе среды G_{max}

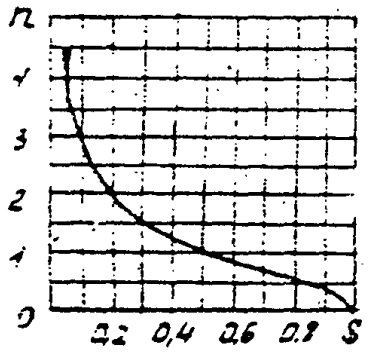
Типичные [illegible] расходных характеристик РО в [illegible] координатах



1 – равнопроцентная; 2 – линейная.

Черт.2

Модуль гидравлической системы n в функции параметра S



Черт.3

Величина $\overline{\Delta P_c}$ - это отношение суммарных потерь давления ΔP_c во всей системе, включая РО, при текущей величине расхода q_v к потерям ΔP_c^o при максимальном расходе среды $q_v = 1$. Параметр $\overline{\Delta P_c}$ определяется, главным образом, характеристикой насоса и является функцией расхода q_v.

Если $n = 0$, т.е. при пренебрежимо малом сопротивлении трубопровода, когда весь располагаемый перепад давления срабатывается на РО, $q_v = \overline{K_v}$, т.е. расходная характеристики совпадает с пропускной. Чем больше значение модуля n гидравлической системы, тем больше расхождение между указанными характеристиками.

При постоянном перепаде давления в системе ($\overline{\Delta P_c} = 1$) зависимость между пропускной и расходной характеристиками упрощается (см.формулу 38 РТМ).

В качестве параметра, характеризующего гидравлическую систему, наряду с n, используют также величину S (или A), где

$$S = A = \frac{\Delta P_{po\,min}}{\Delta P_c^o} . \qquad (11)$$

Параметры S и n связаны между собой соотношениями

$$S = 1/(1+n^2) \qquad (12)$$

и

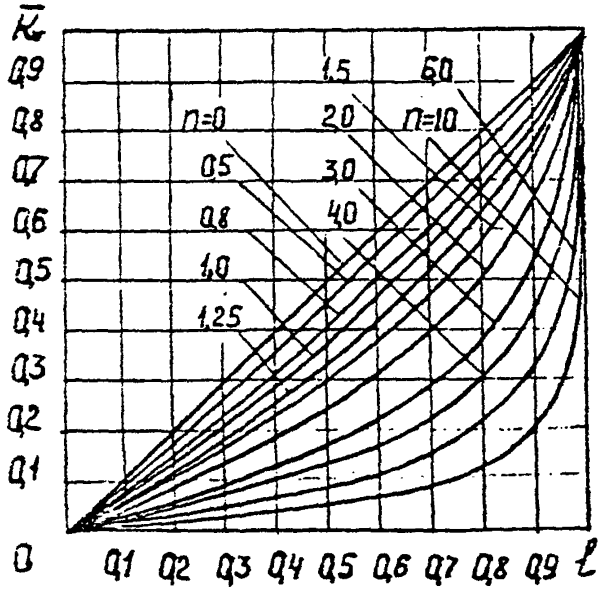
$$n = \sqrt{\frac{1-S}{S}} , \qquad (13)$$

которые представлены графиком на черт.3.

На черт.4,5 приведены пропускные характеристики РО, необходимые для получения линейной ($q_{v\,min} = 0$) и равнопроцентной ($q_{v\,min} = 0{,}04$) расходной характеристик при различных значениях n.

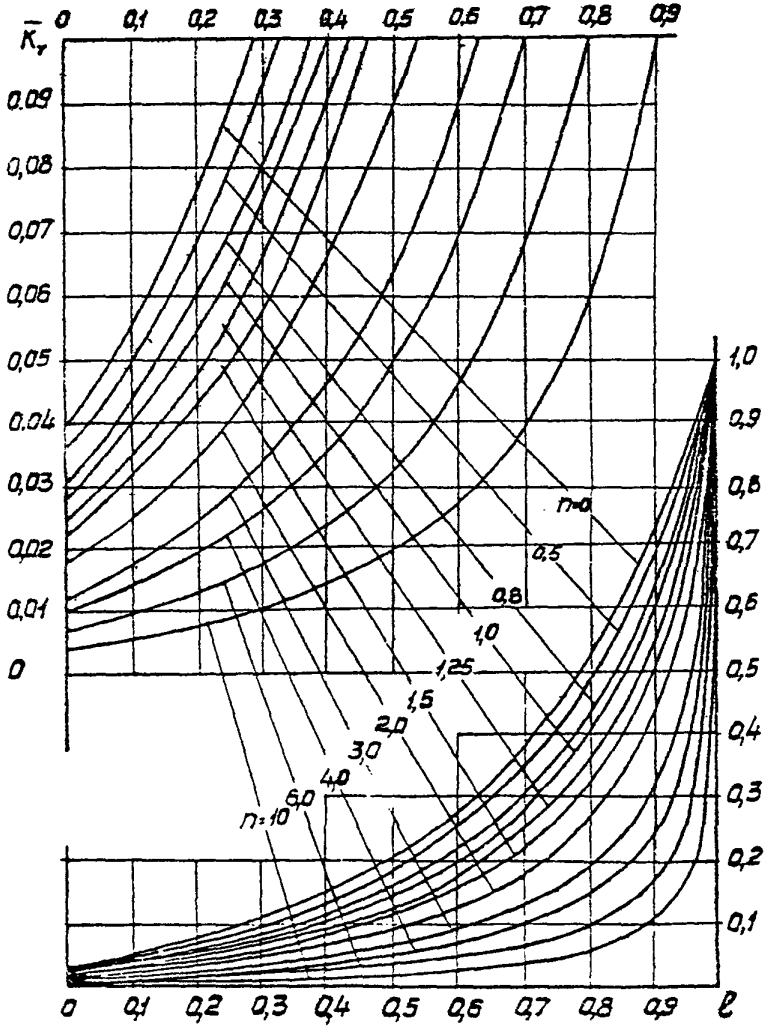
При поверочном расчете требуется для заданных условий работы рассчитать расходную характеристику имеющегося РО с известной

Пропускные характеристики РО, необходимые для получения линейной расходной характеристики, в зависимости от значения модуля n и относительного – да ℓ ($K_{v\,min}$=0, ΔPc=I)



Черт. 4.

Пропускные характеристики РО, необходимые для получения равнопроцентной расходной характеристики в зависимости от значения модуля n и относительного хода ℓ ($\overline{K_{v_{min}}}$= 0,04; $\overline{\Delta P_c}$=1).



Черт.5

пропускной характеристикой и сравнить её с требуемой. Критерием пригодности РО считается величина максимального отклонения в диапазоне регулирования коэффициента усиления РО от значений, соответствующих требуемой расходной характеристике. Согласно требованиям к оборудованию энергетических блоков коэффициент усиления РО не должен отличаться от своего оптимального значения более, чем в I,5 раза. Предпочтение отдается РО с пропускной характеристикой, которая обеспечивает меньшее значение этого отклонения.

Расчет рабочей характеристики по известной пропускной для заданных условий работы, определяемых значениями n и $\overline{\Delta P_c}$, может быть выполнен с помощью следующих выражений:

$$q_v = \sqrt{\frac{\overline{\Delta P_c}}{1 + \frac{1}{1+n^2}\cdot\left(\frac{1}{K_{v\min}^2} - 1\right)}} \qquad \text{при} \quad \overline{\Delta P_c} \neq 1 \qquad (I4)$$

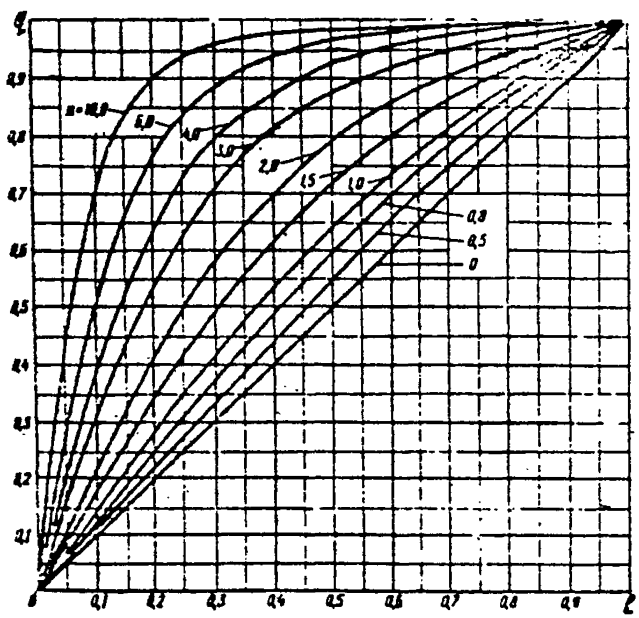
$$q_v = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{1+n^2}\cdot\left(\frac{1}{K_{v\min}^2} - 1\right)}} \qquad \text{при} \quad \overline{\Delta P_c} = 1 \qquad (I5)$$

Помимо специализированной энергетической арматуры на энергетических объектах может быть использована общепромышленная регулирующая арматура. Для неё согласно ГОСТ 9701-67 стандартизованы следующие типы пропускных характеристик: линейная, равнопроцентная и характеристика заслоночных РО.

На черт.6,7 приведены расходные характеристики, рассчитанные при разных значениях n для линейной и равнопроцентной (пропускных характеристик). На черт.8 приведены аналогичные кривые для пропускной характеристики РО заслоночного типа.

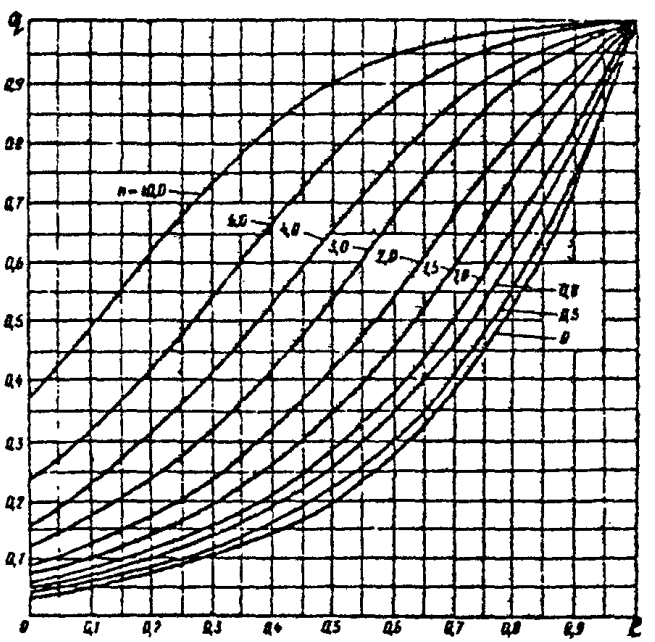
На черт.9÷II даны зависимости относительных значений коэффициента усиления РО $\overline{K}_{Po}$ от относительного расхода q_v при различных значениях n для упомянутых выше типов пропускных характеристик, причем линии I, II, и III отражают эти зависимости

Расходные характеристики РО с линейной пропускной характеристикой в зависимости от значения модуля n и относительного хода ℓ ($\bar{K}_{y\,min}=0$; $\bar{\Delta P}_c = 1$)



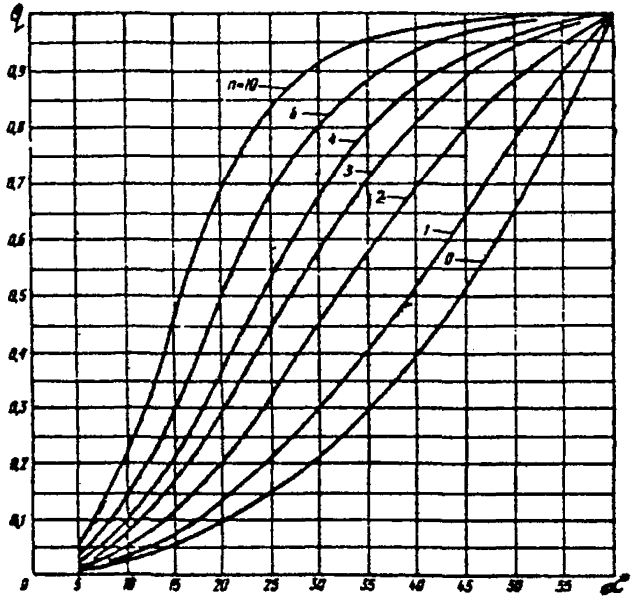
Черт.6

Расходные характеристики РО с равнопроцентной пропускной характеристикой в зависимости от значения модуля n и относительного хода ℓ ($\overline{K}_{\sigma min}=0{,}03$; $\overline{\Delta p}_c=1$).



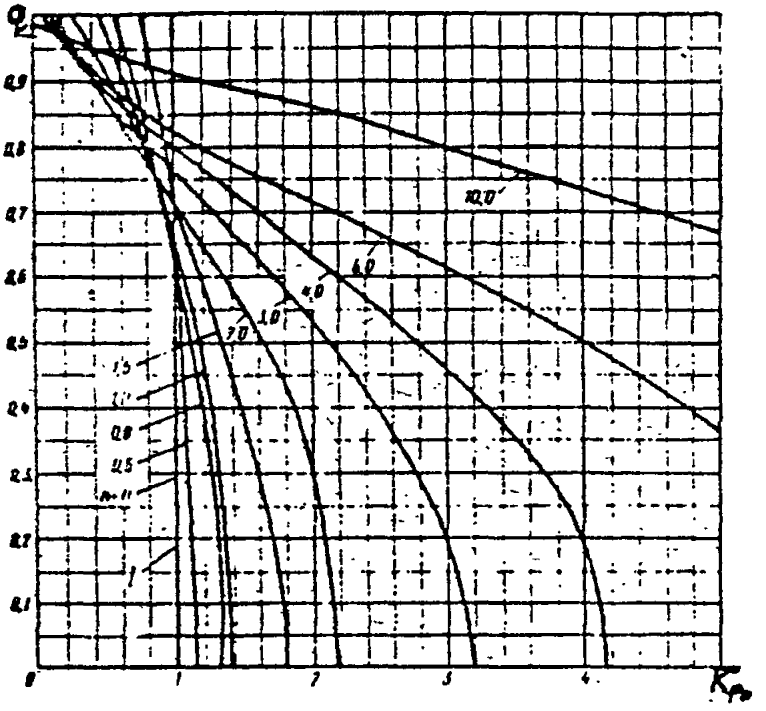
Черт.7

Расходные характеристики заслоночного РО в зависимости от значения модуля n и угла поворота заслонки α ($K_{\sigma_{min}} = 0{,}01$)



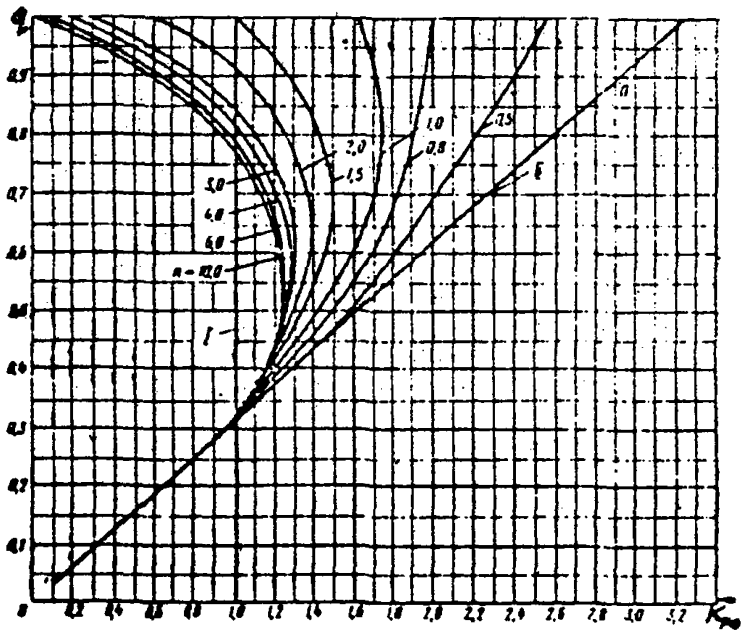
Черт.8

Расходные характеристики РО с линейной пропускной характеристикой в зависимости от значения модуля n и коэффициента усиления $\overline{K}_{ро}$



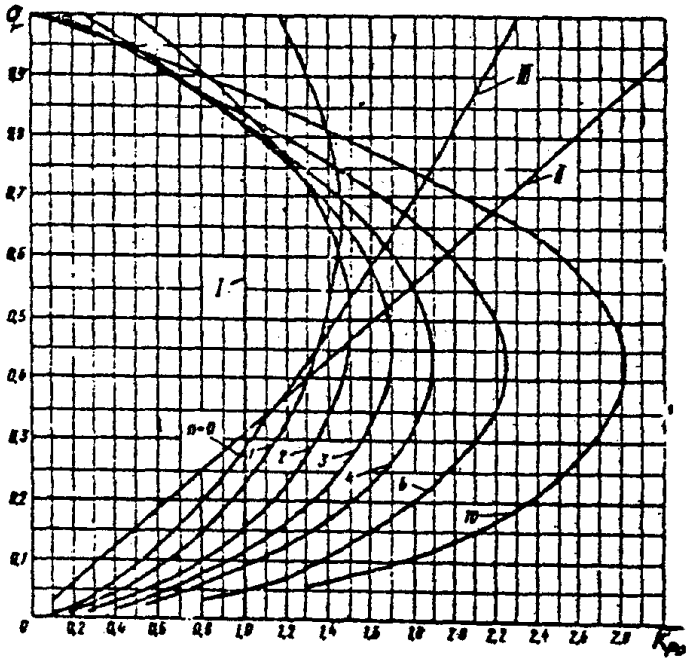
Черт.9

Расходные характеристики РО с равнопроцентной пропускной характеристикой в зависимости от значения модуля n и коэффициента усиления $\overline{Кро}$



Черт.IO

Расходные характеристики заслоночного РО в зависимости от значения модуля n и коэффициента усиления $\overline{K_{PO}}$



Черт.II

соответственно для линейной, равнопроцентной и заслоночной расходных характеристик, совпадающих с соответствующими пропускными характеристиками при $n = 0$.

3.2. Особенности определения пропускных характеристик РО, используемых для непосредственного поддержания давления или расхода регулируемой среды в качестве регулируемых параметров

Изложенные выше соображения по определению пропускных характеристик на основании требуемых расходных характеристик, используемых в качестве исходной информации, справедливы для большей части РО регулируемых объектов ТЭС и АЭС. Характерной особенностью их является изменение в широких пределах /в 3÷50 раз/ расхода регулируемой среды, используемого в качестве регулирующего воздействия При этом перепад давления на РО является однозначной функцией расхода регулируемой среды.

Однако, встречаются регулируемые объекты другого типа, для которых в рабочих условиях не характерны значительные изменения расхода регулируемой среды, в то время, как пропускная способность РО должна меняться в широких пределах. Изменение пропускной способности РО для таких объектов определяется необходимостью поддержания давления или расхода регулируемой среды в качестве регулируемых параметров при изменении в широких пределах плотности среды или перепада давления на РО. Регулирующим воздействием для соответствующих регулируемых участков является изменение непосредственно пропускной способности РО, характеризующей их свойства как элементов гидравлических систем. Очевидно, для РО подобных объектов само понятие расходная характеристика как зависимость расхода от хода теряет смысл, так как в рабочих условиях одно и то же значение расхода может иметь место при изменении хода РО в широких пределах.

Примером РО подобного типа является дроссельный клапан Др-I прямоточных парогенераторов, используемый для поддержания в предвключенном водопаровом тракте постоянного давления в пусковом режиме, в котором расход среды сохраняется постоянным, а плотность ее перед клапаном меняется в широких пределах, определяемых изменением агрегатного состояния среды от воды до перегретого пара.

Другим примером подобного РО может служить клапан регулятора расхода на линии вывода теплоносителя реактора в режимах пуска и останова, предназначенный для поддержания постоянного расхода воды при изменении в широких пределах перепада давления на РО.

Для подобных объектов свойства РО как элемента системы автоматического регулирования определяются непосредственно пропускной характеристикой. Поэтому ее форма должна выбираться на основании статической характеристики /характеристики коэффициента усиления/ регулируемого участка $K_{уч} = f(K_v)$. Для участков такого типа входной величиной является изменение пропускной способности K_v РО, а выходной изменение давления или расхода регулируемой среды, являющихся регулируемыми параметрами.

Статические характеристики таких участков в ряде случаев могут быть получены путем дифференцирования выражений /4/, /9/, /22/, /23/ РТМ в зависимости от вида протекающей среды и режима течения, если в них в качестве переменных принять отклонения регулируемого параметра, K_v и зависящих от них величин, предварительно заменив $K_{v\,max}$ на K_v, G_{max} на G и $\Delta P_{po\,min}$ на ΔP_{po}.

Рассмотрим в качестве примера простейший регулируемый участок, в котором необходимо поддерживать постоянный расход воды в режиме течения без испарения.

Принимая в формуле /4/ РТМ ρ и $\Delta P_{ро}$ не зависящими от регулируемого параметра G и регулирующего воздействия K_y и дифференцируя это выражение, получим

$$K_{уч} = \frac{dG}{dK_y} = \frac{\sqrt{\rho \cdot \Delta P_{ро}}}{10^{-2}} \qquad /16/$$

Формула /4/ РТМ дает

$$\frac{\sqrt{\rho \cdot \Delta P_{ро}}}{10^{-2}} = \frac{G}{K_y} \qquad /17/$$

Подставляя выражение /17/ в /16/, находим

$$K_{уч} = \frac{G}{K_y} \qquad /18/$$

Из выражения следует, что при постоянной величине расхода G значение $K_{уч}$ изменяется обратно пропорционально значению K_y. В этом случае оптимальной формой пропускной характеристики по аналогии с изложенными выше принципами подбора расходных характеристик является равнопроцентная пропускная характеристика.

В табл.2 даны выражения статических характеристик для аналогичных регулируемых участков при различных режимах течения воды и водяного пара.

В общем случае для регулируемых объектов, в которых РО используется для непосредственного поддержания давления или расхода среды в гидравлической системе, его оптимальная пропускная характеристика рассчитывается по статической характеристике регулируемого участка с помощью соотношений /40/ и /41/ РТМ, аналогичных /31/ и /32/ РТМ, служащих для расчета оптимальных расходных характеристик РО.

Таблица 2

Статические характеристики регулируемых участков РО, непосредственно поддерживающих давление или расход регулируемой среды в качестве регулируемых параметров

Среда, режим течения	Регулируемый параметр	Величины, зависящие от регулируемого параметра и K_v	Величины, не зависящие непосредственно от регулируемого параметра и K_v	Статическая характеристика регулируемого участка $K_{уч} = f(K_v)$	Примеры	Примечание
Вода. Режим течения без испарения	P_1	–	G, ρ_2, ρ	$K_{уч} = -\dfrac{2/P_1 - P_2/}{K_v}$ /1/		При $/P_1 - P_2/ = const$ оптимальная пропускная характеристика – равнопроцентная
Вода. Режим течения с испарением	P_2	$K_m = f(\bar{K}_v)$	G, ρ_2, ρ	$K_{yc} = -\dfrac{2 \cdot \Delta P_{кав.max}}{K_v \cdot K_m} \times \left[1 + \dfrac{\bar{K}_v}{2 \cdot K_m} \cdot \left(\dfrac{dK_m}{d\bar{K}_v}\right)\right]$ (2)	Регулируемый участок РО Др-I прямоточных парогенераторов	$\dfrac{dK_m}{d\bar{K}_v}$ – производная K_m по $\bar{K}_v$ при данном значении K_v
Водяной пар. Критический режим	P_1	$v_1 = f(\rho_1)$ $K_m = f(\bar{K}_v)$	G	$K_{yc} = -\dfrac{2P_1}{K_v} \cdot \dfrac{1 + \dfrac{K_v}{K_m} \cdot \dfrac{dK_m}{d\bar{K}_v}}{1 - \dfrac{P_1}{v_1} \cdot \dfrac{\partial v_1}{\partial \rho_1}}$ (3)		$\dfrac{\partial v_1}{\partial \rho_1}$ – частная производная v_1 по P_1 при заданной температуре t_1

Среда, режим течения	Регулируемый параметр	Величины, зависящие от регулируемого параметра и K_v	Величины, не зависящие непосредственно от регулируемого параметра и K_v	Статическая характеристика регулируемого участка $K_{yr} = f(K_v)$	Примеры	Примечания
Водяной пар окритический режим течения	P_I	$v_1 = f(p_1)$	G, p_2, K_m	$K_{yr} = -\frac{2}{K_v} \cdot \frac{1}{\frac{1}{y^2 \cdot \Delta P_0} \cdot \left[b^2 + (1-b)(3b-1)\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^2 + 2(1-b)^2\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^3 - \frac{1}{v_1} \cdot \frac{\partial v_1}{\partial P_1}\right]}$, (4) где $b = 1 - \frac{1}{1{,}8 \cdot K \cdot K_m}$		Определяются как отношение приращений $\Delta v_1 / \Delta P_1$ в окрестности $P = P_I$
Вода. Режим течения без испарения	G	–	$P_I \cdot P_2$, ρ	$K_{yr} = \frac{G}{K_v}$ (5)	Регулируемый участок клапана регулятора расхода на линии вывода теплоносителя реактора в режимах пуска и останова.	При $G = const$ оптимальная пропускная характеристика-равнопроцентная
Вода. Режим течения с испарением	G	$K_m = f(\bar{K}_v)$	P_1, P_2, ρ	$K_{yr} = \frac{G}{K_v}\left(1 + \frac{\bar{K}_v}{2K_m} \cdot \frac{dK_m}{d\bar{K}_v}\right)$ (6)		

4. Расчет конструктивной характеристики РО.

Конструктивную характеристику РО рассчитывают на основании требуемой пропускной характеристики с использованием экспериментально установленных зависимостей вида $\mu\bar{\omega} = f(\bar{\omega})$ для соответствующего типа РО /черт.12+16/. Связь между значением K_v и соответствующим ему проходным сечением РО ω определяется соотношением /см.формулу /1/ справочного приложения 2/:

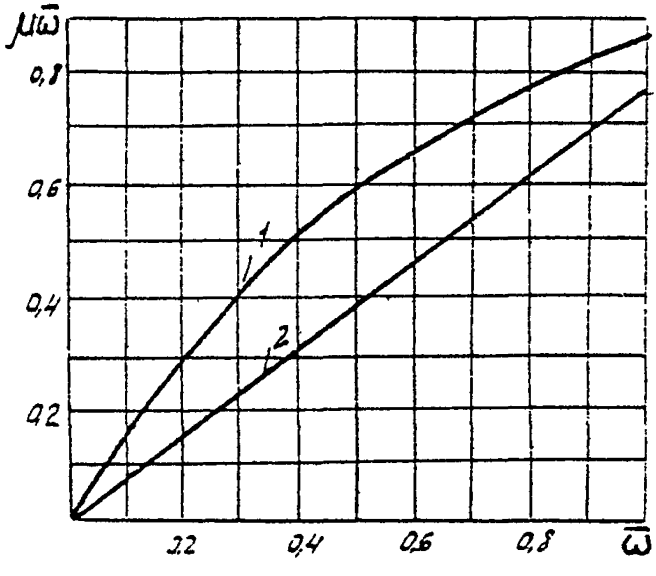
$$\omega = \frac{K_v}{5{,}04 \cdot \mu} \qquad /19/$$

Однако непосредственно воспользоваться этим соотношением, как правило, не удается, так как коэффициент расхода μ является обычно переменной величиной, зависящей от относительной величины проходного сечения $\bar{\omega} = \omega/\omega_{max}$.

В результате деления обеих частей уравнения /19/ на ω_{max} может быть получено выражение /44/ РТМ, более удобное для расчета значений ω.

По формуле /44/ РТМ для каждого значения K_v определяют величину $\mu\bar{\omega}$, а по ней и графику $\mu\bar{\omega} = f(\bar{\omega})$ - значение $\bar{\omega}$. Величину искомого проходного сечения определяют из очевидного соотношения $\omega = \bar{\omega} \cdot \omega_{max}$.

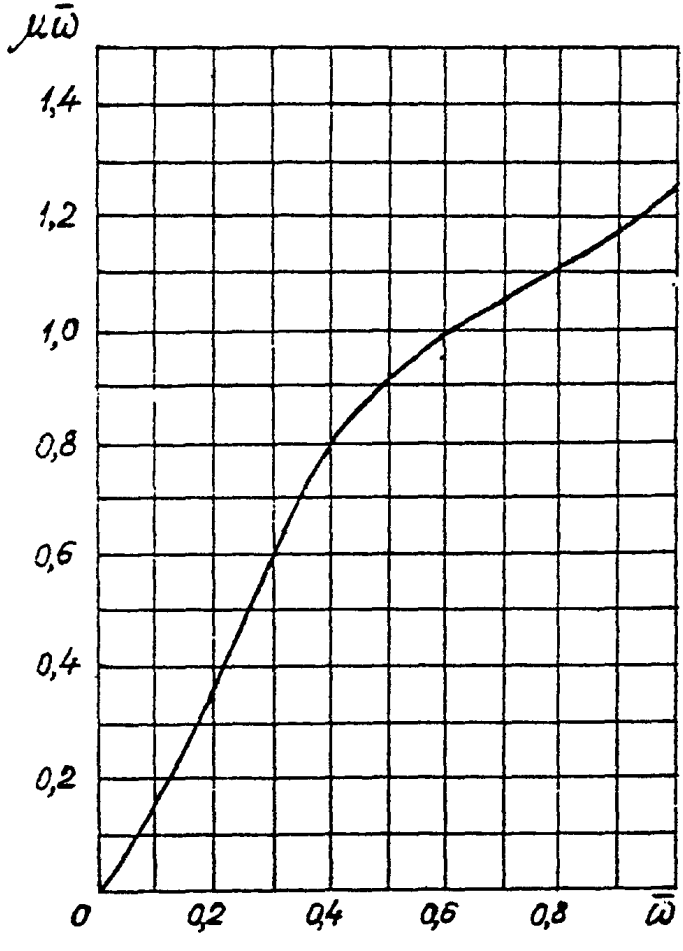
Усредненная зависимость эффективной площади регулируемого проходного сечения от степени его открытия для проходных РО с игольчатым плунжером



I – поток закрывает; 2 – поток открывает

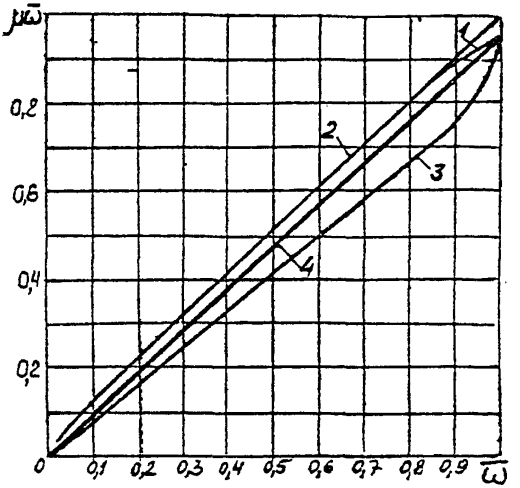
Черт.12

Усредненная зависимость эффективной площади регулируемого проходного сечения от степени его открытия для угловых РО с игольчатым плунжером (поток закрывает).



Черт.13

Усредненные зависимости эффективной площади регулируемого проходного сечения от степени его открытия для РО шиберного типа.



I - щелевой профиль в шибере (Ду 20 мм);

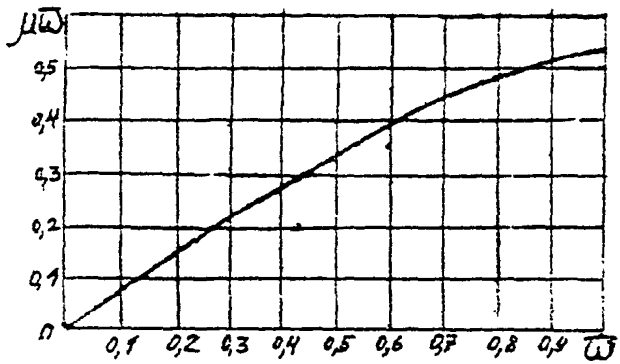
2 - щелевой профиль в шибере (Ду 40,50 мм) и дырчатый профиль в седле (Ду I00 мм и выше);

3 - щелевой профиль в седле и шибере (Ду I00 мм и выше);

4 - общая усредненная зависимость.

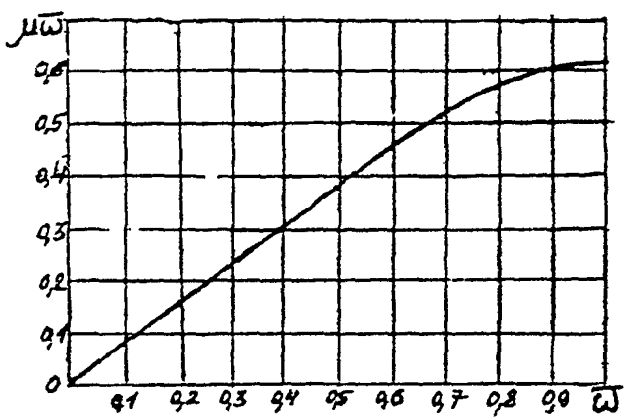
Черт.I4

Усредненная зависимость эффективной площади регулируемого проходного сечения от степени его открытия для поворотно-золотниковых РО конструкции НО ТКЗ.



Черт.15

Усредненная зависимость эффективной площади регулируемого проходного сечения от степени его открытия для поворотно-золотниковых РО конструкции БКЗ



Черт.16

ПРИЛОЖЕНИЕ II

Рекомендуемое

Графические методы преобразования экспериментальной расходной характеристики РО

I. Перепрофилировка регулируемого проходного сечения РО /черт.I/.

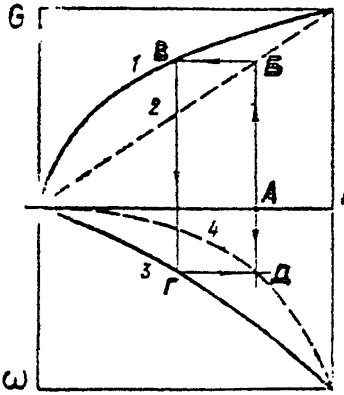
В качестве исходных кривых должны быть заданы: фактическая /экспериментальная/ расходная характеристика /I/, требуемая /оптимальная/ расходная характеристика /2/ и фактическая конструктивная характеристика РО /3/. Искомой является требуемая конструктивная характеристика /4/, обеспечивающая реализацию оптимальной расходной.

Искомую характеристику строят по точкам. Каждую точку находят в следующей последовательности: через точку А, соответствующую данному значению хода h_i проводят вертикальную прямую до пересечения с линией 2. Из точки пересечения Б проводят горизонтальную прямую до пересечения с кривой I. Из точки пересечения В проводят вертикальную прямую до пересечения с кривой 3 в точке Г. Проводя из точки Г горизонтальную прямую до пересечения с вертикалью, проходящей через точку А, получают точку Д искомой конструктивной характеристики. Повторяя аналогичное построение для точек, соответствующих другим значениям хода h, получают искомую конструктивную характеристику РО.

2. Определение характеристики сочленения РО с исполнительным механизмом, /черт.2/.

В качестве исходных графических зависимостей должны быть заданы: фактическая /экспериментальная/расходная характеристика /I/ и требуемая /оптимальная/ расходная характеристика /2/ в функции угла поворота $\alpha_{им}$ исполнительного механизма. Искомой является характеристика сочленения $h = f(\alpha_{им})$ исполнительного механизма с РО.

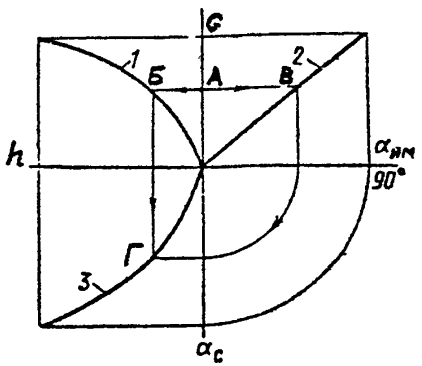
Преобразование расходной характеристики РО



I – фактическая расходная характеристика; 2 – требуемая характеристика; 3 – фактическая конструктивная характеристика; 4 – конструктивная характеристика, соответствующая требуемой расходной.

Черт. I.

Преобразование расходной характеристики РО характеристикой сочленения



I – расходная характеристика РО; 2 – требуемая расходная характеристика; 3 – характеристика сочленения.

Черт. 2.

Искомую характеристику строят по точкам, которые определяют следующим образом. Через точку А, соответствующую определенному значению расхода G ,проводят горизонтальную прямую до пересечения с кривой I /точка Б/ и линией 2 /точка В/. Из точки Б проводят вертикальную прямую, на которую сносят значения угла $\alpha_{ин}$, соответствующее точке В. Таким образом получают точку Г искомой характеристики сочленения /кривая 3/. Аналогичным построением находят другие точки искомой характеристики сочленения.

ПРИЛОЖЕНИЕ I2

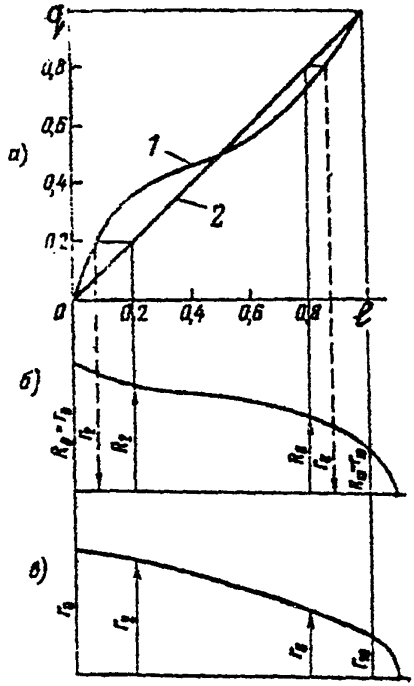
Справочное

Примеры преобразования расходных и конструктивных характеристик РО

I. По фактической расходной характеристике односедельного игольчатого клапана произвести его перепрофилировку с целью обеспечения требуемой линейной расходной характеристики /см.черт.I/.

В относительных или абсолютных координатах строим графики фактической и требуемой расходных характеристик. Рабочий ход плунжера ℓ разбиваем на I0 частей, кратных величине хода. Под графиком строим рабочую часть исходного профиля игольчатого плунжера. Еще ниже располагаем искомый профиль с предварительно нанесенной осью симметрии. На оси абсцисс откладываем отрезок ℓ с делениями в выбранном масштабе. Через точки деления проводим вертикальные линии, пересекающие требуемую расходную характеристику и исходный профиль. Радиусы R, соответствующие точкам деления, последовательно нумеруем. Как видно из графика и расходных характеристик, начальный и конечный радиусы исходного плунжера /R_0, R_{10}/ должны быть равны соответственно начальному и конечному радиусам /r_0, r_{10}/ профилируемого плунжера. Для определения остальных радиусов искомого профиля делаем следующие графические построения. Через точки пересечения вертикальных линий с требуемой расходной характеристикой 2 проводим горизонтали, дающие новые точки пересечения с фактической характеристикой I. Радиусы профилируемого плунжера r соответствуют радиусам исходного профиля, полученным при пересечении с ним вертикальных линий /показаны штриховой линией/, которые опускаются из точек на фактической характеристике I. Полученный профиль представляет собой огибающую концов найденных построением радиусов r, перенесенных в известном порядке с исходного профиля. Конструктивная характеристика профилированного клапана

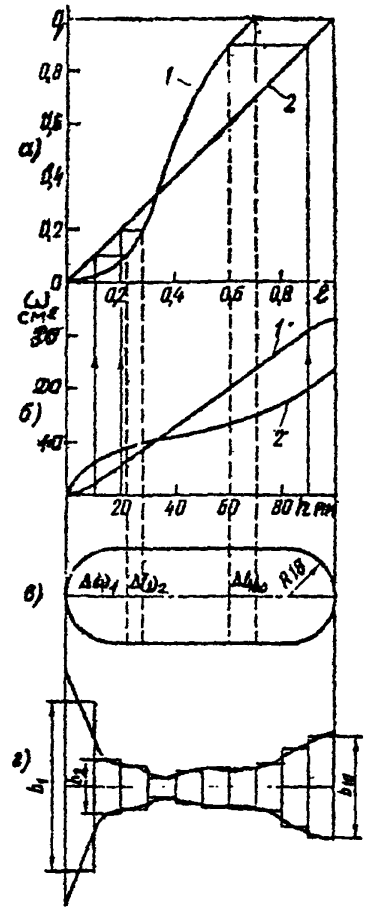
Преобразование расходной характеристики и перепрофилировка односедельного РО с игольчатым плунжером



а – фактическая (I) и требуемая (2) расходные характеристики; б – исходный профиль; в – полученный профиль.

Черт.1

Преобразование расходной характеристики и перепрофилировка шиберного клапана



а – фактическая (I) и требуемая (2) расходные характеристики; б– фактическая (I) и соответствующая требуемой (2) конструктивные характеристики; в – исходный профиль; 2 – полученный профиль.

Черт.2

легко находится построением.

2. Произвести преобразование расходной характеристики и перепрофилировку регулируемого проходного сечения шиберного клапана /см.черт.2/.

Реализацию требуемой линейной расходной характеристики производим следующим образом. Проходное сечение в исходном виде представляет собой прямую щель с закругленными концами. Как видно, начальные площади окон ω_0 равны нулю. Вертикальные линии, опущенные из точек на фактической характеристике I /штриховые линии/, отсекают на исходном окне площади $\Delta\omega_1$, $\Delta\omega_2$, $\Delta\omega_3$ и т.д., соответствующие приращению хода клапана $\Delta l = 0{,}1$. Значения $\Delta\omega$ можно вычислить, используя размеры окна, или в случае сложной формы окна установить по перестроенной конетруктивной характеристике, гда

$$\Delta\omega_1 = \omega_1 \quad , \quad \Delta\omega_2 = \omega_2 - \omega_1 \quad , \quad \Delta\omega_3 = \omega_3 - \omega_2$$

и т.д. Далее профиль строят по методу прямоугольников: через середины выступов прямоугольников проводят плавную привую, дающую исковый профиль. Ширина окна в интервале $0{,}1 \cdot h$ равна $b = \Delta\omega / 0{,}1 \cdot h$.

ПРИЛОЖЕНИЕ I3

Справочное

РАСЧЕТЫ ТИПОВЫХ РО АЭС И ТЭС

I. Расчет пропускной характеристики регулирующего клапана на линии вывода теплоносителя в режимах пуска и останова энергетического блока АЭС

I.I. Исходные данные:

среда.....вода

постоянный номинальный расход $G_{ном}$, кг/ч.....60.10^3

давление перед РО P_1, МПа.....0,6÷I2,5

перепад давления на РО $\Delta P_{ро}$, МПа.....0,2÷8,8

температура среды t_1, °С.....55

плотность среды ρ, кг/м³.....988

давление насыщения Рнас, МПа.....0,0I57

условный диаметр трубопровода Ду, мм.....I00

I.2. По рекомендуемому приложению 5 определяем коэффициент запаса по расходу η =I,I и по формуле /I/ подсчитываем максимальный расход через РО:

$$G_{max} = I,I.60.10^3 = 66.10^3 \text{ кг/ч}$$

I.3. По формуле /I0/ РТМ рассчитываем диаметр входного патрубка РО:

$$d_y' = \sqrt{\frac{353.66.10^3}{988.5}} = 68,7 \text{ мм}$$

Согласно п.2.2.5 РТМ принимаем скорость воды во входном патрубке 5 м/с. По ГОСТ 355-67 определяем условный проход РО d_y =65 мм.

I.4. Для расчета выбираем клетковый тип РО. Значения Кс и K_{m} берем из табл.I справочного приложения 3.

I.5. При минимальном перепаде давления на РО $\Delta P_{РО_{min}} = 0,2$МПа определяем по формуле /3/ РТМ давление P_2 на выходе из РО:

$$P_2 = 0,6 - 0,2 = 0,4 \text{ МПа}$$

Так как $P_2 > P_{нас}$, имеет место режим течения без испарения.

I.6. Согласно п.2.I.5.3 РТМ, определяем перепад давления, при котором возникает кавитация:

$$\Delta P_{кав} = 0,85\ /0,6-0,0157/ = 0,50 \text{ МПа}$$

Так как $\Delta P_{РО_{min}} < \Delta P_{кав}$, то режим течения в РО докавитационный. Величина Кс = 0,85 выбрана при значении $\bar{K}_{\nu} \leq I,0$, поскольку максимальная пропускная способность соответствует минимальному перепаду давления на РО.

I.7. По формуле /4/ РТМ рассчитываем предварительное значение максимальной пропускной способности РО:

$$K'_{\nu\,max} = 10^{-2} \cdot 66.10^{3} \frac{I}{\sqrt{988.0,2}} = 46,4$$

I.8. Так как условные проходы РО и трубопроводы неодинаковы $(d_y \neq D_y)$, по формуле /I/ справочного приложения 7 определим значения поправочного коэффициента Кп, учитывающего влияние переходных патрубков на пропускную способность РО:

$$K_п = \left[I + \frac{0,50I}{0,00157} \cdot \left(\frac{46,4}{65^2} \right)^2 \right]^{-I/2} = 0,98I,$$

где значение суммарного коэффициента $\sum K = 0,50I$ определяем по формуле /7/ справочного приложения 7:

$$\sum K = 1{,}5 \cdot \left[1 - \left(\frac{65}{100} \right)^2 \right]^2 = 0{,}501$$

I.9. Определяем необходимую максимальную пропускную способнос: PO_y согласно п.2.I.5.9 РТМ

$$K_{y\,max} = \frac{46{,}4}{0{,}981} = 47{,}2$$

I.I0. При максимальном перепаде давления на РО $\Delta P_{PO\,max}$ = = 8,8 МПа определяем давление P_2 :

$$P_2 = 12{,}5 - 8{,}8 = 3{,}7 \text{ МПа}$$

Так как $P_2 > P_{нас}$ при $t_1 = 65^{\circ}C$, имеет место режим течения без испарения.

I.II. Определим перепад давления, при котором возникает кавитация:

$$\Delta P_{кав} = 0{,}67 \, /12{,}5 - 0{,}0157/ = 8{,}36 \text{ МПа}$$

Так как $\Delta P_{PO\,max} > \Delta P_{кав}$, то режим течения в РО кавитационный Величину Кс = 0,67 для клеткового РО выбираем предварительно по табл.I справочного приложения 3 при $\overline{K}_y$ = 0,I, поскольку минимальная пропускная способность соответствует максимальному перепаду давления на РО.

I.I2. Определяем по формуле/7/РТМ эффективный критический перепад давления

$$\Delta P_{кав.max} = 0{,}725/12{,}5-0{,}953.0{,}0157/ = 9{,}05 \text{ МПа}.$$

Коэффициент критического расхода К = 0,725 принимаем по той же таблице справочного приложения 3 при К = 0,I. Коэффициент рассчитываем по формуле /8/ РТМ:

$$\gamma = 0{,}98 - 0{,}28 \cdot \sqrt{\frac{0{,}0157}{22{,}115}} = 0{,}953$$

Так как $\Delta P_{po\,max} < \Delta P_{кав.\,max}$, в качестве расчетного значения принимаем $\Delta P_{po\,max}$.

1.13. Определим по формуле /4/ РТМ предварительное значение минимальной пропускной способности $K_{v\,min}$, подставив вместо $\Delta P_{po\,min}$ значение $\Delta P_{po\,max}$:

$$K'_{v\,min} = 10^{-2} \cdot 66 \cdot 10^{3} \cdot \frac{1}{\sqrt{988{,}8{,}8}} = 7{,}0$$

1.14. Принимаем $K_{v\,min} = K'_{v\,min} = 7{,}0$, так как при малых значениях K_v поправочный коэффициент $K_n \cong 1{,}0$.

1.15. Определим $\overline{K}_{v\,min}$

$$\overline{K}_{v\,min} = \frac{K_{v\,min}}{K_{v\,max}} = \frac{7{,}0}{47{,}2} = 0{,}15$$

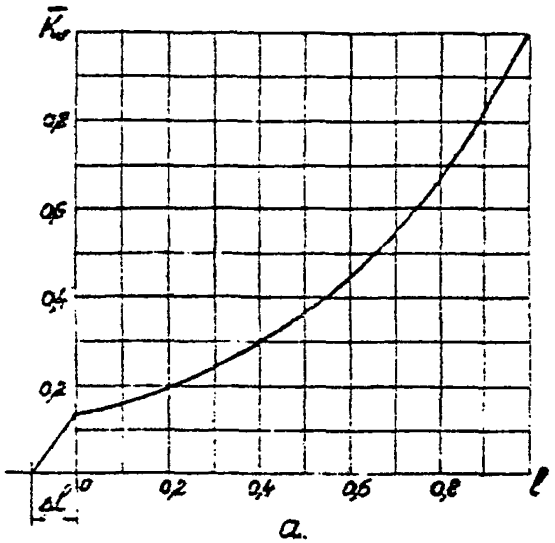
Так как при $\overline{K}_v = 0{,}15$ значение K_n превышает значение при $\overline{K}_v = 0{,}1$, пересчет $\Delta P_{кав.\,max}$ не требуется.

1.16. Согласно табл.2 справочного приложения 10 для рассматриваемого типового регулируемого участка оптимальной пропускной характеристикой является равнопроцентная характеристика, описываемая уравнением /39/ РТМ $\overline{K}_v = \left(\overline{K}_{v\,min}\right)^{1-l}$, где $l = 0 \div 1{,}0$ – ход в диапазоне регулирования.

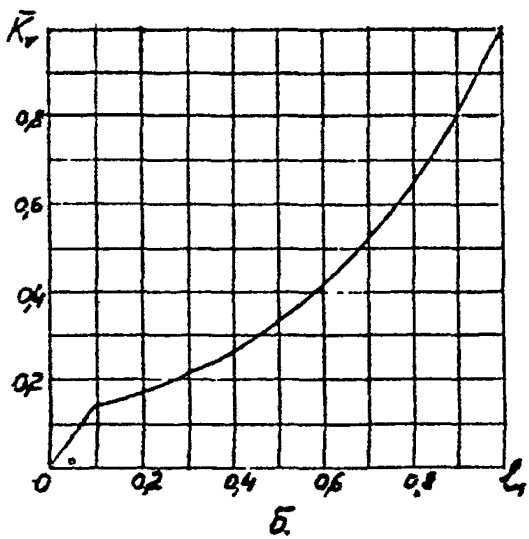
Начальную часть характеристики $0 \leq K_{\sigma} \leq K_{\sigma min}$ выполняем по крутой линейной зависимости на участке хода $\Delta\ell = 0{,}1$ /черт.1а/.

1.17. Для удобства дальнейших расчетов производим перестройку характеристики так, чтобы относительная величина рабочего хода ℓ_1 была равна единице. Новые значения абсцисс ℓ_1 точек пропускной характеристики пересчитываем по формуле /30/ РТМ. Перестроенная характеристика показана на черт.1б. Умножая величину $\overline{K}_{\sigma}$ на $K_{\sigma max}$ получаем пропускную характеристику в абсолютных значениях.

Пропускная равнопроцентная характеристика регулирующего клапана Ду 65 мм на линии Ду 100 мм вывода теплоносителя в режимах пуска и останова энергоблока АЭС



а.



б.

Черт.I

2. Расчет максимальной пропускной способности, максимальной площади регулируемого проходного сечения и выбор типоразмера клапана регулятора уровня в ПНД.

2.I. Исходные данные:

среда.....конденсат

номинальный расход G ном, кг/ч.....79.I0^3

давление перед РО P_1, МПа.....0,6

давление за РО P_2, МПа.....0,26

перепад давления на РО $\Delta P_{ро min}$, МПа.....0,34

температура перед РО t_1, °С.....I59

плотность среды ρ, кг/м^3.....908,3

условный проход трубопровода Ду, мм.....I00

2.2. Согласно п.2.I.4 РТМ определяем условное давление Ру = 2,5 МПа и по рекомендуемому приложению 4 выбираем поворотно-золотниковый тип РО.

2.3. При t_1=I59° определяем Рнас = 0,6 МПа, т.е. P_1=Рнас. Так как P_2< Рнас, имеет место режим течения с испарением.

2.4. По формуле /8/ п.2.I.5.4 РТМ определяем значение коэффициента γ:

$$\gamma = 0{,}96 - 0{,}28\sqrt{\frac{0{,}6}{22{,}II5}} = 0{,}9I4$$

2.5. По таблице I справочного приложения 3 определяем значение коэффициента критического расхода K_m = 0,77, соответствующее значению $\overline{K}_v$ = 0,9 /для $\overline{K}_v$ =I,0 значение K_m отсутствует/. Величину K_m выбираем применительно к поворотно-золотниковому двухпоточному клапану при направлении потока среды внутрь перегородки.

2.6. Рассчитываем значение $\Delta P_{кав.max}$ по формуле /7/ п.2.1.5.4. РТМ:

$$\Delta P_{кав.max} = 0,77/0,6-0,914.0,6/ = 0,040 \text{ МПа}$$

2.7. По рекомендуемому[5] определяем коэффициент запаса по расходу $\eta = 1,3$ и по формуле /1/ РТМ подсчитываем максимальный расход через РО:

$$G_{max} = 1,3 \cdot 70.10^3 = 91.10^3 \text{ кг/ч}$$

2.8. Определяем предварительные значения максимальной пропускной способности $K'_{v\,max}$ по формуле /9/ РТМ:

$$K'_{v\,max} = 10^{-2}.91.10^3 \frac{1}{\sqrt{908,8.0,04}} = 149,5$$

2.9. Из графика зависимости $\mu\bar{\omega} = f(\bar{\omega})$ /черт.16/ справочного приложения 10) определяем значение коэффициента расхода РО $\mu = 0,62$, соответствующее величине относительного открытия проходного сечения $\bar{\omega} = 1,0$.

2.10. Определяем необходимую максимальную площадь регулируемого проходного сечения ω_{max} по формуле /15/ РТМ:

$$\omega_{max} = \frac{149,5}{5,04.0,62} = 47,8 \text{ см}^2$$

2.11. Из каталога энергетической арматуры выбираем клапан регулирующий поворотный Ду 100 мм /Ру 25, $\omega^{ро}_{max} = 50$ см^2/. Значение максимальной пропускной способности РО согласно справочному приложению 2 равно

$$K^{ро}_{v\,max} = 5,04.0,62.50 = 156$$

Таким образом, $K^{ро}_{v\,max} > K'_{v\,max}$. Так как условные проходы РО и трубопровода одинаковы $(d_y = D_y)$, то значение $K'_{v\,max}$ принимается равным $K_{...}$ и выбор РО следует считать

законченным.

3. Расчет пропускной и конструктивной характеристик регулирующего клапана впрыска П основных режимов прямоточного паро генератора сверх критического давления.

3.1. Исходные данные:

схема расчетного участка.....черт.2

среда.....пит.вода

номинальный расход воды на впрыск /для одного потока/ $G_{ном.}$, кг/ч.....12.10^3

давление в начале расчетного участка трубопровода /давление питательной воды в месте отбора воды на впрыск/ P_0, МПа.....29,65

давление в конце расчетного участка трубопровода /давление пара в точке ввода впрыскиваемой воды/ Рк, МПа.26,1

разность уровней верхней и нижней отметок ΔH, м.....19

температура питательной воды t_1, °С.....265

давление насыщения Рнас, МПа.....5,1

плотность ρ, кг/м^3.....805

условный проход трубопровода Ду, мм.....50

внутренний диаметр трубопровода Д, мм.....0,045

коэффициент сопротивления трения λ,.....0,03

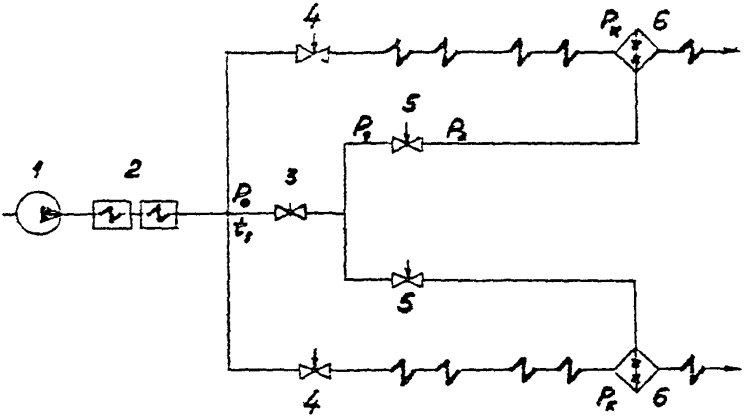
длина трубопровода L, м.....50

суммарный коэффициент местных сопротивлений $\Sigma\zeta$.....6

проходное сечение форсунки $\omega_ф$, см^2.....2,88

коэффициент расхода форсунки $\mu_ф$.....0,80

Схема включения регулирующего клапана впрыска (РКВ) основных режимов работы парогенератора



I- насос; 2- ПВД; 3- задвижка; 4- РПК;
5- РКВ; 6- линия впрыска; 7- впрыск

Черт.2

3.2. По рекомендуемому приложению 5 определяем коэффициент запаса по расходу $\eta = 2,0$ и по формуле /1/ РТМ подсчитываем максимальный расход воды на впрыск:

$$G_{max} = 2.12.10^3 = 24.10^3 \text{ кг/ч}$$

3.3. Определяем суммарные потери давления на расчетном участке трубопровода /располагаемый напор на тракте впрыска/

$$\Delta Pc = Po - Pk - 10^{-5}\Delta H \cdot \rho = 29,65 - 26,1 - 19.805.10^{-5} = 3,4 \text{ МПа}$$

Так как значение ΔPc постоянно, то $\overline{\Delta Pc} = 1,0$.

3.4. Определяем максимальную скорость воды в линии впрыска:

$$W_{max} = \frac{G_{max}}{2820 \cdot d^2 \cdot \rho} = \frac{24.10^3}{2820./0,045/^2.805} = 5,2 \text{ м/с}$$

3.5. Определяем потери давления в линии впрыска /без учета форсунки/ по формуле

$$\Delta P_{л.max} = \frac{\rho W_{max}^2}{2} \cdot \left(\frac{\lambda \cdot l}{d} + \Sigma\zeta\right) \cdot 10^{-6} =$$

$$= \frac{805.5,2^2}{2} \cdot /\frac{0,03.50}{0,045} + 6/.10^{-6} = 0,44 \text{ МПа}$$

3.6. Определяем потери давления в форсунке по преобразованной формуле /4/ РТМ:

$$\Delta P_{ф.max} = \frac{1}{\rho} /1,96.10^{-3} \cdot \frac{G_{max}}{\mu_ф \cdot \omega_ф}\Big)^2 = \frac{1}{805} /1,96.10^{-3} \frac{24.10^3}{0,8.2,88}\Big)^2$$

$$= 0,53 \text{ МПа}$$

3.7. Определяем потери давления в трубопроводе без РО /суммарное сопротивление линии и форсунки/:

$$\Delta P_{т.max} = \Delta P_{л.max} + \Delta P_{ф.max} = 0,44 + 0,53 = 0,97 \text{ МПа}$$

3.8. Определяем перепад давления на РО при максимальном расходе:

$$\Delta P_{ро\,min} = \Delta P_с - \Delta P_{т.max} = 3,4-0,97 = 2,43 \text{ МПа}$$

3.9. Согласно п.2.1.4. РТМ определяем условное давление Ру > 25МПа и по рекомендуемому приложению 4 выбираем шиберный тип РО. Условный проход РО принимаем равным условному проходу трубопровода ($d_у = D_у$).

3.10. Проверяем возможность возникновения кавитации:

$$\Delta P_{кав} = 0,63\ /29,6 - 5,1/ = 15,44 \text{ МПа}$$

Так как $\Delta P_{ро\,min} < \Delta P_{кав}$, то режим течения докавитационный. Значение Кс = 0,63 для шиберного типа РО принимаем по таблице 1 справочного приложения 3 при значении $\overline{K}_v = 1,0$.

3.11. Определяем необходимую максимальную пропускную способность РО по формуле /4/ РТМ:

$$K_{v\,max} = K'_{v\,max} = 10^{-2}.24.10^3.\frac{1}{\sqrt{805.2,43}} = 5,4$$

3.12. Из графика зависимости $\mu\bar{\omega} = f(\bar{\omega})$ /черт.1, 4 справочного приложения 10/ определяем значение коэффициента расхода РО шиберного типа $\mu = 0,95$, соответствующее величине относительного открытия $\bar{\omega} = 1,0$.

3.13. Определяем необходимую максимальную площадь регулируемого проходного сечения ω_{max} по формуле /15/ РТМ:

$$\omega_{max} = \frac{5,4}{5,04.0,95} = 1,15 \text{ см}^2$$

Согласно табл.1 справочного приложения 10 для рассматриваемого участка оптимальной расходной характеристикой является линейная характеристика.

3.I4. Для перехода к пропускной характеристике определим значение модуля гидравлической системы n по формуле /34/ РТМ:

$$n = \sqrt{\frac{0,97}{2,43}} = 0,63$$

3.I5. Пользуясь графиком черт.4 справочного приложения I0 или формулой /38/ РТМ, рассчитываем пропускную характеристику РО в виде зависимости $\bar{K}_v = f(\ell)$ и сводим расчетные данные в таблицу.

Абсолютные значения K_v получаем путем умножения значений $\bar{K}_v$ на $K_{v\,max} = 5,4$.

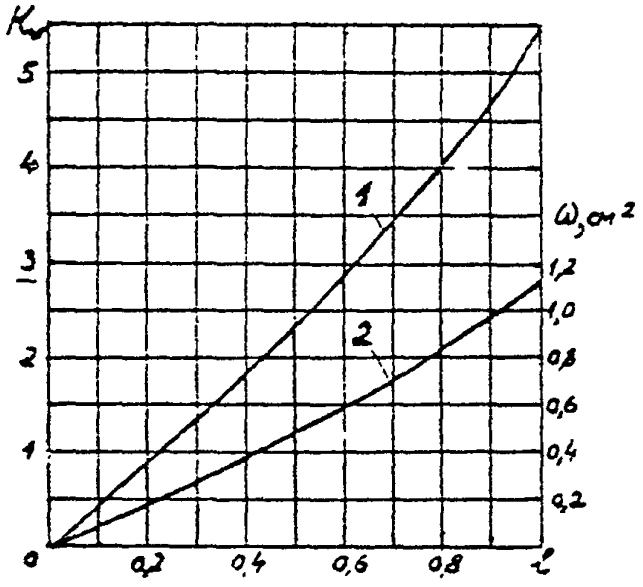
3.I6. По формуле /44/ РТМ рассчитываем значения $\mu\bar{\omega}$ при соответствующих значениях ℓ. Затем по графику вида $\mu\bar{\omega} = f(\bar{\omega})$ /черт.I4 справочного приложения I0/ определяем значения $\bar{\omega}$. Абсолютные значения ординат конструктивной характеристики получаем путем умножения значений $\bar{\omega}$ на $\omega_{max} = I,I5$ см^2.

I6. Результаты расчетов K_v и ω в функции ℓ сведены в таблицу I и представлены в графическом виде /черт.3/

Таблица I

Обозначение величины	Относительный ход ℓ									
	0,I	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	I,0
$\bar{K}_v$	0,08	0,I7	0,26	0,34	0,43	0,53	0,64	0,75	0,875	I,0
K_v	0,43	0,92	I,40	I,80	2,32	2,86	3,46	4,05	4,73	5,4
$\mu\bar{\omega}$	0,07	0,I5	0,23	0,30	0,38	0,47	0,57	0,67	0,78	0,89
$\bar{\omega}$	0,07	0,I5	0,24	0,32	0,40	0,50	0,60	0,70	0,82	I,0
ω	0,08	0,I7	0,275	0,37	0,46	0,575	0,69	0,805	0,94	I,I5

Пропускная и конструктивная характеристики клапана впрыска



1– пропускная характеристика $K_t = f(\ell)$;
2– конструктивная характеристика $\omega = f(\ell)$

Черт.3

4. Расчет пропускной и конструктивной характеристик регулирующего питательного клапана /РПК/ шиберного типа для энергоблока с барабанным котлом.

4.1. Исходные данные:

Схема пароводяного тракта.....черт.4

Среда.....питательная вода

Напорная характеристика насоса $P_o = f(G)$, МПа..... черт.5

Максимальный расход воды G_{max}, кг/ч.....500.10^3

Минимальный регулируемый расход воды G_{min} кг/ч.....25.10^3

Давление при G_{max} на напорном патрубке насоса $P_{o\,min}$, МПа.....19,25

Давление пара перед турбиной P_T, МПа.....13,0

Температура питательной воды t_1, °С.....230

Плотность воды ρ, кг/м^3.....827

Давление насыщения Рнас, МПа.....2,8

Условный проход РПК d_y, мм.....250

Условный проход трубопровода питательной линии Ду, мм.....250

Сопротивление элементов пароводяного тракта при максимальном расходе G_{max} :

питательной линии $\Delta P_{пл.max}$, МПа.....0,3

ПВД $\Delta P_{пвд.max}$, МПа.....1,05

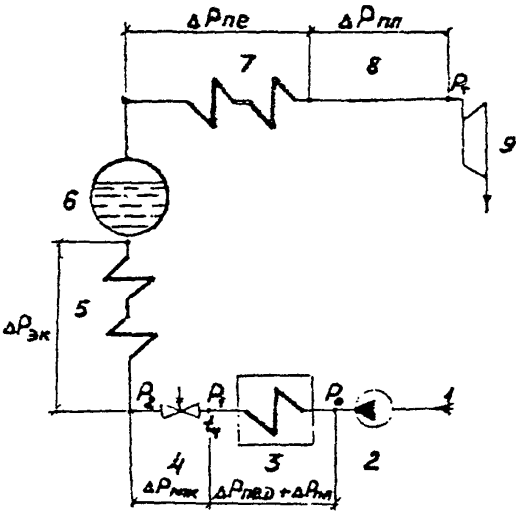
экономайзера $\Delta P_{эк}$, МПа.....0,8

пароперегревателя $\Delta P_{пе.max}$, МПа.....2,2

паропровода от котла до турбины $P_{пп.max}$, МПа.....1,0

4.2. Согласно табл.1 справочного приложения 10, линейная расходная характеристика является оптимальной для РПК барабанных

Схема пароводяного тракта для расчета РПК



I- питательная вода; 2- насос; 3- ПВД; 4- РПК; 5- водяной экономайзер; 6- барабан котла; 7- пароперегреватель; 8- главный паропровод; 9- турбина

Черт.4

котлов. Принимаем расходную характеристику согласно уравнению $q = \ell$. Значения q и ℓ при различных расходах G вносим в таблицу.

4.3. Определяем значения перепада давления на РПК при различных нагрузках котла: $\Delta P_{ро} = P_I - P_2$,

где $P_I = P_0 - \Delta P_I$ и $\Delta P_I = \Delta P_{пвд} + \Delta P_{пл}$;

$P_2 = P_T + \Delta P_2$ и $\Delta P_2 = \Delta P_{эк} + \Delta P_{пе} + \Delta P_{пл}$.

Сопротивления элементов пароводяного тракта даны при максимальном расходе. Для пересчета их значений при других нагрузках используем квадратичную зависимость

$$\Delta P_i = \left(\frac{G_i}{G_{max}}\right)^2 \cdot \Delta P_{G_{max}}$$

Рассчитанные по приведенным формулам значения сопротивлений пароводяного тракта, а также P_I, P_2 и $\Delta P_{ро}$ в функции расхода воды через РПК даны в табл.2 и показаны на черт.5.

4.4. Определяем режим течения через РПК при максимальном расходе $G_{max} = 500.10^3$ кг/ч, которому соответствует минимальный перепад давления на РПК $\Delta P_{ро\,min} = 0{,}9$ МПа /см.таблицу/.

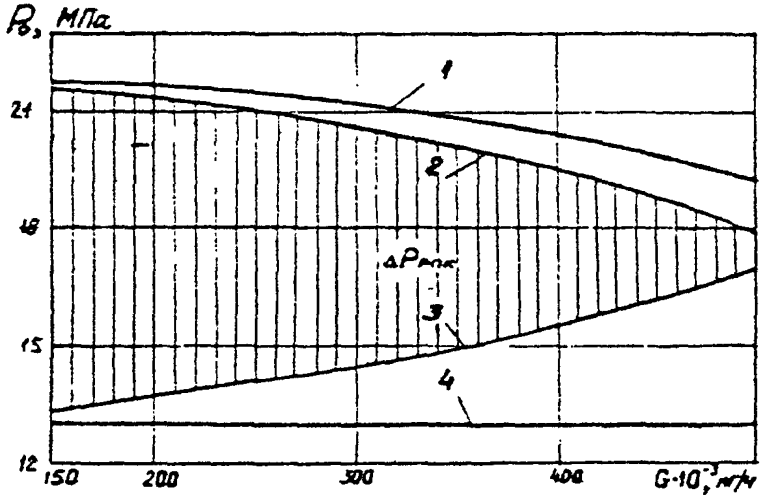
Рассчитываем по формуле /6/ РТМ перепад давления $\Delta P_{кав}$, при котором возникает кавитация:

$\Delta P_{кав} = 0{,}63\ /17{,}9 - 2{,}8/ = 9{,}5$ МПа.

Величину $K_c = 0{,}63$ определяем по табл.1 справочного приложения 3 для шиберного типа клапана при $\overline{K}_v = 1{,}0$. Так как

$\Delta P_{ро\,min} < \Delta P_{кав}$, имеет место докавитационный режим течения.

График изменения перепада давления на РПК в зависимости от нагрузки блока с барабанным котлом



I – напорная характеристика насоса $P_0 = f(G)$;
2 – изменение давления P_1 перед РПК;
3 – изменение давления P_2 за РПК;
4 – давление перед турбиной $P_т$

Черт.5

4.5. Определяем по формуле /4/ РТМ необходимую максимальную пропускную способность РПК /при d_y=Ду Кп = I,0/:

$$K_{v\,max} = I0^{-2}.500.I0^{3}\frac{I}{\sqrt{827.0,9}} = I8I,3$$

4.6. Определяем режим течения через РПК при минимальном расходе G_{min} =25.$I0^3$ кг/ч, которому соответствует максимальный перепад давления на РПК Δ Рро$_{max}$ =8,79 МПа /см.таблицу/. Рассчитываем значение ΔРкав:

$$\Delta Ркав = 0,82/2I,8 - 2,8/ = I5,58 \text{ МПа}.$$

Величину Кс = 0,82 принимаем при значении $\bar{K}_v$ = 0,I.

Так как $\Delta P_{Po\,max} < \Delta$ Ркав, имеет место докавитационный режим течения во всем диапазоне изменения расхода воды через РПК.

4.7. Производим расчет пропускной характеристики РПК, который может быть выполнен в двух вариантах.

Вариант I

Определяем значения K_v при различных значениях расхода воды G, подставляя в формулу /4/ РТМ соответствующие значения G и ΔРро /см.таблицу/. Строим пропускную характеристику в виде зависимости $K_v = f(l)$.

Вариант 2

Определяем потери давления в гидравлической системе Δ Рс = Ро - Рт при различных расходах воды G, а также относительные значения $\overline{\Delta Pc} = \Delta Pc/\Delta P_c^{\circ}$, где ΔP_c° - потери давления в системе при максимальном расходе G_{max}. Результаты расчета сводим в таблицу.

Определяем модуль гидравлической системы по формуле /34/ РТМ

$$n = \sqrt{\frac{\Delta P_c^o - \Delta P_{po\ min}}{\Delta P_{po\ min}}} = \sqrt{\frac{6,25-0,9}{0,9}} = 2,44$$

По формуле /37/ РТМ рассчитываем пропускную характеристику $\bar{K}_v = f(\ell)$, реализующую требуемую линейную расходную. Умножая значения $\bar{K}_v$ на величину $K_{v\,max} = I8I,3$, получим пропускную характеристику в виде функции $K_v = f(\ell)$, представленную на черт.6.

4.8. По формуле /I5/ РТМ определяем максимальную площадь регулируемого проходного сечения ω_{max}:

$$\omega_{max} = \frac{I8I,3}{5,04 \cdot 0,95} = 40\ см^2$$

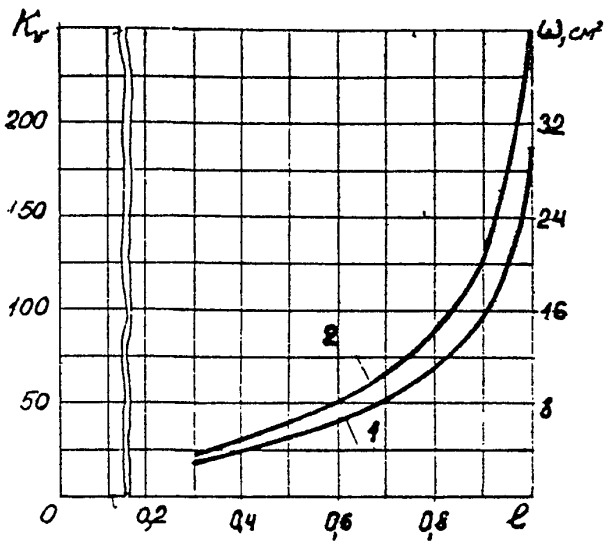
Коэффициент расхода $\mu = 0,95$ определяем по графику зависимости $\mu\bar{\omega} = f(\bar{\omega})$ для РО шиберного типа /черт.I4 справочного приложения I0/ при $\bar{\omega} = I,0$.

4.9. Определяем по формуле /44/ РТМ значения $\mu\bar{\omega}$ для каждого значения K_v. По графику черт.I4 справочного приложения I0 находим значения $\bar{\omega}$. Умножая их на величину $\omega_{max} = 40\ см^2$, получаем значения ω в функции ℓ /см.таблицу/. Конструктивная характеристика показана на черт.6.

Таблица 2

Наименование величины	Обозначение	Расход питательной воды через РПК $G \times 10^{-3}$, кг/ч										
		500	450	400	350	300	250	200	I50	I00	50	25
Относительный расход	q	I,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,I	0,05
Относительный ход	ℓ	I,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,I	0,05
Давление на напорном патрубке насоса	Ро	I9,25	I9,9	20,5	20,8	2I,I	2I,5	2I,6	2I,7	2I,8	2I,8	2I,8
Давление пара перед турбиной	P_I	I3,0										
Сопротивление ПВД	ΔРпвд	I,05	0,85	0,67	0,5I	0,38	0,26	0,I7	0,09	0,042	0,0I05	0,0026
Сопротивление питательной линии	ΔРпл	0,3	0,24	0,I9	0,I5	0,I	0,07	0,05	0,03	0,I2	0,003	0,00075
Сопротивление экономайзера	ΔРэк	0,8	0,65	0,5	0,39	0,29	0,2	0,I3	0,07	0,032	0,008	0,002
Сопротивление пароперегревателя	$\Delta P_{пе}$	2,2	I,8	I,4	I,I	0,8	0,55	0,35	0,2	0,088	0,022	0,0055
Сопротивление паропровода от котла до турбины	ΔРпп	I,0	0,8	0,64	0,5	0,36	0,25	0,I6	0,09	0,04	0,0I	0,0025
Давление перед РПК	P_I	I7,9	I8,8	I9,63	20,I4	20,6	2I,I6	2I,38	2I,58	2I,64	2I,79	2I,80
Давление после РПК	P_2	I7,0	I6,24	I5,56	I4,96	I4,44	I4,0	I3,64	I3,36	I3,I6	I3,04	I3,0I
Перепад давления на РО	ΔРро	0,9	2,56	4,07	5,I8	6,I7	7,I6	7,74	8,22	8,48	8,75	8,79
Перепад давления в системе	ΔРс	6,25	6,9	7,5	7,8	8,I	8,5	8,6	8,7	8,8	8,8	8,8
Относительный перепад давления в системе	$\overline{\Delta Pc}$	I,0	I,I04	I,2	I,248	I,296	I,36	I,376	I,392	I,408	I,408	I,408
Относительная пропускная способность РО	$\overline{K}_v$	I	0,533	0,376	0,292	0,229	0,I77	0,I36	0,099	0,065	0,032	0,0I6
Пропускная способность РО	K_v	I8I,3	96,6	68,2	52,9	4I,5	32,I	24,7	I8	II,78	5,80	2,90
Эффективное относительное проходное сечение	$\mu\overline{\omega}$	0,95	0,48	0,34	0,26	0,206	0,I6	0,I22	0,09	0,058	0,029	0,0I4
Относительная величина проходного сечения	$\overline{\omega}$	I	0,5	0,36	0,27	0,2I	0,I6	0,I2	0,09	0,058	0,029	0,0I4
Площадь регулируемого проходного сечения	ω	40	20	I4,4	I0,8	8,4	6,4	4,8	3,6	2,34	I,I5	0,575

Пропускная и конструктивная характеристики шиберного РПК Ду 250 для энергоблока с барабанным котлом



I – пропускная характеристика $K_v = f(\ell)$;
2 – конструктивная характеристика $\omega = f(\ell)$.

Черт.6

5. Расчет пропускной и конструктивной характеристик регулирующего питательного клапана /РПК/ шиберного типа для энергоблока с прямоточным котлом.

5.I. Исходные данные:

схема пароводяного тракта.....черт.7

среда.....питательная вода

номинальный расход воды через котел с двумя потоками $G_к$ кг/ч.....$I000.I0^3$

максимальная разность расходов по потокам $\Delta G_к = 0{,}05 \cdot G_к$, кг/ч.....$50.I0^3$

перепад давления на РПК при номинальном расходе $G_1 = G_2 = 500.I0^3$ кг/ч и $\Delta G_к = 0$ /клапан полностью открыт/ $\Delta P_{рпк\,1\,min}$, МПа.....0,5

сопротивление при расходе $G_1 = 500.I0$ кг/ч и $\Delta G_к = 0$ тракта первого потока /без РПК/ $\Delta P_{1ном}$, МПа.....6,9

максимальная разность сопротивлений трактов первого и второго потоков /без РПК/ $\Delta P_{Iном} - \Delta P_{2ном}$, МПа.....0,5

температура воды перед РПК t_1, °С.....265

плотность воды ρ, кг/м^3.....806,4

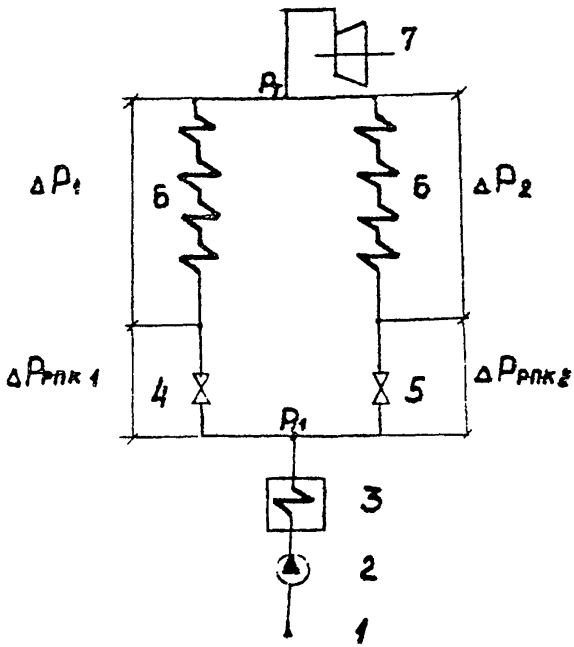
давление насыщения Рнас, МПа.....5,9

давление перед турбиной Рт, МПа.....24

5.2. Согласно табл.I справочного приложения I0 оптимальной расходной характеристикой РПК прямоточных котлов является линейная расходная характеристика. В качестве расходной характеристики принимаем зависимость разности расходов по ниткам от хода РПК $\Delta G_к = f(l)$. Значение перекоса по расходу при полном открытии обоих РПК $\Delta G_к = -I6{,}8.I0^3$ кг/ч определяем из уравнения

$$\left(\Delta P_{1ном} + \Delta P_{рпк\,min}\right)\left(G_{ном} + \frac{\Delta G_к}{2}\right) = \left(\Delta P_{2ном} + \Delta P_{рпк\,min}\right)\cdot\left(G_{ном} - \frac{\Delta G_к}{2}\right)$$

Схема двухпоточного парогенератора сверхкритического давления для расчета РПК.



1 - питательная вода; 2 - насос; 3 - ПВД; 4 - РПК 1; 5 - РПК 2; 6 - водопаровой тракт парогенератора; 7 - турбина.

Черт.7

Для регулирования используем величину хода $\Delta\ell$=0,85 в диапазоне от I,0 до 0,65 /черт.8/. Значения $\Delta G_к$ и ℓ при различных значениях разности расходов по ниткам вносим в табл.3.

5.3. Расход воды по трактам при отсутствии перекоса по расходам $(\Delta G_к=0)$ равно

$$G_{1ном}=G_{2ном}=G_к/2=500.10^3 \text{ кг/ч}$$

5.4. Значения расходов воды по каждому тракту с учетом перекоса по расходу $\Delta G_к = G_1-G_2$ определяем по формулам

$$G_1=G_{1ном}+\Delta G_к/2 = 500.10^3+\Delta G_к/2$$

и $$G_2=G_{2ном}-\Delta G_к/2 = 500.10^3-\Delta G_к/2$$

Результаты вносим в таблицу 3.

5.5. Определим перепады давления по трактам, используя квадратичные зависимости вида

$$\Delta P_I=\Delta P_{Iном}\cdot\left(G_1/G_{1ном}\right)^2 = 6,9\cdot\left(G_1/500.10^3\right)^2$$

и $$\Delta P_2=\Delta P_{2ном}\cdot\left(G_2/G_{2ном}\right)^2 = 6,4\cdot\left(G_2/500.10^3\right)^2,$$

где $\Delta P_{2ном}=\Delta P_{Iном}-0,5=6,9-0,5=6,4$ МПа

Результаты вносим в таблицу 3.

5.6. Определим перепады давления на каждом РПК при различных расходах с учетом перекоса. Перепады давления на РПКI рассчитаем по формуле

$$\Delta P_{рпкI}=\Delta P_{рпкI\,min}\cdot\left(G_1/G_{1\,min}\right)^2$$

Таблица 3

Наименование величины	Обозначение	Разность расходов по трактам $\Delta G_к \times 10^{-3}$, кг/ч								
		0	5	I5	25	35	50	-5	-I5	-I6,8
Относительный ход шибера	ℓ	0,9I	0,88	0,83	0,78	0,73	0,65	0,96	0,985	I,00
Расход по тракту первого потока	Q_1	500	502,5	507,5	5I2,5	5I7,5	525	497,5	492,5	49I,6
Расход по тракту второго потока	G_2	500	497,5	492,5	487,5	482,5	475	502,5	507,5	508,4
Перепад давления по тракту первого потока	ΔP_I	6,9	6,95	7,I	7,25	7,4	7,6	6,8	6,7	6,66
Перепад давления по тракту второго ~~котла~~ потока	$\Delta P2$	6,4	6,35	6,2	6,I	5,95	5,8	6,45	6,6	6,62
Перепад давления на РПКI	$\Delta P_{рпкI}$	0,5	0,505	0,5I5	0,52	0,535	0,55	0,495	0,485	0,483
Перепад давления на РПК2	Δ Рпк2	I,0	I,I5	I,4	I,7	I,95	2,40	0,86	0,585	0,523
Пропускная способность РО	K_v	I74,3	I62,4	I44,4	II2,I	95,2	77,5	I90,8	233,6	249,
Эффективное относительное проходное сечение	$\mu\bar{\omega}$	0,665	0,6I9	0,55	0,427	0,36	0,295	0,728	0,89	0,95
Относительная величина проходного сечения	$\bar{\omega}$	0,70	0,65	0,58	0,45	0,38	0,3I	0,77	0,94	I,00
Площадь регулируемого проходного сечения	ω	36,4	33,8	30,2	23,4	I9,8	I6,I	40,0	48,9	52,0

Перепад давления на РПК2 определяем из условия равенства перепадов давления по трактам с учетом РПК:

$$\Delta P_I + \Delta P_{РПК1} = \Delta P_2 + \Delta P_{РПК2},$$

откуда $\Delta P_{РПК2} = \Delta P_{РПК1} + (\Delta P_I - \Delta P_2)$. В частности, при $\Delta G_к = 0$ $\Delta P_{РПК2} = 0,5 + 0,5 = I,0$ МПа.

Результаты вносим в табл.3.

5.7. Определим по формуле /6/ РТМ режим течения при максимальном перепаде давления на РПК2 $\Delta P_{РПК2\,max} = 2,36$ МПа, соответствующем расходу через него $G_ж = 475.I0^3$ кг/ч:

$$\Delta P_{кав} = 0,80\ /32,2 - 5,I9/ = 2I,6 \text{ МПа}$$

Величину коэффициента Кс = 0,80 находим по табл.I справочного приложения 3 для РО шиберного типа при значении $\overline{K}_v = 0,3$.

Давление P_I перед РПК определим по формуле

$$P_I = P_T + \Delta P_2 + \Delta P_{РПК2} = 24+5,8 + 2,4 = 32,2 \text{ МПа}$$

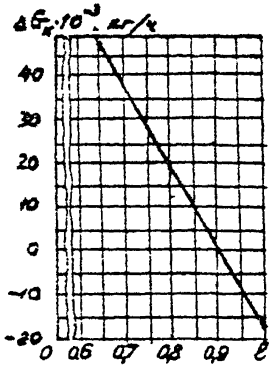
Так как $\Delta P_{РО\,max} \leq \Delta P_{кав}$, режим течения в РПК при всех значениях расхода докавитационный.

5.8. Определяем максимальную пропускную способность РПК по формуле /4/ РТМ при значении расхода, соответствующем ходу $\ell = I,0$

$$K_{v\,max} = I0^{-2}.500.I0^3 \frac{I}{\sqrt{806,4 \cdot 0,5}} = 249$$

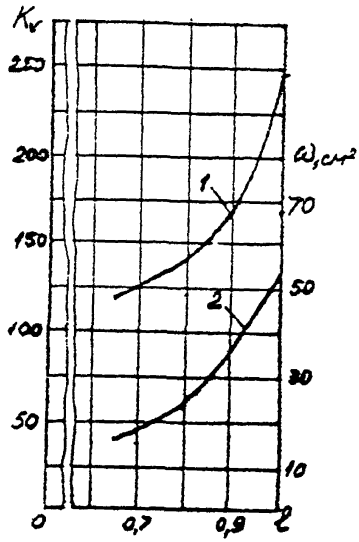
5.9. Аналогично определяем другие значения K_v пропускной характеристики РПК2, подставляя в формулу /4/ РТМ значения расхода $G_ж$ и перепада $\Delta P_{РПК2}$. Полученные значения сводим в таблицу и строим пропускную характеристику $K_v = f(\ell)$ /черт.9/.

Расходная характеристика РПК.



Черт.8

Пропускная и конструктивная характеристики РПК.



I- Пропускная характеристика $K_v = f(\ell)$; 2- конструктивная характеристика $\omega = f(\ell)$.

Черт.9

5.I0. Определяем необходимую максимальную площадь регулируемого проходного сечения ω_{max} по формуле /I5/ РТМ

$$\omega_{max} = \frac{249}{5,04 \cdot 0,95} = 52,0 \text{ см}^2$$

Значение коэффициента расхода μ =0,95 определяем из графика черт.I4 справочного приложения I0 при величине открытия $\bar{\omega}$ =I,0.

5.II. По формуле /44/ РТМ рассчитываем значения $\mu\bar{\omega}$ для соответствующих значений K_y и ℓ. Затем по графику вида $\mu\bar{\omega} = f(\bar{\omega})$/черт.I4 справочного приложения I0/ определяем значения $\bar{\omega}$. Умножая их на величину ω_{max}=52,0 см^2, получаем значения ординат конструктивной характеристики $\omega = f(\ell)$, представленной на черт.9. Результаты расчета $\bar{\omega}$ и ω внесены в табл.8.

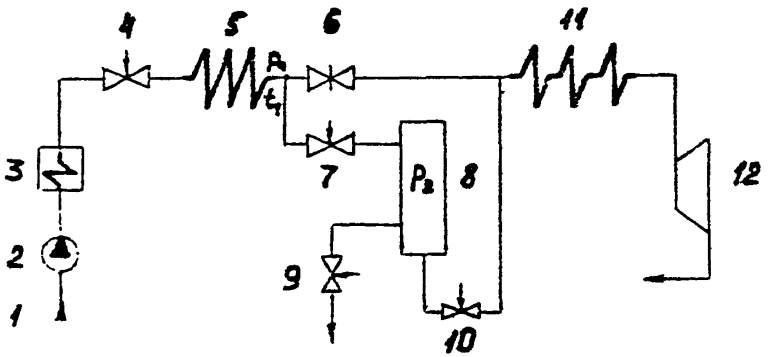
6. Расчет пропускной и конструктивной характеристик дроссельного регулирующего клапана Др-I шиберного типа для энергоблока с парогенератором сверхкритического давления.

6.I. Регулирующий дроссельный клапан Др-I установлен в тракте прямоточного парогенератора перед встроенным сепаратором Вс и используется в растопочном режиме при полностью закрытой встроенной задвижке ВЗ /см.схему водопарового тракта энергоблока на черт.I0/. Клапан Др-I является РО растопочного регулятора давления и предназначен для непосредственного поддержания данного сверхкритического давления P_I рабочей среды "до себя" в режиме пуска и нагружения энергоблока. В этом режиме происходит постепенное повышение температуры t_1 среды перед РО, вследствие чего уменьшается ее плотность, изменяется ~~[illegible]~~ режим течения через клапан.

Заданное значение расхода среды G через Др-I поддерживается за счет воздействия на производительность питательного насоса.

В клапане Др-I происходит дросселирование рабочей среды до давления P_2 в сепараторе ВС, в который в первый период растопки /в сепараторном растопочном режиме/ поступает пароводяная смесь. Отделяемая из нее вода сбрасывается в растопочный расширитель через клапан Др2, в пар поступает через клапаны Др3 в поверхности нагрева парогенератора, включенные после ВЗ, а затем в турбину, регулирующие клапаны которой в этот период /исключая самый конец его/ полностью открыты. Давление среды P_2 за Др-I возрастает по мере увеличения паросодержания смеси, поступающей в ВС, а следовательно, и увеличения расхода пара, проходящего через пароперегрева-

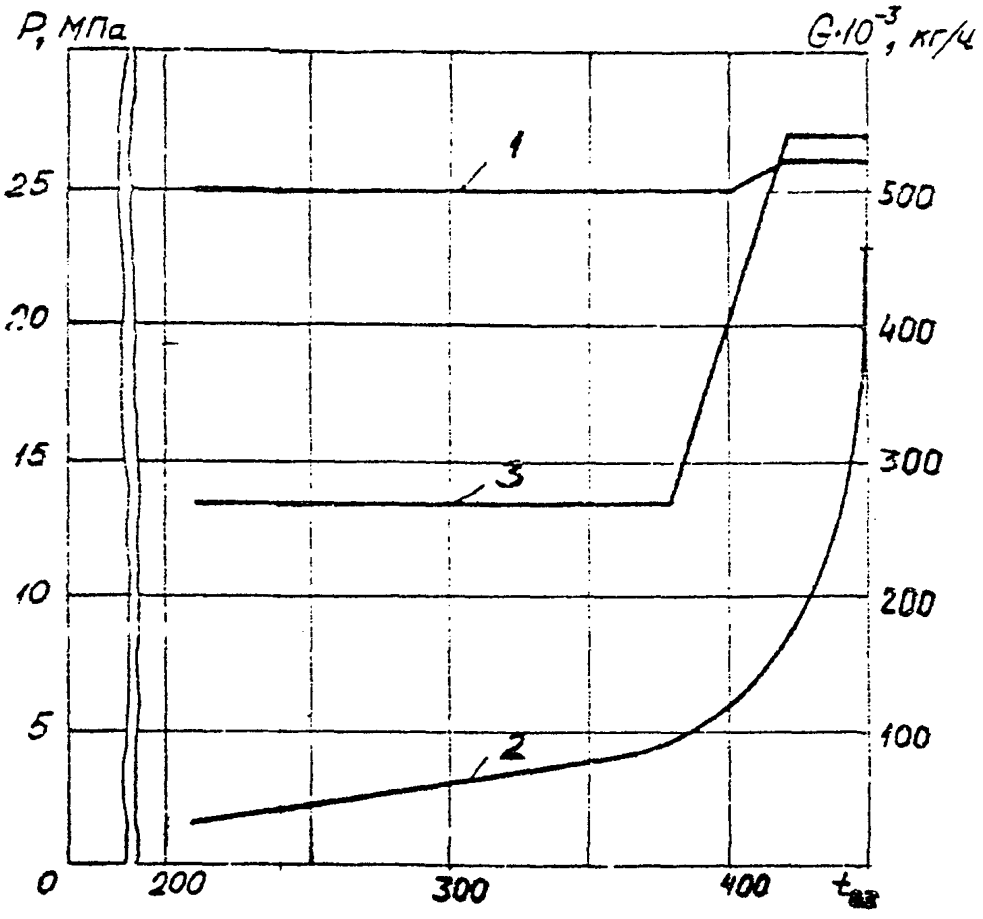
Схема парогенератора сверхкритического давления для расчета клапана Др - I.



I - питательная вода; 2 - насос; 3 - ПВД; 4 - РПК; 5 - поверхности нагрева парогенератора до ВЗ; 6 - встроенная задвижка (ВЗ); 7 - Др - I; 8 - встроенный сепаратор (ВС); 9 - ДР - 2; I0 - Др3; II - перегревательные поверхности нагрева; I2 - турбина.

Черт.I0

Зависимость P_I, P_2, G от температуры среды перед встроенной задвижкой $t_{ВЗ}$



I – давление среды P_I перед Др-I (перед ВЗ); 2 – давление среды P_2 после Др-I (в сепараторе); 3 – расход среды G.

Черт.II

тельные поверхности парогенератора и через турбину. В дальнейшем увеличение расхода пара определяется непосредственно увеличением расхода среды G .

6.2. Исходными данными для расчета являются значения следующих параметров регулируемой среды, изменяющихся в процессе работы Др-I в определенных пределах /см.табл.4/:

температура $t_{вз}$ перед Др-I /перед ВЗ/ - ведущий параметр, изменяющийся от 210 до 450°С:

давление P_I перед Др-I;

расход G ;

давление P_2 после Др-I .

На черт.11 указанные параметры представлены в функции температуры $t_{вз} = t_1$.

Численные значения указанных величин, приведенные в таблице, являются достаточно условными и используются для иллюстрации метода расчета.

6.3. Определяем значения перепада давления на Др-I при различных значениях $t_{вз}$:

$$\Delta P_{po} = P_I - P_2$$

6.4. Определяем для заданных значений $t_{вз}$ и P_I агрегатное состояние среды, а также значения плотности ρ для воды и удельного объема V_1 для пара.

6.5. Далее производим расчет значений $K_в$ и $K_{уд}$ раздельно для участков характеристик, соответствующих протеканию через Др-I воды и пара.

6.5.1. Расчет участка пропускной характеристики Др-I, соответствующего протеканию воды /см.табл.4/:

Таблица 4

Наименование величины	Обозначение	$t_{вх}$, °С													
		2I0	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	430	440	450
Давление среды перед РО	P_1	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	26	26
Агрегатное состояние, режим течения	-	Вода, критический режим								Пар Критический режим					докрити
Расход среды	G	270.I0³	270.I0³	270.I0³	270.I0³	270.I0³	270.I0³	270.I0³	270.I0³	270.I0³	270.I0³	540.I0³	540.I0³	540.I0³	540.I0³
Давление среды после РО	P_2	I,5	2,0	2,4	2,7	3,0	3,5	3,8	4,2	4,5	6,0	8,0	I0,0	I3,0	23
Перепад давления на РО	ΔP_{po}	23,5	23,0	22,6	22,3	22,00	2I,5	2I,2	20,8	20,5	I9,0	I8,0	I6,0	I3,0	3
Плотность	ρ	869,6	833,3	806,4	775,2	746,3	704,2	653,6	688,3	-	-	-	-	-	-
Удельный объем пара на входе в РО	v_1									0,00222	0,0060I	0,00699	0,00756	0,008I3	0,0086I
Абсолютное давление насыщенных паров жидкости	Рнас	I,9I	3,35	4,69	6,4	8,6	II,3	I4,6	I8,7	-	-	-	-	-	-
Коэффициент	τ	0,878	0,85I	0,83I	0,809	0,785	0,76	0,755	0,702	-	-	-	-	-	-
Эффективный критический перепад давления	$\Delta P_{kal.max}$	I7,3	I6,4	I5,6	I4,7	I3,5	I2,I5	I0,34	8,8I	-	-	-	-	-	-
Критический перепад давления	$\Delta P_{кр}$	-	-	-	-	-	-	-	-	I4,4	I4,4	I6,0	I5,0	I5,0	I5,0
Расчетный перепад давления	$\Delta P_{р}$	-	-	-	-	-	-	-	-	I4,4	I4,4	I5,0	I5,0	I3,0	0,5
Коэффициент расширения	γ	-	-	-	-	-	-	-	-	0,667	0,667	0,667	0,667	0,7II	0,933
Коэффициент Пропускная способность РО	K_v	2I,8	22,9	23,8	25,I	26,6	28,9	32,5	37,I	49,8	8I,9	I73,I	I80,0	I38,I	307
Эффективное относительное проходное сечение	$\mu\bar{\omega}$	0,067	0,0709	0,074	0,078	0,082	0,089	0,I	0,II5	0,I54	0,25	0,536	0,537	0,582	0,95
Относительная величина проходного сечения	$\bar{\omega}$	0,067	0,07I	0,074	0,078	0,082	0,089	0,I	0,II5	0,I54	0,26	0,56	0,58	0,6I	I,0
Площадь регулируемого проходного сечения	ω	4,29	4,55	4,74	5,0	5,26	5,7	6,4I	7,37	9,87	I6,7	35,9	37,2	39,I	64,I
Частная производная удельного объема по давлению при постоянной температуре	$\left(\frac{\partial v}{\partial A}\right)_t \cdot 10^9$									-I,95	-7,24	-5,73	-5,53	-5,42	-5,36
Коэффициенты усиления регулируемого участка	$\lvert K_{уч} \rvert$	2,I4	I,93	I,77	I,58	I,87	I,I3	0,86	0,64	0,9I4	0,I52	0,0959	0,0999	0,I0I9	0,0I8

6.5.I.I. Находим по таблицам термодинамических свойств воды и ее и водяного пара для каждого значения температуры $t_{вз}$ абсолютное давление насыщенного пара Рнас.

6.5.I.2. Определяем при каждом значении t_1 величину коэффициента ζ по формуле /8/ РТМ

6.5.I.3. Определяем по формуле /7/ РТМ значения эффективного критического перепада давления $\Delta Ркав.max$, приняв для шиберного клапана постоянное значение коэффициента критического расхода $K_{кр}$ =0,74.

6.5.I.4. Сравниваем значения $\Delta Рро$ с $\Delta Ркав.max$. Поскольку при всех значениях $t_{вз}$ $\Delta Рро >$ $\Delta Ркав.max$, режим течения воды через Др-I критический.

6.5.I.5. Определяем значения $K_{кр}$ по формуле /9/ РТМ, подставляя в нее значения расхода среды G, плотности ρ и перепада давления $\Delta Ркав.max$, соответствующие каждому значению $t_{вз}$.

6.5.I.6. Определяем значения коэффициента усиления регулируемого участка по формуле /2/ табл.2 справочного приложения I0, положив в ней $\partial K_{кр}/\partial \bar{K}_{кр}=0$ согласно допущению $K_{кр}=0,74=const$.

6.5.2. Расчет участка пропускной характеристики Др-I, соответствующего протеканию пара /см.таблицу 4/.

6.5.2.I. Определяем по формуле /2I/ РТМ значения критического перепада давления $\Delta Ркр$ при протекании перегретого пара.

6.5.2.2. Сравниваем $\Delta Рро$ с $\Delta Ркр$. При значениях $t_{вз}$ от 380 до 440°С $\Delta Рро > \Delta Ркр$ и, следовательно, режим течения критический. При $t_{вз}$ =450°С $\Delta Рро < \Delta Ркр$, т.е. режим течения докритический.

6.5.2.3. Определяем значения коэффициента расширения У: для докритического режима течения - по формуле /23/ РТМ, для критического режима У = 0,67.

6.5.2.4. Определяем по формуле /22/ РТМ значения K_{ν}.

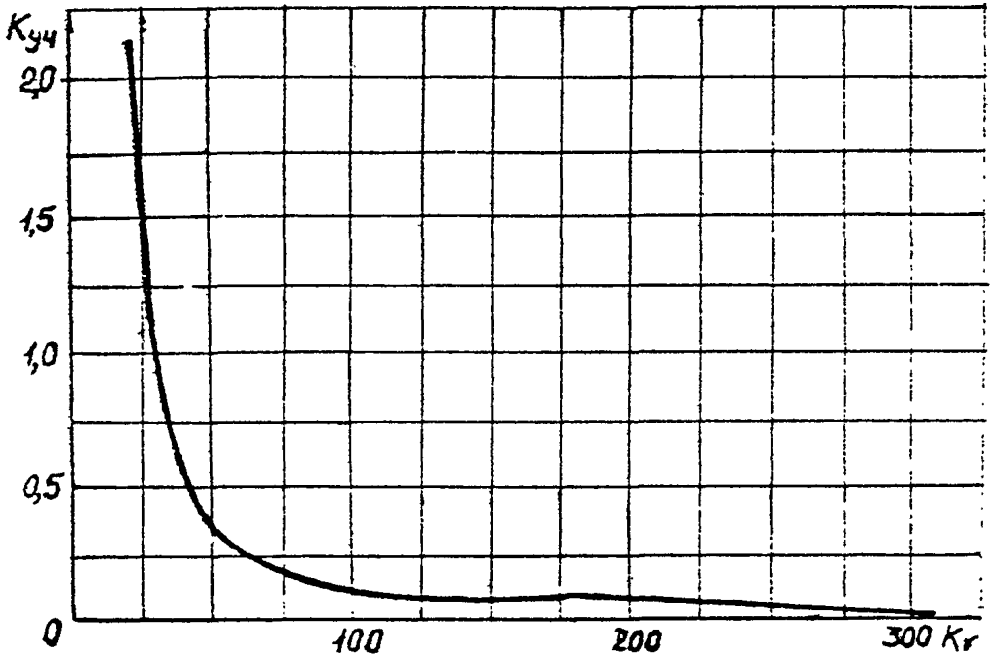
6.5.2.5. Рассчитываем с помощью таблиц термодинамических свойств воды и водяного пара значения частной производной $\partial v_1/\partial P_1$ удельного объема пара по давлению при постоянной температуре $t_{вз}$. Для этого находим значения v_1 при температуре $t_{вз}$ для ближайшего большего и ближайшего меньшего к P_I значений давления, определяем разность значений v_1 и относим ее к разности соответствующих им значений P_I. Производная $\partial v_1/\partial p_1$ является величиной отрицательной, так как с ростом давления удельный объем уменьшается.

6.5.2.6. Рассчитываем значения коэффициента усиления участка Куч по формуле /3/ табл.2 справочного приложения 10, полагая $\partial K_m/\partial \bar{K}_v = 0$ для критического режима и по формуле /4/ табл.2 справочного приложения 10 для докритического режима.

6.6. Строим статическую характеристику регулируемого участка $Куч = f(K_v)$, откладывая по оси абсцисс значения K_{ν}, а по оси ординат соответствующие им по таблице значения Куч /см.график черт.12/.

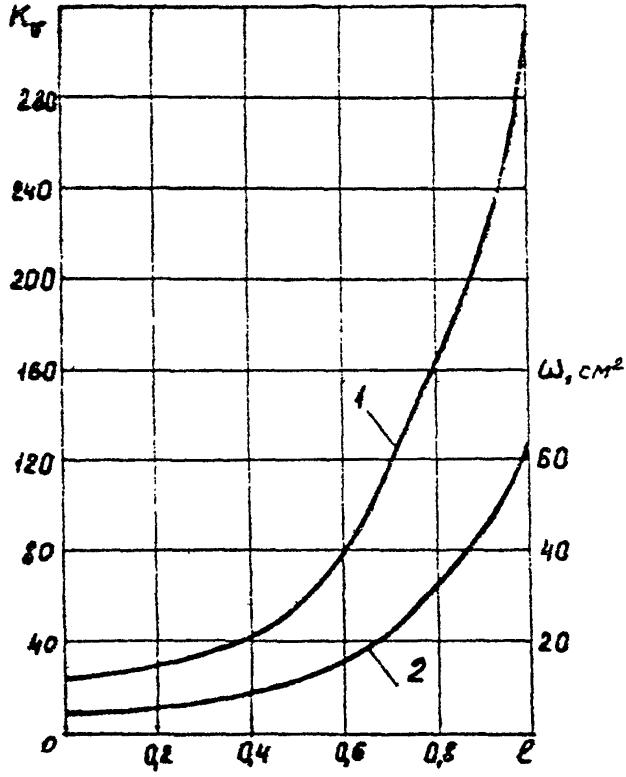
6.7. Определяем пропускную характеристику клапана Др-I на основании статической характеристики участка /см.черт.12/ при помощи выражений /40/ и /41/ РТМ. Интегралы, входящие в эти выражения, определяем графоаналитическим методом, который поясняется в справочном приложении 14. Найденная пропускная характеристика дана на черт.18.

Статическая характеристика
$K_{уч} = f(K_р)$ регулируемого
участка клапана Др-1.



Черт.12

Пропускная и конструктивная характеристики шиберного клапана Др - I



I - пропускная характеристика $K_v = f(\ell)$; 2 - конструктивная характеристика $\omega = f(\ell)$.

Черт.I3

6.8. Определяем максимальную плотность регулируемого проходного сечения ω_{max} по формуле /I5/ РТМ, принимая значение коэффициента расхода μ =0,95 из графика $\mu\bar{\omega} = f(\bar{\omega})$ для РО шиберного типа при $\bar{\omega}$ =I /см.черт.I4 справочного приложения I0/.

6.9. Определяем по формуле /44/ РТМ значения $\mu\bar{\omega}$ для каждого значения K_y /см.табл.4/.

6.I0. По найденным значениям $\mu\bar{\omega}$ определяем значения $\bar{\omega}$ с помощью графика $\mu\bar{\omega} = f(\bar{\omega})$ /черт.I4 справочного приложения I0/.

6.II. Определяем значения площади регулируемого проходного сечения $\omega = \omega_{max} \cdot \bar{\omega}$.

6.I2. Строим конструктивную характеристику клапана Др-I, откладывая каждое значение ω в качестве ординаты при значении относительного хода ℓ ,определяемого по пропускной характеристике для значения K_y , которому соответствует данное значение ω. Конструктивная характеристика клапана ДрI представлена на черт.I3.

ПРИЛОЖЕНИЕ I4

Справочное

Приближенное графическое интегрирование статической характеристики регулируемого участка $K_{уч} = f(q_i)$ или $K_{уч} = f(K_v)$

I. Разбивают отрезок оси абсцисс /см.чертеж/ от q_{min} до $q = I$ или от $K_{v\,min}$ до $K_{v\,max}$ на I0÷20 интервалов, нумеруют их по порядку слева направо и выписывают в таблицу значения q ($q_1, q_2, \dots q_i$ и т.д./ или K_v ($K_{v1}, K_{v2}, \dots K_{vi}$ и т.д., воответствующие концу каждого интервала. Длины интервалов целесообразно увеличивать по мере уменьшения абсолютного значения крутизны статической характеристики участка.

2. Определяют и вносят в таблицу длину каждого интервала

$\Delta q_1 = q_1 - q_{min}$, $\Delta q_2 = q_2 - q_1$, $\dots$ $\Delta q_i = q_i - q_{i-1}$ и т.д.

или соответственно $\Delta K_{v1} = K_{v1} - K_{v\,min}$; $\Delta K_{v2} = K_{v2} - K_{v1}$, ...

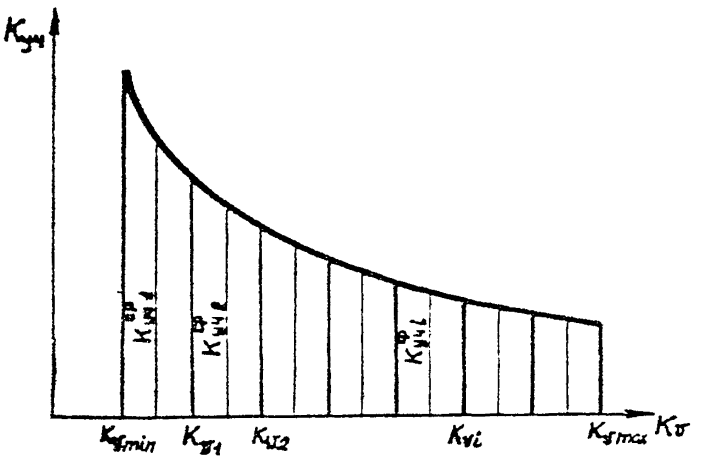
$\Delta K_{vi} = K_{vi} - K_{v(i-1)}$ и т.д.

3. Определяют и вносят в таблицу ординаты кривой $K_{уч} = f(q_i)$ или $K_{уч} = f(K_v)$, соответствующие середине каждого интервала разбиения: $K_{уч1}^{ср}$, $K_{уч2}^{ср}$, ... $K_{учi}^{ср}$ и т.д.

4. Подсчитывают по формуле для площади трапеции и вносят в таблицу значения "элементарных" площадей, ограниченных на каждом интервале Δq_i или ΔK_{vi} соответствующим отрезком статической характеристики и ординатами его крайних точек: $\Delta S_1 = K_{уч1}^{ср} \cdot \Delta q_1$, $\Delta S_2 = K_{уч2}^{ср} \cdot \Delta q_2$, ... $\Delta S_i = K_{учi}^{ср} \cdot \Delta q_i$ и т.д. или соответственно

$\Delta S_1 = K_{уч1}^{ср} \cdot \Delta K_{v1}$, $\Delta S_2 = K_{уч2}^{ср} \cdot \Delta K_{v2}$, ... $\Delta S_i = K_{учi}^{ср} \cdot \Delta K_{vi}$.

Пояснительный график.



Наименование величины	Обозначение	Способ определения, формула	Номер интервала: I	2	.	i		n-1	n
Значение относительного расхода или пропускной способности в конце интервала	q_i K_{vi}	Согласно интервалам разбиения по оси абсцисс статической характеристики участка							
Длина интервала	Δq_i ΔK_{vi}	$q_i - q_{i-1}$ $K_{vi} - K_{v(i-1)}$							
Ордината статической характеристики участка в середине интервала	K^{cp}_{yi}	Берут по графику статической характеристики участка							
Элементарная площадь на длине инетрвала	ΔS_i	$K^{cp}_{yi} \cdot \Delta q_i$ $K^{cp}_{yi} \cdot \Delta K_{vi}$							
Суммарная площадь под статической характеристикой, включая элементарную площадь на данном интервале	S_{in}	$\sum_{i=1}^{i=n} \Delta S_i = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots \Delta S_n$							
Относительный ход РО	l_i	S_i / S_n							

5. Подсчитывают для каждого интервала и вносят в таблицу суммарную площадь всех предыдущих элементарных площадей, включая элементарную площадь данного интервала $S_1 = \Delta S_1$; $S_2 = \Delta S_1 + \Delta S_2$; $S_3 = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3$; ... $S_i = \sum_{i=1}^{i} \Delta S_i$ и т.д.
Площадь S_n , соответствующая последнему интервалу, т.е. общая площадь, ограниченная сверху всей кривой статической характеристики регулируемого участка, численно равна постоянной C_I, согласно формуле /32/ РТМ или C_2 согласно формуле /41/ РТМ: $C_I = S_n$; $C_2 = S_n$.

6. Подсчитывают значения относительного хода l_1 , l_2 , ... l_i и т.д., соответствующие по расходной характеристике РО значениям q_{r1} , q_{r2} , ... q_{ri} и т.д. или по пропускной характеристике значениям K_{v1} , K_{v2} , ... K_{vi} и т.д. в конце каждого интервала. Расчет производят с использованием соотношений:

$$l_1 = S_1/S_n ; \quad l_2 = S_2/S_n ; \quad \dots \quad l_i = S_i/S_n \text{ и т.д.}$$

7. Строят расходную или пропускную характеристику РО, откладывая в качестве абсцисс найденные значения l_1, l_2, ... l_i и т.д., а в качестве ординат - значения q_{r1}, q_{r2}, ... q_{ri} и т.д. или значения K_{v1} , K_{v2} , ... K_{vi} и т.д.

ПРИЛОЖЕНИЕ 15
Справочное

Перечень документов, на которые даны ссылки в данном РТМ

ГОСТ 355-67	Проходы условные трубопроводной арматуры, соединительных частей и трубопроводов
ГОСТ 356-68	Давления условные, пробные и рабочие для арматуры и соединительных частей трубопроводов
ГОСТ 9701-67	Клапаны регулирующие. Основные параметры
ГОСТ 1050-74	Сталь углеродистая качественная конструкционная
ГОСТ 5949-75	Сталь сортовая и калиброванная коррозионностойкая, жаростойкая и жаропрочная
ГОСТ 977-75	Отливки из конструкционной нелегированной и легированной стали

Содержание

Стр.

I. Общие положения..... 2

2. Расчет максимальной пропускной способности и выбор условного прохода РО для потока воды..... 6

2.I. Поверочный расчет..... 6

2.2. Конструктивный расчет..... I0

3. Расчет максимальной пропускной способности и выбор условного прохода РО для потока водяного пара /перегретого или сухого насыщенного/..... I3

3.I. Поверочный расчет..... I3

3.2. Конструктивный расчет..... I5

4. Определение расходной характеристики РО I6

5. Определение пропускной характеристики РО..... I9

5.I. Конструктивный расчет РО..... I9

5.2. Поверочный расчет РО..... 25

6. Определение конструктивной характеристики РО.... 27

6.I. Конструктивный расчет..... 27

6.2. Поверочный расчет РО..... 28

Приложение I. Исходные данные для расчета РО..... 29

Приложение 2. Пропускная способность РО..... 30

Приложение 3. Восстановление давления в РО и режимы течения жидкости..... 3I

Приложение 4. Основные типы РО, используемые на АЭС и ТЭС при различных условных давлениях, Ру.....39

Приложение 5. Значения коэффициентов запаса по расходу h в зависимости от назначения РО..... 40

Приложение 6. Максимальная скорость пара $W_{1\,max}$ на входе в РО в зависимости от величины условного давления среды Ру..... 4I

Приложение 7. Учет влияния переходных патрубков на пропускную способность РО..... 42

Приложение 8. Влияние направления потока среды через РО на его кавитационные характеристики..... 45

Приложение 9. Оценка эрозиостойкости материалов деталей проточной части при выборе РО..... 47

Приложение I0. Основы расчета и выбора оптимальных регулировочных характеристик регулирующих органов..... 50

Приложение II. Графические методы преобразования экспериментальной расходной характеристики РО.....8I

Приложение I2. Примеры преобразования расходных и конструктивных характеристик РО.....84

Приложение I3. Расчеты типовых РО АЭС и ТЭС..... 87

Приложение I4. Приближенное графическое интегрирование статической характеристики регулируемого участка $K_{уч} = f(q)$ или $K_{уч} = f(k_v)$ ... I26

Приложение I5. Перечень документов, на которые даны ссылки в данном РТМ I30

gost.e-ecolog.ru

Зак. Зак. 4. Тир. I000 экз.

Группа электрографии ЦНИИТМАШ. Шарикоподшипниковская, 4