Технический комитет по стандартизации
«Трубопроводная арматура и сильфоны» (ТК 259)

Закрытое акционерное общество «Научно-производственная фирма
«Центральное конструкторское бюро арматуростроения»

СТАНДАРТ ЦКБА

СТ ЦКБА 040 - 2006

Арматура трубопроводная

АРМАТУРА РЕГУЛИРУЮЩАЯ. МЕТОДИКА ВЫБОРА В СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

НПФ «ЦКБА»
2006

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Закрытым акционерным обществом «Научно - производственная фирма «Центральное конструкторское бюро арматуростроения» (ЗАО «НПФ «ЦКБА»).

2 ПРИНЯТ И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом ЗАО «НПФ «ЦКБА» от 29.12.2006 г. № 69.

3 СОГЛАСОВАН Техническим комитетом по стандартизации «Трубопроводная арматура и сильфоны» (ТК 259).

4 ВЗАМЕН РД РТМ 26-07-256-84 «Расчет и выбор регулирующих клапанов»

По вопросам заказа стандартов ЦКБА
просим обращаться в НПФ «ЦКБА»
по телефонам (812) 458-72-43, 458-72-04, 458-72-36
195027, Россия, С-Петербург, пр.Шаумяна, 4, корп.1, лит.А, а/я 33
ckba121@ckba.ru

© ЗАО «НПФ «ЦКБА»

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен без разрешения ЗАО «НПФ «ЦКБА»

СОДЕРЖАНИЕ

1 Область применения 4
2 Критерии расчета и выбора РА 5
3 Расчет пропускной способности и выбор номинального диаметра РА при течении несжимаемых сред 7
4 Расчет пропускной способности и выбор номинального диаметра РА при течении сжимаемых сред 22
Приложение А (обязательное) Определения, обозначения и сокращения 38
Приложение Б (рекомендуемое) Технические характеристики и параметры РА 43
Приложение В (рекомендуемое) Методы устранения кавитационных и критических режимов 45
Приложение Г (обязательное) Гидродинамические характеристики РА 55
Приложение Д (обязательное) Формулы для расчета числа Рейнольдса и коэффициента гидравлического трения λ 56
Лист регистрации изменений 58

СТАНДАРТ ЦКБА

Арматура трубопроводная

АРМАТУРА РЕГУЛИРУЮЩАЯ.
МЕТОДИКА ВЫБОРА В СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Дата введения 01.07.2007 г.

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт распространяется на регулирующую арматуру различного типа (односедельные, двухседельные и клеточные клапаны, шаровые краны, дисковые затворы и т.д.), применяемую в гидравлических системах, транспортирующих однофазные ньютоновские среды в диапазоне режимов течения от ламинарного до развитой кавитации для несжимаемых сред (жидкостей) и до критических режимов течения для сжимаемых сред (газов).

Настоящий стандарт устанавливает:

- критерии выбора регулирующей арматуры;

- методику выбора условной пропускной способности Kvy и номинального диаметра DN.

2 Критерии расчета и выбора РА

2.1 Условные обозначения, термины с соответствующими определениями и сокращения, применяемые в настоящем стандарте, приведены в Приложении А.

2.2 Для обеспечения оптимальной и устойчивой работы РА в течение заданного срока службы должны быть соблюдены следующие критерии

2.2.1 Температура среды на входе РА T_1 не должна превышать допустимого значения температуры рабочей среды $T_{доп}$, указанной в КД

$$T_1 \le T_{доп}. \qquad (2.1)$$

2.2.2 Абсолютное давление на входе закрытой РА P_1 не должно превышать максимальное рабочее давление P_p, указанное в КД и определенное при наибольшей температуре рабочей среды

$$P_1 \le P_p + 1. \qquad (2.2)$$

2.2.3 Минимальные потери давления (перепад давления) на РА $\Delta P_{РА\,min}$ при максимальном расходе рабочей среды должны составлять не менее 40% от потерь давления во всей ГС.

2.2.4 Перепад давления на закрытой РА $\Delta P_{РА}$ не должен превышать допустимого перепада давления $\Delta P_{доп}$, указанного в КД и определенного исходя из максимального усилия, развиваемого приводом

$$\Delta P_{РА} \le \Delta P_{доп}, \qquad (2.3)$$

где $\Delta P_{доп} = P_{1\,max} - P_{2\,min}$;

$P_{1\,max}$ - максимальное давление, создаваемое источником напора;

$P_{2\,min}$ - минимальное давление за клапаном.

2.2.5 Перепад давления на РА в промежуточном положении РЭл не должен превышать допустимый перепад давления, возникающий на штоке РА от гидродинамического воздействия рабочей среды.

2.2.6 При регулировании потока несжимаемой среды (жидкости) во всем диапазоне изменения хода РЭл (от минимального значения хода, при котором обеспечивается вид пропускной характеристики, до полностью открытого поло-

жения) перепад давления на РА $\Delta P_{РА}$ не должен превышать допустимый кавитационный перепад $\Delta P_{доп} = \Delta P_{бк}$, соответствующий началу паровой кавитации

$$\Delta P_{РА}(l) \le \Delta P_{бк}(l). \qquad (2.4)$$

2.2.7 Отношение максимального расчетного значения пропускной способности Kvp к принятому значению условной пропускной способности Kvy должно находиться в диапазоне

$$N_2 \ge \frac{Kvp}{Kvy} \ge N_1. \qquad (2.5)$$

Для линейной пропускной характеристики: $N_1 = 0{,}60$;

$N_2 = 0{,}92$.

Для равнопроцентной пропускной характеристики: $N_1 = 0{,}22$;

$N_2 = 0{,}75$.

2.2.8 Значение расчетного диапазона регулирования $Др$, равное отношению максимального расчетного значения пропускной способности $Kvp\,max$ к минимальному $Kvp\,min$, должно быть не более диапазона регулирования $Д$, указанного в ТД

$$\frac{Kvp\,max}{Kvp\,min} = Др \le Д. \qquad (2.6)$$

2.2.9 Номинальный диаметр DN РА должен находиться в пределах

$$0{,}25 \cdot D_{тр} \le DN \le D_{тр}. \qquad (2.7)$$

2.2.10 Диаметр трубопровода следует выбирать исходя из условия

$$\sqrt{\frac{4 \cdot Q_{м\,min}}{V_{2\,min} \cdot \pi \cdot \rho_2}} \le D_{тр} \le \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{м\,max}}{V_{2\,max} \cdot \pi \cdot \rho_2}}. \qquad (2.8)$$

Максимальная скорость среды в трубопроводе на выходе из РА должна быть не более:

для жидкости - $V_2 \le 10$ м/с (скорость, при которой гарантируется отсутствие вибраций);

для газа - $V_2 \le 90$ м/с (скорость, при которой гарантируется допустимый уровень звукового давления 10 дБА).

3 Расчет пропускной способности и выбор номинального диаметра РА при течении несжимаемых сред

3.1 Перечень исходных данных для расчета, а также исходные данные для примера расчета, приведены в таблице 1.

В таблице 1 указываются значения расходов, давлений и перепадов давления для нескольких режимов работы РА:

режим I: $Q_{M\,max}$ - максимальный массовый расход рабочей среды;

$P_1(1)$ - абсолютное давление на входе РА при максимальном расходе среды;

$\Delta P_{PA\,min}$ - минимальный перепад давления на РА, соответствующий максимальному расходу среды;

режим II: $Q_{M\,min}$ - минимальный массовый расход рабочей среды;,

P_1 - абсолютное давление на входе РА при минимальном расходе среды;

ΔP - перепад давления на РА, соответствующий минимальному расходу среды;

режимы III ... N: - Заказчик указывает значения массовых расходов в диапазоне [$Q_{M\,min}$; $Q_{M\,max}$] и соответствующие им значения давления на входе РА и перепада давления на РА с целью определения возможности возникновения кавитационных режимов на промежуточных положениях РЭл.

3.2 Выбор типа РА следует проводить в соответствии с рекомендациями, приведенными в Приложении Б.

3.3 Алгоритм расчета, а также пример расчета приведен в таблице 2.

Таблица 1

Наименование параметра	Значения параметров режимов эксплуатации				
	I	II	III	...	N
Наименование рабочей среды	вода				
Состав рабочей среды	вода				
Абсолютное давление насыщенных паров рабочей среды при температуре на входе P_{un}, МПа	0,081				
Плотность среды при рабочих условиях ρ, кг/м^3	963,000				
Коэффициент кинематической вязкости при температуре среды на входе ν, м^2/с	$2{,}000 \cdot 10^{-6}$				
Коэффициент динамической вязкости при температуре на входе в РА T_1 η, Па·с	$1{,}926 \cdot 10^{-3}$				
Массовый расход по технологическому регламенту Q_M, кг/с	21,111	-	-	-	-
Температура среды на входе в РА T_1, К	367	-	-	-	-
Абсолютное давление на входе в РА P_1, МПа	2,380	-	-	-	-
Абсолютное давление на выходе в РА P_2, МПа	2,150	-	-	-	-
Перепад давления на РА ΔP_{PA}, МПа	0,230	-	-	-	-
Диаметр трубопровода, на котором устанавливается РА Dmp, м	0,100				
Шероховатость внутренней стенки трубопровода Δ, мм	0,06				

Таблица 2

Алгоритм расчета			Пример выбора РА
3.3.1 Выбор типа РА			
Выбрать тип РА			Односедельный регулирующий клапан
По каталогу определить значения $Кс(1)$ и $Км(1)$			$Кс(1) = 0{,}70$; $Км(1) = 0{,}85$
3.3.2 Определение режима течения несжимаемой среды (жидкости)			
Рассчитать	$Кс(1)_{треб} = \frac{\Delta P_{РА\ min}}{P_1(1) - P_{нп}}$		$Кс(1)_{треб} = \frac{0{,}230}{2{,}380 - 0{,}083} = 0{,}100$
Проверить условия	$Кс(1)_{треб} < 1$	$Кс(1)_{треб} > 1$	$Кс(1)_{треб} < 1$
Если $Кс(1)_{треб} > 1$	**при заданных условиях любая РА будет работать в режиме кавитации** и следует: - рассчитать $\Delta Рбк(1) = Кс(1) \cdot (P_1(1) - P_{нп})$; - принять $\Delta P_{РА\ min} = \Delta Рбк(1)$; - расчет Kv и выбор Kvy и DN РА продолжить, начиная с 3.3.3; - выбрать один из методов устранения кавитации: а) изменить место установки РА (перемещение РА выше по потоку),		

Продолжение таблицы 2

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
	б) установить одну или несколько диафрагм (пакет диафрагм), в) установить дополнительную РА, г) установить дополнительную РА и диафрагмы; - выполнить расчет в соответствии с алгоритмом Приложения В	
Если $Кс(1)_{треб} < 1$ и $Кс(1)_{треб} > Км(1)$	**режим развитой кавитации** и следует: - либо разработать новую конструкцию РА, у которой $Кс(1)_{треб} \le Кс(1)$ или $Кс(1)_{треб} \le Км(1)$ и выполнить расчет для данного варианта соотношений $Кс(1)_{треб}$, $Кс(1)$ и $Км(1)$ - либо выбрать тип РА с максимально возможными значениями $Кс(1)$ и $Км(1)$, и далее: а) рассчитать $\Delta Р_{кав} = Км(1) \cdot (Р_1(1) - r \cdot Р_{нп})$, где $r = 0{,}96 - 0{,}28\sqrt{\frac{Р_{нп}}{Р*}}$,	

Продолжение таблицы 2

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
	б) рассчитать $\Delta P_{бк}(1) = Кс(1) \cdot (P_1(1) - P_{нп})$, в) принять $\Delta P_{РА\,min} = \Delta P_{бк}(1)$, г) выбрать один из методов устранения кавитации и выполнить расчет в соответствии с алгоритмом Приложения В, д) расчет продолжить, начиная с 3.3.3	
Если $Кс(1)_{треб} < 1$ и $Кс(1)_{треб} > Кс(1)$ $Кс(1)_{треб} \le К_м(1)$	**режим паровой кавитации** и следует: - рассчитать $\Delta P_{бк}(1) = Кс(1) \cdot (P_1(1) - P_{нп})$; - принять $\Delta P_{РА\,min} = \Delta P_{бк}(1)$; - выбрать один из методов устранения кавитации и выполнить расчет в соответствии с алгоритмом Приложения В; - расчет продолжить, начиная с 3.3.3	

Продолжение таблицы 2

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
Если $Kc(1)_{треб} < 1$ и $Kc(1)_{треб} \le Kc(1)$	**режим докавитационный** и следует: - рассчитать $\Delta Pa(1) = Ka(1) \cdot (P_1(1) - P_г)$, где $Ka(1) = 0{,}5 \cdot Kм(1)$ $P_г$ - определяется по справочникам теплофизических свойств газов и жидкостей (при отсутствии данных о значении $P_г$ принять $P_г = P_{am}$); - если $\Delta P_{PA\,min} > \Delta Pa(1)$ **режим газовой кавитации** и рекомендуется: а) рассчитать уровень звукового давления на расстоянии 2 м от РА, б) сравнить полученное расчетное значение звукового давления с допустимым значением, в) расчет продолжить, начиная с 3.3.3; - если $\Delta P_{PA\,min} \le \Delta Pa(1)$ расчет продолжить, начиная с 3.3.3	принимаем $P_г$=0,100 МПа; $\Delta Pa(1) = 0{,}5 \cdot 0{,}850 \cdot (2{,}380 - 0{,}100) = 0{,}969$ $\Delta P_{PA\,min} = 0{,}230 \le \Delta Pa(1) = 0{,}969$ режим докавитационный

Продолжение таблицы 2

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
3.3.3 Расчет требуемой условной пропускной способности *Kvy* и выбор номинального диаметра *DN*		
Рассчитать	$Re_{max} = \dfrac{Q_{M\,max}}{\dfrac{\pi}{4} \cdot D_{mp} \cdot \rho \cdot v}$	$Re_{max} = \dfrac{4 \cdot 21{,}111}{\pi \cdot 0{,}100 \cdot 963{,}000 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 1{,}396 \cdot 10^{5}$
Если $Re_{max} \geq 10^4$	- рассчитать $C_{кр\,min} = \dfrac{\Delta P_{PA\,min} \cdot \rho}{Q_{M\,max}^2}$, $Kvp = \dfrac{3{,}564 \cdot 10^4}{\sqrt{C_{кр\,min}}} = \dfrac{35{,}640 \cdot 10^4 \cdot Q_{M\,max}}{\sqrt{\Delta P_{PA\,min} \cdot \rho}}$	$Kvp = \dfrac{3{,}564 \cdot 10^4}{\sqrt{496977{,}253}} = 50{,}556$
Если $Re_{max} < 10^4$	- определить коэффициенты *a, b, c* по таблице Д.1 (приложение Д); - рассчитать $C_{лр\,min} = a \cdot \left(10^{-3} \cdot DN\right)^b \cdot C_{кр\,min}{}^c$, $C_{кр\,min} = \dfrac{10^6 \cdot \Delta P_{PA\,min} \cdot \rho - \eta \cdot C_{лр\,min} \cdot Q_{M\,max}}{Q_{M\,max}^2}$, $Kvp = \dfrac{3{,}564 \cdot 10^4}{\sqrt{C_{кр\,min}}}$	

Продолжение таблицы 2

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
Для выбранного типа РА	определить по каталогу значение Kvy, являющееся ближайшим большим значением к Kvp ($Kvy > Kvp$) и соответствующее ему значение DN при условии выполнения условия 2.2.7 ($N_2 \geq \frac{Kvp}{Kvy} \geq N_1$)	выбираем: Kvy=63 м^3/ч, DN 80; $\frac{Kvp}{Kvy} = \frac{50,556}{63,000} = 0,802$; $N_2 > 0,802 > N_1$
Если условие 2.2.7 не выполняется	- $\frac{Kvp}{Kvy} > N_2$, то следует принять следующее большее значение Kvy и соответствующее ему значение DN; - $\frac{Kvp}{Kvy} < N_1$, то пропускная способность РА должна быть меньше принятого значения Kvy. В случае отсутствия в каталоге РА, обеспечивающей требуемое значение Kvy, следует доработать профильную часть РЭл	
Если $DN = D_{mp}$	расчет продолжить, начиная с 3.3.6	
Если $DN < D_{mp}$	- РА следует устанавливать на трубопровод с помощью конфузора и диффузора;	$DN < D_{mp}$

Продолжение таблицы 2

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
	- рассчитать модули конфузора $C_{кк}$, $C_{лк}$ и диффузора $C_{кд}$, $C_{лд}$ для уточнения значения Kvp в соответствии с 3.3.4; - проверить правильность выбора Kvy и DN в соответствии с 3.3.5;	
3.3.4 Расчет модулей конфузора $C_{кк}$, $C_{лк}$ **и диффузора** $C_{кд}$, $C_{лд}$		
Расчетные формулы	$C_{кк} = \dfrac{\zeta_{ту} + \left(\dfrac{F_{2к}}{F_{2к}}\right)^2 - \left(\dfrac{F_{2к}}{F_{1к}}\right)^2}{2 \cdot {F_{2к}}^2}$, $C_{лк} = \dfrac{La_{ду}}{F_{2к} \cdot D_{2к}}$, $C_{кд} = \dfrac{\zeta_{ту} + \left(\dfrac{F_{1д}}{F_{2д}}\right)^2 - \left(\dfrac{F_{1д}}{F_{1д}}\right)^2}{2 \cdot {F_{1д}}^2}$, $C_{лд} = \dfrac{La_{ду}}{F_{1д} \cdot D_{1д}}$	

Продолжение таблицы 2

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
Рассчитать	$\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{Dmp}$; λ - по формулам Приложения Д в зависимости от $Remax$ и $\bar{\Delta}$	$\bar{\Delta} = \frac{6 \cdot 10^{-5}}{0{,}100} = 0{,}0006$, $Re_{кр} = \frac{500}{6 \cdot 10^{-4}} = 8{,}333 \cdot 10^{5}$, $\lambda = \frac{1}{0{,}5976 \cdot ln^2[A+B]}$, $A = \frac{6{,}350}{1{,}396 \cdot 10^{5}} = 4{,}549 \cdot 10^{-5}$, $B = 0{,}110 \cdot (1{,}396 \cdot 10^{5})^{0{,}112} \cdot (6 \cdot 10^{-4})^{1{,}250} = 3{,}893 \cdot 10^{-5}$ $\lambda = \frac{1}{0{,}5976 \cdot (-9{,}38)^2} = 0{,}019$
Принять	значение центрального угла конфузора $\beta к$	$\beta к = 30^{\circ}$
Рассчитать	$Fmp = \frac{\pi \cdot Dmp^2}{4}$, $F_{1к} = \frac{\pi \cdot Dmp^2}{4}$, $F_{2к} = Fmp = \frac{\pi \cdot DN^2}{4}$,	$Fmp = \frac{\pi \cdot 0{,}100^2}{4} = 7{,}854 \cdot 10^{-3}$ м^2, $F_{1к} = \frac{\pi \cdot 0{,}100^2}{4} = 7{,}854 \cdot 10^{-3}$ м^2, $F_{2к} = Fmp = \frac{\pi \cdot 0{,}080^2}{4} = 5{,}026 \cdot 10^{-3}$ м^2,

Продолжение таблицы 2

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
	$m_к = \frac{F_{2к}}{F_{1к}} = \left(\frac{DN}{D_{mp}}\right)^2$,	$m_к = \left(\frac{0{,}080}{0{,}100}\right)^2 = 0{,}640$,
	$n_к = 5{,}680 \cdot 10^{-4} \cdot \beta к^2 - 4{,}360 \cdot 10^{-2} \cdot \beta к + 1$,	$n_к = 5{,}680 \cdot 10^{-4} \cdot 30^2 - 4{,}360 \cdot 10^{-2} \cdot 30 + 1 = 0{,}203$,
	$\zeta_{тук} = 0{,}41 \cdot n \cdot \left(\frac{1-m}{1-0{,}85 \cdot m}\right)^2 + \lambda \cdot \frac{1-m^2}{8 \cdot sin\left(\frac{\beta к}{2}\right)}$,	$\zeta_{тук} = 0{,}410 \cdot 0{,}203 \cdot \left(\frac{1-0{,}640}{1-0{,}850 \cdot 0{,}640}\right)^2 + 2{,}457 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1-0{,}640^2}{8 \cdot sin15} = 0{,}059$,
	$La_{лук} = \frac{16 \cdot \left(1-m^{1,5}\right)}{3 \cdot sin\left(\frac{\beta \partial к}{2}\right)} + 12{,}6 \cdot (sin\beta к)^{0{,}25}$	$La_{лук} = \frac{16 \cdot \left(1-0{,}640^{1,5}\right)}{3 \cdot sin15} + 12{,}600 \cdot (sin30)^{0{,}25} = 20{,}651$
Принять	значение центрального угла диффузора $\beta \partial$	$\beta \partial = 15^\circ$
Рассчитать	$F_{1\partial} = F_{mp} = \frac{\pi \cdot DN^2}{4}$,	$F_{1\partial} = F_{mp} = \frac{\pi \cdot 0{,}080^2}{4} = 5{,}026 \cdot 10^{-3}$ м^2,
	$F_{2\partial} = \frac{\pi \cdot D_{mp}^2}{4}$,	$F_{2\partial} = \frac{\pi \cdot 0{,}100^2}{4} = 7{,}854 \cdot 10^{-3}$ м^2,
	$m\partial = \frac{F_{1\partial}}{F_{2\partial}} = \left(\frac{DN}{D_{mp}}\right)^2$,	$m\partial = \left(\frac{0{,}080}{0{,}100}\right)^2 = 0{,}640$,
	$n\partial = 5{,}580 \cdot 10^{-4} \cdot \beta\partial^2 + 1{,}050 \cdot 10^{-2} \cdot \beta\partial + 2{,}165 \cdot 10^{-2}$,	$n\partial = 5{,}580 \cdot 10^{-4} \cdot 15^2 + 1{,}050 \cdot 10^{-2} \cdot 15 + 2{,}165 \cdot 10^{-2} = 0{,}300$,

Продолжение таблицы 2

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
	$\zeta_{Tv\partial} = n \cdot (1-m)^2 + \lambda \cdot \dfrac{1-m^2}{8 \cdot sin\left(\dfrac{\beta\partial}{2}\right)}$, $La_{v\partial} = \dfrac{16 \cdot \left(1-m^{1,5}\right)}{3 \cdot sin\left(\dfrac{\beta\partial}{2}\right)} + 12{,}6 \cdot (sin\beta\partial)^{0,25}$	$\zeta_{Tv\partial} = 0{,}300 \cdot (1-0{,}640)^2 + 2{,}457 \cdot 10^{-2} \cdot \dfrac{1-0{,}640^2}{8 \cdot sin\,7{,}5} = 0{,}053$, $La_{v\partial} = \dfrac{16 \cdot \left(1-0{,}640^{1,5}\right)}{3 \cdot sin\,7{,}5} + 12{,}600 \cdot (sin\,15)^{0,25} = 28{,}927$
Результаты расчета C_{KK}, $C_{ЛK}$, $C_{K\partial}$, $C_{Л\partial}$		$C_{KK} = \dfrac{0{,}059 + \left(\dfrac{5{,}026 \cdot 10^{-3}}{5{,}026 \cdot 10^{-3}}\right)^2 - \left(\dfrac{5{,}026 \cdot 10^{-3}}{7{,}854 \cdot 10^{-3}}\right)^2}{2 \cdot \left(5{,}026 \cdot 10^{-3}\right)^2} =$ $= \dfrac{0{,}059 + 1^2 - 0{,}640^2}{5{,}052 \cdot 10^{-5}} = 12853{,}971 \quad м^{-4}$; $C_{Л\partial} = \dfrac{20{,}651}{5{,}026 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}080} = 51360{,}426 \ м^{-3}$, $C_{K\partial} = \dfrac{0{,}053 + \left(\dfrac{5{,}026 \cdot 10^{-3}}{7{,}854 \cdot 10^{-3}}\right)^2 - \left(\dfrac{5{,}026 \cdot 10^{-3}}{5{,}026 \cdot 10^{-3}}\right)^2}{2 \cdot \left(5{,}026 \cdot 10^{-3}\right)^2} =$ $= \dfrac{0{,}053 + 0{,}640^2 - 1^2}{5{,}052 \cdot 10^{-5}} = -10637{,}087 \quad м^{-4}$;

Продолжение таблицы 2

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
		$Слл = \frac{28{,}927}{5{,}026 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}080} = 71943{,}394$ м$^{-3}$
3.3.5 Проверка правильности выбора *Kvy* и *DN*		
Определить	коэффициенты *a, b, c* по таблице Д.1	a =55,400; b = 1,708; c = 1,177
Рассчитать	$A = \frac{10^6 \cdot \Delta P_{РА\,min} \cdot \rho}{Q_{м\,max}{}^2} - (Скк + Скд) - \frac{(Слк + Слд)}{Q_{м\,max}}$, $B = \eta \cdot a \cdot \frac{(10^{-3} \cdot DN)^b}{Q_{м\,max}}$, $Скр^* = \frac{A}{1 + B \cdot (Скр\,min)^{c-1}}$, где $Скр\,min$ - значение, рассчитанное на предыдущем шаге (в 3.3.3);	$A = \frac{10^6 \cdot 0{,}230 \cdot 963}{21{,}111^2} - (12853{,}971 - 10637{,}087) - \frac{(51360{,}426 + 71943{,}394)}{21{,}111} = 488919{,}632;$ $B = 1{,}926 \cdot 10^{-3} \cdot 55{,}400 \cdot \frac{0{,}080^{1{,}708}}{21{,}111} = 6{,}763 \cdot 10^{-5};$ $Скр^* = \frac{488919{,}632}{1 + 6{,}763 \cdot 10^{-5} \cdot (496977{,}253)^{1{,}177-1}} = 488582{,}865$ м$^{-4}$,
Рассчитать	$Kvp^* = \frac{3{,}564 \cdot 10^4}{\sqrt{Скр^*}}$	$Kvp^* = \frac{3{,}564 \cdot 10^4}{\sqrt{488582{,}865}} = 50{,}988$
Уточнить	значения Kvy^* и DN^*	уточненные значения: Kvy^*=63 м^3/ч, DN^* 80

Продолжение таблицы 2

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
Если $DN^* = DN$ и $Kvy^* = Kvy$	проверить режимы течения на промежуточных ходах РЭл в соответствии с 3.3.6	$Kvy^* = Kvy$, $DN^* = DN$
Если $DN^* > DN$	выполнить расчет, начиная с 3.3.4	
3.3.6 Проверка режима течения на промежуточных ходах РЭл		
Для режимов эксплуатации РА II … N, приведенных в таблице 1	рассчитать $C_K(l) = \frac{10^6 \cdot \Delta P_{PA}(l) \cdot \rho}{Q_M(l)^2}$, $Kv(l) = \frac{3{,}564 \cdot 10^4}{\sqrt{C_K(l)}} = \frac{35{,}564 \cdot Q_M(l)}{\sqrt{\Delta P_{PA}(l) \cdot \rho}}$, $\overline{Kv(l)} = \frac{Kv(l)}{Kvy}$	
Определить	значения $Kc(l)$ по значениям $\overline{Kv(l)}$ из графиков зависимости $Kc(l) = f(Kv(l))$, приведенных в каталогах	
Рассчитать	$Kc(l)_{треб} = \frac{\Delta P_{PA}(l)}{P_1(l) - P_{нп}}$	

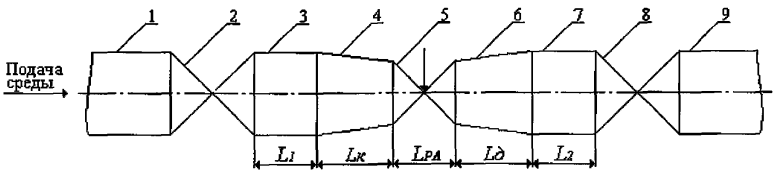
Окончание таблицы 2

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
Проверить условие	$Kc(l) \geq Kc(l)_{треб}$	
Если $Kc(l) < Kc(l)_{треб}$	следует выбрать РА другого типа, у которого кавитационные характеристики удовлетворяют условию $Kc(l) \geq Kc(l)_{треб}$ на всех ходах РЭл, на которых обеспечиваются заданные режимы, и повторить расчет, начиная с 3.3.1	
Если $Kc(l) \geq Kc(l)_{треб}$	выбор *Kvy* и *DN* РА закончен	

3.4 Результаты выбора РА

В гидравлическую систему следует установить односедельный регулирующий клапан номинального диаметра *DN* 80 с условной пропускной способностью $Kvy = 63$ м^3/ч.

Схема установки РА на трубопроводе приведена на рисунке 1.



1, 3, 7, 9 – трубопровод; 2, 8 – ЗА; 4 – конфузор; 5 – РА; 6 - конфузор

Рисунок 1 – Схема установки РА на трубопроводе

Основные размеры обвязки РА приведены в таблице 3.

Таблица 3

Длина прямых участков трубопровода		Конфузор		Диффузор	
до РА L_1, мм	после РА L_2, мм	длина $L_к$, мм	центральный угол $\beta_к$	длина $L_д$, мм	центральный угол $\beta_д$
≥ 203	≥ 164	≥ 37	≤ 30°	≥ 76	≤ 15°

4 Расчет пропускной способности и выбор номинального диаметра РА при течении сжимаемых сред

4.1 Перечень исходных данных для расчета, а также исходные данные для примера расчета, приведены в таблице 4.

В таблице 4 указываются значения расходов, давлений и перепадов давления для следующих режимов работы РА:

режим I: $Q_{M\,max}$ - максимальный массовый расход рабочей среды,

$P_1(1)$ - абсолютное давление на входе РА при максимальном расходе среды,

$\Delta P_{PA\,min}$ - минимальный перепад давления на РА, соответствующий максимальному расходу среды;

режим II: $Q_{M\,min}$ - минимальный массовый расход рабочей среды,

P_1 - абсолютное давление на входе РА при минимальном расходе среды,

ΔP - перепад давления на РА, соответствующий минимальному расходу среды.

Таблица 4

Наименование параметра	Величина	
	I режим	II режим
Наименование рабочей среды	кислород	
Состав рабочей среды	O_2 - 100%	
Критическое давление сжимаемой среды $P_{кр}$, МПа	5,090	
Критическая температура сжимаемой среды $T_{кр}$, К	154,8	
Молярная масса вещества M, кг/моль	32,0	
Коэффициент динамической вязкости сжимаемой среды при температуре T_1 на входе в РА η, Па·с	$2 \cdot 10^{-5}$	
Газовая постоянная R*, Дж/кг·град	259,8	
Показатель адиабаты газа k	1,4	
Массовый расход по технологическому регламенту Q_M, кг/с	3,972	-
Температура среды на входе в РА T_1, К	293	-
Абсолютное давление на входе в РА P_1, МПа	3,719	-
Абсолютное давление на выходе в РА P_2, МПа	2,513	-
Перепад давления на РА ΔP_{PA}, МПа	1,206	-
Диаметр трубопровода, на котором устанавливается РА Dmp, м	0,05	
Шероховатость внутренней стенки трубопровода Δ, мм	0,06	
Примечание: * Если значение R не задано, то R рассчитать по формуле $R = \frac{Ry}{M} = \frac{8314{,}41}{M}$		

4.2 Выбор типа РА следует проводить в соответствии с рекомендациями, приведенными в Приложении Б.

4.3 Алгоритм расчета, а также пример расчета приведены в таблице 5.

Таблица 5

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
4.3.1 Выбор типа РА		
Выбрать тип РА		двухседельный клапан
4.3.2 Расчет коэффициентов сжимаемости газа K_1 и K_2		
Составить уравнение для расчета K_1 и решить его методом подбора	- общий вид уравнения: $K_1^3 - K_1^2 + (A - B^2 - B) \cdot K_1 - A \cdot B = 0$;	
	- принять $P = P_1$;	$P = P_1 = 3{,}719$,
	- рассчитать: $A = 0{,}42748 \cdot \frac{Pr}{Tr^{2,5}}$,	$Pr = \frac{3{,}719}{5{,}090} = 0{,}731$,
	$B = 0{,}86640 \cdot \frac{Pr}{Tr^{4,5}}$,	$Tr = \frac{293}{154{,}8} = 1{,}893$,
	$Pr = \frac{P}{P_{кр}}$,	$A = 0{,}42748 \cdot \frac{0{,}731}{1{,}893^{2,5}} = 6{,}338 \cdot 10^{-2}$,
	$Tr = \frac{T_1}{T_{кр}}$;	$B = 0{,}86640 \cdot \frac{0{,}731}{1{,}893^{4,5}} = 3{,}346 \cdot 10^{-2}$,
	- результат решения уравнения	$K_1^3 - K_1^2 + (6{,}338 \cdot 10^{-2} - (3{,}346 \cdot 10^{-2})^2 - - 3{,}346 \cdot 10^{-2}) \cdot K_1 - 6{,}338 \cdot 10^{-2} \cdot 3{,}346 \cdot 10^{-2} = 0$; $K_1 = 0{,}98$

Продолжение таблицы 5

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
Составить уравнение для расчета K_2 и решить его методом подбора	- общий вид уравнения: $K_2^3 - K_2^2 + (A - B^2 - B) \cdot K_2 - A \cdot B = 0$;	
	- принять $P = P_2$;	$P = P_2 = 2{,}513$,
	- рассчитать: $A = 0{,}42748 \cdot \frac{Pr}{Tr^{2,5}}$,	$Pr = \frac{2{,}513}{5{,}090} = 0{,}494$,
	$B = 0{,}86640 \cdot \frac{Pr}{Tr^{4,5}}$,	$Tr = \frac{293}{154{,}8} = 1{,}893$,
	$Pr = \frac{P}{P_{кр}}$,	$A = 0{,}42748 \cdot \frac{0{,}494}{1{,}893^{2,5}} = 4{,}283 \cdot 10^{-2}$,
	$Tr = \frac{T_1}{T_{кр}}$;	$B = 0{,}86640 \cdot \frac{0{,}494}{1{,}893^{4,5}} = 2{,}261 \cdot 10^{-2}$,
	- результат решения уравнения	$K_2^3 - K_2^2 + (4{,}283 \cdot 10^{-2} - (2{,}261 \cdot 10^{-2})^2 - -2{,}261 \cdot 10^{-2}) \cdot K_2 - 4{,}283 \cdot 10^{-2} \cdot 2{,}261 \cdot 10^{-2} = 0$, $K_2 = 0{,}980$
4.3.3 Выбор условной пропускной способности *Kvy* и номинального диаметра *DN*		
Принять	$\overline{Kv(l)} = 1$	$\overline{Kv(l)} = 1$
Рассчитать	по формуле, приведенной в таблице Г.2 (приложение Г) для выбранного типа РА, $Cfв = -0{,}036 \cdot \overline{Kv(l)} + 0{,}936$	$Cfв = -0{,}036 \cdot 1 + 0{,}936 = 0{,}900$

Продолжение таблицы 5

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
	$Cfг = Cfв \cdot \sqrt{\frac{k}{0{,}469} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$, $\varphi p = \frac{1{,}630}{Cfг} \cdot \sqrt{1 - \frac{P_2}{P_1}}$	$Cfг = 0{,}900 \cdot \sqrt{\frac{1{,}4}{0{,}469} \cdot \left(\frac{2}{1{,}4+1}\right)^{\frac{1{,}4+1}{1{,}4-1}}} = 0{,}8999$, $\varphi_P = \frac{1{,}630}{0{,}8999} \cdot \sqrt{1 - \frac{2513000}{3719000}} = 1{,}032$
Принять	$\varphi = \varphi p$ - если $\varphi p = \frac{1{,}630}{Cfг} \cdot \sqrt{1 - \frac{P_2}{P_1}} < \frac{\pi}{2}$, где φ измеряется в радианах; $\varphi = \frac{\pi}{2}$ - если $\varphi p = \frac{1{,}630}{Cfг} \cdot \sqrt{1 - \frac{P_2}{P_1}} \geq \frac{\pi}{2}$	так как $\varphi p = 1{,}032 < \frac{\pi}{2}$, принимаем $\varphi = \varphi p$
Рассчитать	$Cкpmin = \frac{\left(0{,}613 \cdot 10^6 \cdot Cfг \cdot P_1 \cdot sin\,\varphi\right)^2}{K_1 \cdot R \cdot T_1 \cdot Qм\,max^2}$, $Kvp = \frac{3{,}564 \cdot 10^4}{\sqrt{Cкp\,min}}$	$Cкpmin = \frac{\left(0{,}613 \cdot 10^6 \cdot 0{,}8999 \cdot 3{,}719 \cdot sin\,(1{,}032)\right)^2}{0{,}980 \cdot 259{,}8 \cdot 293 \cdot 3{,}972^2} =$ $= 2{,}633 \cdot 10^6$ м$^{-4}$; $Kvp = \frac{3{,}564 \cdot 10^4}{\sqrt{2{,}633 \cdot 10^6}} = 21{,}964$ м^3/ч

Продолжение таблицы 5

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
Для выбранного типа РА	определить по каталогу значение Kvy, являющееся ближайшим большим значением к Kvp ($Kvy > Kvp$) и соответствующее ему значение DN при условии выполнения условия 2.2.7 ($N_2 \geq \frac{Kvp}{Kvy} \geq N_1$)	выбираем: $Kvy = 25$ м^3/ч, DN 40
Если $DN = Dmp$	- $P_1p = P_1$, $P_2p = P_2$; - $Скк = Слк = Скд = Слд = 0$; - расчет продолжить, начиная с 4.3.5	
Если $DN < Dmp$	- РА устанавливается на трубопровод с помощью конфузора и диффузора; - для уточнения значения Kvp рассчитать модули $Скк$, $Слк$ и $Скд$, $Слд$ в соответствии с 4.3.4; - проверить правильность выбора Kvy и DN в соответствии с 4.3.6	$DN < Dmp$

Продолжение таблицы 5

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
4.3.4 Расчет модулей конфузора *Скк, Слк* **и диффузора** *Скд, Слд*		
Расчетные формулы	$C_{кк} = \dfrac{\zeta_{ту} + \left(\dfrac{F_{2к}}{F_{2к}}\right)^2 - \left(\dfrac{F_{2к}}{F_{1к}}\right)^2}{2 \cdot {F_{2к}}^2}$, $C_{лк} = \dfrac{La_{лук}}{F_{2к} \cdot D_{2к}}$, $C_{кд} = \dfrac{\zeta_{ту} + \left(\dfrac{F_{1д}}{F_{2д}}\right)^2 - \left(\dfrac{F_{1д}}{F_{1д}}\right)^2}{2 \cdot {F_{1д}}^2}$, $C_{лд} = \dfrac{La_{луд}}{F_{1д} \cdot D_{1д}}$	
Принять	значение центрального угла конфузора $\beta_к$	$\beta_к = 30^\circ$
Рассчитать	$Re_{max} = \dfrac{4 \cdot Q_{м\,max}}{\pi \cdot D_{тр} \cdot \eta}$, $\bar{\Delta} = \dfrac{\Delta}{D_{тр}}$, λ - по формулам Приложения Д; $F_{тр} = \dfrac{\pi \cdot {D_{тр}}^2}{4}$,	$Re_{max} = \dfrac{4 \cdot 3{,}972}{3{,}104 \cdot 0{,}050 \cdot 2 \cdot 10^{-5}} = 5{,}060 \cdot 10^6$, $\bar{\Delta} = \dfrac{6 \cdot 10^{-5}}{0{,}050} = 0{,}0012$, $\lambda = \left[1{,}140 - 2{,}000 \cdot lg(0{,}0012)\right]^{-2} = 2{,}170 \cdot 10^{-2}$, $F_{тр} = \dfrac{\pi \cdot 0{,}050^2}{4} = 1{,}964 \cdot 10^{-3}$ м^2,

Продолжение таблицы 5

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
	$F_{1к} = \frac{\pi \cdot Dmp^2}{4}$,	$F_{1к} = \frac{\pi \cdot 0{,}050^2}{4} = 1{,}964 \cdot 10^{-3}$ м^2,
	$F_{2к} = Fmp = \frac{\pi \cdot DN^2}{4}$,	$F_{2к} = Fmp = \frac{\pi \cdot 0{,}040^2}{4} = 1{,}257 \cdot 10^{-3}$ м^2,
	$m_к = \frac{F_{2к}}{F_{1к}} = \left(\frac{DN}{Dmp}\right)^2$,	$m_к = \left(\frac{0{,}040}{0{,}050}\right)^2 = 0{,}640$
	$n_к = 5{,}680 \cdot 10^{-4} \cdot \beta к^2 - 4{,}360 \cdot 10^{-2} \cdot \beta к + 1$,	$n_к = 5{,}680 \cdot 10^{-4} \cdot 30^2 - 4{,}360 \cdot 10^{-2} \cdot 30 + 1 = 0{,}203$,
	$\zeta_{тук} = 0{,}41 \cdot n \cdot \left(\frac{1-m}{1-0{,}85 \cdot m}\right)^2 + \lambda \cdot \frac{1-m^2}{8 \cdot sin\left(\frac{\beta к}{2}\right)}$,	$\zeta_{тук} = 0{,}410 \cdot 0{,}203 \cdot \left(\frac{1-0{,}640}{1-0{,}850 \cdot 0{,}640}\right)^2 + 2{,}457 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1-0{,}640^2}{8 \cdot sin15} = 0{,}059$,
	$La_{лук} = \frac{16 \cdot \left(1-m^{1,5}\right)}{3 \cdot sin\left(\frac{\beta \partial к}{2}\right)} + 12{,}6 \cdot \left(sin\beta к\right)^{0{,}25}$	$La_{лук} = \frac{16 \cdot \left(1-0{,}640^{1,5}\right)}{3 \cdot sin15} + 12{,}600 \cdot \left(sin\,30\right)^{0{,}25} = 20{,}651$
Принять	значение центрального угла диффузора $\beta\partial$	$\beta\partial = 15^0$
Рассчитать	$F_{1\partial} = Fmp = \frac{\pi \cdot DN^2}{4}$,	$F_{1\partial} = Fmp = \frac{\pi \cdot 0{,}040^2}{4} = 1{,}257 \cdot 10^{-3}$ м^2,
	$F_{2\partial} = \frac{\pi \cdot Dmp^2}{4}$,	$F_{2\partial} = \frac{\pi \cdot 0{,}050^2}{4} = 1{,}964 \cdot 10^{-3}$ м^2,
	$m\partial = \frac{F_{1\partial}}{F_{2\partial}} = \left(\frac{DN}{Dmp}\right)^2$,	$m\partial = \left(\frac{0{,}040}{0{,}050}\right)^2 = 0{,}640$,

Продолжение таблицы 5

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
	$n\partial = 5{,}580 \cdot 10^{-4} \cdot \beta\partial^2 + 1{,}050 \cdot 10^{-2} \cdot \beta\partial + 2{,}165 \cdot 10^{-2}$, $\zeta_{TУ\partial} = n \cdot (1-m)^2 + \lambda \cdot \frac{1-m^2}{8 \cdot sin\left(\frac{\beta\partial}{2}\right)}$, $La_{Ау\partial} = \frac{16 \cdot \left(1-m^{1,5}\right)}{3 \cdot sin\left(\frac{\beta\partial}{2}\right)} + 12{,}6 \cdot (sin\beta\partial)^{0,25}$	$n\partial = 5{,}580 \cdot 10^{-4} \cdot 15^2 + 1{,}050 \cdot 10^{-2} \cdot 15 + 2{,}165 \cdot 10^{-2} = 0{,}300$, $\zeta_{TУ\partial} = 0{,}300 \cdot (1-0{,}640)^2 + 2{,}457 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1-0{,}640^2}{8 \cdot sin\,7{,}5} = 0{,}053$, $La_{Ау\partial} = \frac{16 \cdot \left(1-0{,}640^{1,5}\right)}{3 \cdot sin\,7{,}5} + 12{,}600 \cdot (sin\,15)^{0,25} = 28{,}927$
Результаты расчета		$C_{KK} = \frac{0{,}059 + \left(\frac{1{,}257 \cdot 10^{-3}}{1{,}257 \cdot 10^{-3}}\right)^2 - \left(\frac{1{,}257 \cdot 10^{-3}}{1{,}964 \cdot 10^{-3}}\right)^2}{2 \cdot \left(1{,}257 \cdot 10^{-3}\right)^2} =$ $= \frac{0{,}059 + 1^2 - 0{,}640^2}{3{,}160 \cdot 10^{-6}} = 205506{,}329 \quad м^{-4}$; $C_{Лк} = \frac{20{,}651}{1{,}257 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}040} = 410838{,}591 \ м^{-3}$, $C_{K\partial} = \frac{0{,}053 + \left(\frac{1{,}257 \cdot 10^{-3}}{1{,}964 \cdot 10^{-3}}\right)^2 - \left(\frac{1{,}257 \cdot 10^{-3}}{1{,}257 \cdot 10^{-3}}\right)^2}{2 \cdot \left(1{,}257 \cdot 10^{-3}\right)^2} =$ $= \frac{0{,}053 + 0{,}640^2 - 1^2}{3{,}160 \cdot 10^{-6}} = -170063{,}291 \quad м^{-4}$;

Продолжение таблицы 5

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
		$Сл = \dfrac{28{,}927}{1{,}257 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}040} = 575484{,}380$ м$^{-3}$
Уточнить значения давлений до и после РА	$P_1p = \sqrt{P_1^2 - (A+B) \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot K_1 \cdot R \cdot T_1}$;	$A = 205506{,}329 \cdot 3{,}972^2 = 3242228{,}963$,
	$A = Скк \cdot Q_{м\,max}{}^2$,	$B = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 410838{,}591 \cdot 3{,}972 = 32{,}637$,
	$B = \eta \cdot Слк \cdot Q_{м\,max}$,	$P_1p = \sqrt{3{,}719^2 - (3242228{,}963 + 32{,}637) \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 0{,}98 \cdot 259{,}8 \cdot 293} =$ $= 3{,}653$ МПа ;
	$P_2p = \sqrt{P_2^2 + (A+B) \cdot 2 \cdot 10^{-12} \cdot K_2 \cdot R \cdot T_1}$,	$A = -170063{,}291 \cdot 3{,}972^2 = -2683051{,}808$,
	$A = Скд \cdot Q_{м\,max}{}^2$,	$B = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 575484{,}380 \cdot 3{,}972 = 45{,}716$,
	$B = \eta \cdot Слд \cdot Q_{м\,max}$	$P_2p = \sqrt{2{,}513^2 + (-2683051{,}808 + 45{,}716) \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 0{,}98 \cdot 259{,}8 \cdot 293} =$ $= 2{,}432$ МПа

Продолжение таблицы 5

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
4.3.5 Определение режима течения		
Рассчитать	$\frac{P_2}{P_1}$ или $\frac{P_{2}p}{P_{1}p}$ (с учетом конфузора и диффузора); $\left(\frac{P_2}{P_1}\right)кр = 1 - \left(\frac{\pi \cdot Cfг}{3{,}260}\right)^2$	$\frac{P_{2}p}{P_{1}p} = \frac{2{,}432}{3{,}653} = 0{,}6657$; $\left(\frac{P_2}{P_1}\right)кр = 1 - \left(\frac{\pi \cdot 0{,}8999}{3{,}2600}\right)^2 = 0{,}2487$
Сравнить	значения $\frac{P_2}{P_1}$ и $\left(\frac{P_2}{P_1}\right)кр$ или $\frac{P_{2}p}{P_{1}p}$ и $\left(\frac{P_2}{P_1}\right)кр$	
Если $\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \geq \left(\frac{P_2}{P_1}\right)кр$	**режим докритический**	$\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \geq \left(\frac{P_2}{P_1}\right)кр$ - режим докритический
Если $\left(\frac{P_2}{P_1}\right) < \left(\frac{P_2}{P_1}\right)кр$	**режим критический**: - работа РА будет сопровождаться высоким уровнем звукового давления; - для устранения высокого уровня звукового давления рекомендуется применить один из методов устранения критических режимов и выполнить расчет в соответствии с алгоритмом Приложения В	

Продолжение таблицы 5

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
4.3.6 Проверка правильности выбора *Kvy* и *DN*		
Рассчитать	$Ck(1) = \dfrac{12{,}702 \cdot 10^8}{Kvy^2}$, $A(Qi) = \dfrac{0{,}613 \cdot 10^6 \cdot P_1 p}{\sqrt{Ck(1) \cdot K_1 \cdot R \cdot T_1}}$	$Ck(1) = \dfrac{12{,}702 \cdot 10^8}{25^2} = 2032320$ м$^{-4}$, $A(Qi) = \dfrac{0{,}613 \cdot 10^6 \cdot 3{,}653}{\sqrt{2023320 \cdot 0{,}980 \cdot 259{,}800 \cdot 293}} = 5{,}764$
Принять	$\overline{Kv(l)} = 0{,}5$	$\overline{Kv(l)} = 0{,}5$
Рассчитать	$Cf_в = -0{,}036 \cdot \overline{Kv(l)} + 0{,}936$ по формуле, приведенной в таблице Г.2 (приложение Г) для выбранного типа РА; $Cf_г = Cf_в \cdot \sqrt{\dfrac{k}{0{,}469} \cdot \left(\dfrac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$, $\varphi_p = \dfrac{1{,}630}{Cf_г} \cdot \sqrt{1 - \dfrac{P_2}{P_1}}$	$Cf_в = -0{,}036 \cdot 0{,}500 + 0{,}936 = 0{,}918$; $Cf_г = 0{,}918 \cdot \sqrt{\dfrac{1{,}4}{0{,}469} \cdot \left(\dfrac{2}{1{,}4+1}\right)^{\frac{1{,}4+1}{1{,}4-1}}} = 0{,}918$, $\varphi_p = \dfrac{0{,}942}{0{,}9179} = 1{,}026$
Принять	$\varphi = \varphi_p$ - если $\varphi_p = \dfrac{1{,}630}{Cf_г} \cdot \sqrt{1 - \dfrac{P_2}{P_1}} < \dfrac{\pi}{2}$, $\varphi = \dfrac{\pi}{2}$ - если $\varphi_p = \dfrac{1{,}630}{Cf_г} \cdot \sqrt{1 - \dfrac{P_2}{P_1}} \geq \dfrac{\pi}{2}$	так как $\varphi_p = 1{,}026 < \dfrac{\pi}{2}$, принимаем $\varphi = \varphi_p$

Продолжение таблицы 5

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
Рассчитать функцию $Fi\left(\overline{Kv(l)}, Qi\right)$ при $\overline{Kv(l)} = 0{,}5$	$Fi\left(\overline{Kv(l)}, Qi\right) = Qi - A(Qi) \cdot \overline{Kv(l)} \times \times Cf_2\left(\overline{Kv(l)}\right) \cdot \sin\varphi$	$Fi\left(\overline{Kv(l)}, Qi\right) = 3{,}972 - 5{,}764 \cdot 0{,}500 \cdot 0{,}918 \cdot 0{,}866 = 1{,}681$
Рассчитать функцию $Fi\left(\overline{Kv(l)}, Qi\right)$ методом деления пополам интервала изменения $\overline{Kv(l)}$. $\overline{Kv(l)}$ рассчитывается по формулам таблицы Д.2 (приложение Д) для выбранного типа РА	- если $F_1\left(\overline{Kv(l)}, Qi\right) > 0$, то делить пополам следует отрезок (0,5–1,0) и для значения $\overline{Kv(l)} = 0{,}75$ рассчитать значение F_2; - если $F_1\left(\overline{Kv(l)}, Q\right) < 0$, то делить пополам следует отрезок (0,0–0,5) и для значения $\overline{Kv(l)} = 0{,}25$ рассчитать значение F_2; - на следующем шаге разделить пополам отрезок, на границах которого - значения функции $Fi\left(\overline{Kv(l)}, Qi\right)$ имеют противоположные знаки и для значения $\overline{Kv(l)}$ рассчитать значение $Fi\left(\overline{Kv(l)}, Qi\right)$;	Так как $Fi\left(\overline{Kv(l)}, Qi\right) = 1{,}681 > 0$ делим пополам отрезок (0,5 – 1,0). Результаты расчета приведены в таблице 6.

$\overline{Kv(l)}$	δ_1	$Cf_в$	Cf_2	φ_P	$Fi\left(\overline{Kv(l)}, Qi\right)$
0,7500	-	0,9090	0,9089	1,036	0,592
0,8750	0,167	0,9045	0,9044	1,042	0,035
0,9375	0,072	0,9022	0,9021	1,044	- 0,242
0,9062	0,033	0,9034	0,9033	1,043	- 0,104

Продолжение таблицы 5

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
	- процедура повторяется до тех пор, пока не выполнится условие $\delta_j = \left\| \frac{\left(\overline{Kv(l)}\right)_{j+1}}{\left(\overline{Kv(l)}\right)_j} - 1 \right\| \le 0{,}05$; - при выполнении условия принять значения $\overline{Kv(l)} = \left(\overline{Kv(l)}\right)_{j+1}$ и $Cf_{2\,j+1}$	$\overline{Kv(l)}p = 0{,}906$; $Cf_2 = 0{,}903$
Если $\left(\overline{Kv(l)}\right)_{j+1}$ соответствует $\varphi_p < \frac{\pi}{2}$	**режим докритический:** - в гидравлическую систему следует установить ранее выбранную РА	$\varphi_p = 1{,}043 < \frac{\pi}{2}$ - режим докритический
Если $\left(\overline{Kv(l)}\right)_{j+1}$ соответствует $\varphi_p \ge \frac{\pi}{2}$	**режим критический:** - работа РА будет сопровождаться высоким уровнем звукового давления; - для устранения высокого уровня звукового давления рекомендуется применить один из методов устранения критических режимов и выполнить расчет в соответствии с алгоритмом Приложения В	

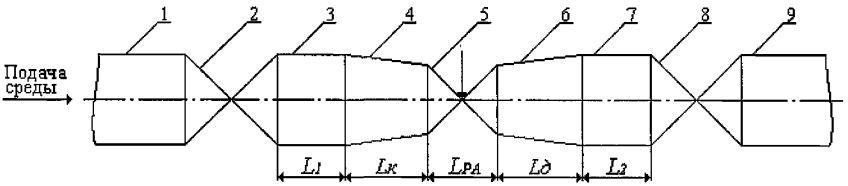
Окончание таблицы 5

Алгоритм расчета		Пример выбора РА
Рассчитать	$\frac{Kvy}{Kv(l)p} = \frac{1}{\overline{Kv(l)}}$	$\frac{Kv(l)p}{Kvy} = \overline{Kv(l)} = 0{,}906$
Проверить выполнение условия 2.2.7 $N_2 \geq \frac{Kv(l)p}{Kvy} \geq N_1$	- если $\frac{Kv(l)p}{Kvy} > N_2 \frac{Kvy}{Kv(l)p} < N_1$ принять следующее большее значение Kvy и соответствующее ей значение DN и повторить расчет, начиная с 4.3.4; - если $\frac{Kv(l)p}{Kvy} < N_1$, то пропускная способность РА должна быть меньше принятого значения Kvy. В случае, если в каталоге отсутствует РА, обеспечивающая требуемую Kvy, следует доработать профильную часть РЭл	
	- если $N_2 \geq \frac{Kv(l)p}{Kvy} \geq N_1$ - выбор Kvy и DN РА закончен	Условие выполняется. Выбор РА закончен.

4.4 Результаты примера расчета

В гидравлическую систему следует установить двухседельный регулирующий клапан номинального диаметра *DN* 40 с условной пропускной способностью $K_{VY} = 25$ м^3/ч.

Схема установки РА на трубопроводе приведена на рисунке 2.



1, 3, 7, 9 – трубопровод; 2, 8 – ЗА; 4 – конфузор; 5 – РА; 6 - конфузор

Рисунок 2 – Схема установки РА на трубопроводе

Основные размеры обвязки РА приведены в таблице 6.

Таблица 6

Длина прямых участков трубопровода		Конфузор		Диффузор	
до РА L_1, мм	после РА L_2, мм	длина $L_к$, мм	центральный угол $\beta_к$	длина $L_д$, мм	центральный угол $\beta_д$
≥ 101	≥ 82	≥ 19	≤ 30°	≥ 38	≤ 15°

Приложение А
(обязательное)

Обозначения, определения и сокращения

А.1 В настоящем стандарте применены следующие термины с условными обозначениями и соответствующими определениями

А.1.1 Условные обозначения

$Cfв$ - фактор критического расхода при течении воздуха;

$Cfг$ - фактор критического расхода при течении газа;

$Cк$ - квадратичный модуль, м$^{-4}$;

$Cл$ - модуль вязкости, м$^{-3}$;

$Cм(m)$ - обобщенная функция диафрагмы;

D - диаметр патрубка РА, м;

$Д$ - диапазон регулирования, указанный в ТД;

DN - номинальный диаметр РА;

$Dтр$ - диаметр трубопровода, на котором устанавливается РА, м;

F - площадь сечения патрубка РА, м^2;

FN - площадь сечения номинального диаметра РА, м^2;

$Fтр$ - площадь сечения номинального диаметра трубопровода, м^2;

K - коэффициент сжимаемости (коэффициент отклонения от законов идеального газа при $\frac{P}{Pкр}$ и $\frac{T}{Tкр}$);

Ka - коэффициент начала газовой кавитации РА;

$Kм$ - коэффициент развитой кавитации («запирания») РА;

Kc - коэффициент паровой кавитации РА;

Kv - пропускная способность, м^3 /ч;

Kvy - условная пропускная способность, м^3 /ч;

$\overline{Kv(l)} = \frac{Kv(l)}{Kvy} = \sqrt{\frac{Cк(1)}{Cк(l)}}$ - относительная пропускная способность;

$Laлу$ - критерий Лагранжа;

L - длина, м;

M - молярная масса, кг/моль;

N_1, N_2 - коэффициенты запаса по пропускной способности РА;

$P_{ат}$ - атмосферное давление, МПа;

$P_г$ - абсолютное давление, при котором из жидкости выделяется газ, МПа;

$P_{кр}$ - критическое давление среды, МПА;

$P_{нп}$ - абсолютное давление насыщенных паров при температуре рабочей среды, МПа;

$P_р$ - максимальное рабочее давление, указанное в КД, МПа;

$P_{сж}$ - абсолютное давление в сжатом сечении диафрагмы, МПа;

$P_ш$ абсолютное давление на входе (выходе) диафрагмы, МПа;

P_1 - абсолютное давление на входе в конфузор (при отсутствии конфузора абсолютное давление на входе РА), МПа;

$P_1(1)$ - абсолютное давление на входе РА при максимальном расходе среды, МПа;

P_2 - абсолютное давление на выходе из диффузора (при отсутствии диффузора абсолютное давление на выходе РА), МПа;

P^* - критическое термодинамическое давление, МПа;

$Q_м$ - массовый расход среды на входе в РА, необходимый по технологическому регламенту, кг/с;

$Q_{м\,max}$ - максимальный массовый расход среды, кг/с;

$Q_{м\,min}$ - минимальный массовый расход среды, кг/с;

R - газовая постоянная, Дж/кг·град;

Ry = 8314,41 - универсальная газовая постоянная, Дж/кг·град;

Re - число Рейнольдса;

T - температура среды, К;

$T_{кр}$ - критическая температура среды, К;

V - скорость потока среды, м/с;

$Гс(m_ш)$ - функция сжимаемости;

$Гп(m_ш)$ - функция потерь на диафрагме;

$d_ш$ - диаметр отверстия диафрагмы, мм;

k - показатель адиабаты;

l - относительный ход РЭл;

$m_ш$ - модуль диафрагмы (относительная площадь диафрагмы);

Δ - абсолютная шероховатость, м;

$\overline{\Delta}$ относительная шероховатость, м;

ΔP - перепад давления на участке системы, включающем в себя РА, конфузор и диффузор, МПа;

ΔPa - перепад давления, соответствующий началу газовой кавитации, МПа;

$\Delta P_{бк}$ - перепад давления, соответствующий началу паровой кавитации, МПа;

$\Delta P_{доп}$ допустимый перепад давления, указанный в КД, МПа;

$\Delta P_{кав}$ - перепад давления, соответствующий режиму развитой кавитации (режиму «запирания»), МПа;

$\Delta P_{РА}$ - перепад давления на РА, МПа;

$\Delta P_{РА\ min}$ - минимальный перепад давления на РА, МПа;

$\Delta P_ш$ перепад давления на диафрагме, МПа;

α - коэффициент расхода диафрагмы;

β - центральный угол, град;

ε - коэффициент сжатия диафрагмы;

$\zeta_{ТУ}$ - коэффициент сопротивления РА в режиме турбулентной автомодельности, отнесенный к площади номинального диаметра FN;

η_0 - коэффициент динамической вязкости при температуре 273 К, Па·с;

η - коэффициент динамической вязкости при температуре T_1, Па·с;

λ - коэффициент гидравлического трения;

ν - коэффициент кинематической вязкости, $м^2/с$;

ρ - плотность рабочей среды при рабочих условиях, $кг/м^3$;

ρ_0 - плотность рабочей среды при нормальных условиях (T_0= 273 К, P_0 = 1,0132·10^5 Па), кг/м^3.

А.1.2 Определения

А.1.2.1 **квадратичный модуль** C_K: Мера гидромеханического рассеивания энергии потока за счет проявления сил инерции - $C_K = \dfrac{\zeta_{TY} + \left(\dfrac{FN}{F_2}\right)^2 - \left(\dfrac{FN}{F_1}\right)^2}{2 \cdot FN^2}$.

А.1.2.2 **модуль вязкости** $C_Л$: Мера гидромеханического рассеивания энергии потока за счет проявления сил трения - $C_Л = \dfrac{La_{ЛУ}}{FN \cdot DN}$.

А.1.2.3 **коэффициент начала паровой кавитации** K_C: Параметр, обуславливающий перепад давления жидкости (при заданной температуре рабочей среды), при котором имеет место начало отклонения расходной характеристики $Q = f(\sqrt{\Delta P})$ от линейной.

А.1.2.4 **коэффициент развитой кавитации («запирания») при течении жидкости** K_M: Параметр, обуславливающий эффект «запирания», при котором увеличение перепада давления на РА не ведет к увеличению расхода.

А.1.2.5 **критерий Лагранжа** $La_{ЛУ}$: Отношение сил давления к силам вязкого трения в режиме ламинарной автомодельности (при 0<Re<40, $La_{ЛУ}$ =$const$).

А.1.2.6 **фактор критического расхода при течении воздуха** Cf_B: Параметр, задающий границу критического режима течения воздуха в РА.

А.1.2.7 **фактор критического расхода при течении газа** $Cf_Г$: Параметр, задающий границу критического режима течения газа в РА $Cf_Г = Cf_B \sqrt{\dfrac{k}{0{,}469} \cdot \left(\dfrac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$.

А.3 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ЗА - запорная арматура;

РА - регулирующая арматура;

РЭл - регулирующий элемент;

ТД - техническая документация.

А.4 В настоящем стандарте применены следующие индексы:

(1) - характеристика РА (параметры рабочей среды) при полностью открытом РЭл;

(l) - характеристика РА (параметры рабочей среды) при промежуточном положении РЭл;

$д$ - диффузор;

$к$ - конфузор;

$р$ - расчетное значение;

$РА$ - регулирующая арматура;

$ш$ - диафрагма;

1 - параметры на входе РА, конфузора, диффузора;

2 - параметры на выходе РА, конфузора, диффузора.

I - первая по потоку РА;

II - вторая по потоку РА.

Приложение Б
(рекомендуемое)

Технические характеристики и параметры РА

Таблица Б.1

Технические характеристики и параметры		Тип РА					
		Двухседельный клапан	Односедельный клапан		Клеточный клапан	Шаровой кран	Дисковый затвор
			разгружен-ный	неразгру-женный			
Давление рабочее Pp, МПа	От 0,25 до 1,6 включ.	+	+	+	+	+	+
	Св. 1,6 “ 6,4 “	+	+	-	+	+	x
	“ 6,4 “ 16,0 “	+	+	-	+	x	–
	“ 16,0	–	+	-	+	x	–
Перепад давления ΔP, МПа	До 1,2 включ.	+	+	+	+	+	+
	Св. 1,2 до 2,5 “	+	+	-	+	–	–
	“ 2,5 “ 4,0 “	–	+	-	+	x	–
	“ 4,0 “ 10,0 “	–	+	–	+	x	–
	“ 10,0	–	-	–	+	–	–
Герметичность в затворе	0,50 % от Kvy	+	+	+	+	+	+
	0,10 % от Kvy	+	+	+	+	+	+
	0,05 % от Kvy	+	o	+	+	+	+
	0,01 % от Kvy	–	+	+	+	–	–

Окончание таблицы Б.1

Технические характеристики и параметры		Тип РА					
		Двухседельный клапан	Односедельный клапан		Клеточный клапан	Шаровой кран	Дисковый затвор
			разгруженный	неразгруженный			
Вид рабочей среды	жидкая, газообразная	+	+	+	+	+	+
	загрязненная с механическими примесями	o	o	o	–	+	+
	кристаллизующаяся	x	x	x	–	x	x
	налипающая	–	–	–	–	x	x
	токсичная, взрывоопасная	+	+	+	+	+	+

Примечание: Условные обозначения в таблице:

+ - применение предпочтительное;

– - применение не рекомендуется;

x - требуется разработка новой конструкции;

o - применение допустимо, но не оптимально

Приложение В
(рекомендуемое)

Методы устранения кавитационных и критических режимов

В.1 Схемы обвязок

В.1.1 Схемы обвязок РА приведены на рисунках В.1 – В.6.

В.1.2 Рекомендуемые размеры обвязок РА определяются соотношениями

$L_1 = 3 \cdot DN - L_к$;

$L_2 = 3 \cdot DN - L_д$, если $L_2 < 0$, то принимаем $L_2 = 0$;

$$L_к = \frac{Dтр - DN}{2 \cdot tg\left(\frac{\beta_к}{2}\right)};$$

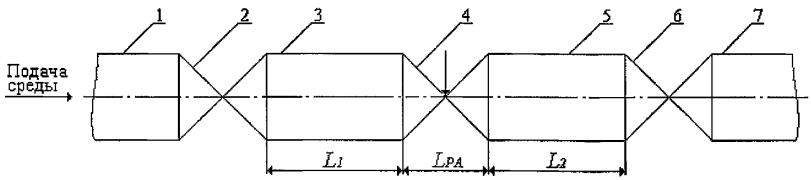
$$L_д = \frac{Dтр - DN}{2 \cdot tg\left(\frac{\beta_д}{2}\right)};$$

$\frac{L_{1ш}}{DN} = 22{,}20 \cdot m_ш^2 + 1{,}11 \cdot m_ш - 8{,}82$ - для односедельных и двухседельных клапанов и дисковых затворов;

$\frac{L_{1ш}}{DN} = 10{,}00 \cdot m_ш + 4{,}00$ - для шаровых кранов;

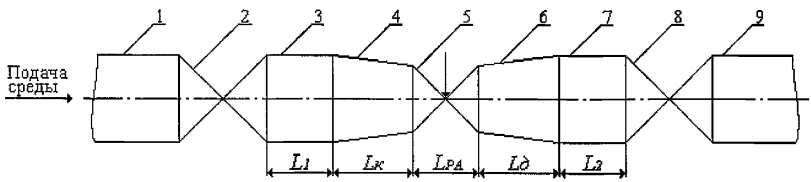
$\frac{L_{1ш}}{DN} = -5{,}56 \cdot m_ш^2 + 9{,}44 \cdot m_ш + 4{,}11$ - для любого типа РА;

$\frac{L_{2ш}}{DN} = 5{,}00 \cdot m_ш$.



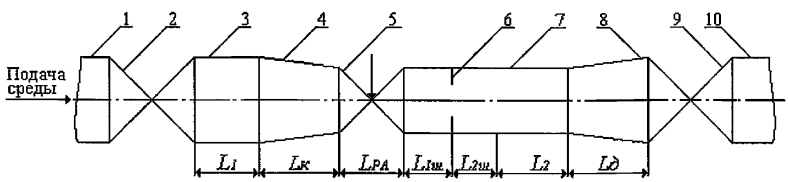
1, 3, 5, 7 – трубопровод; 2, 6 – ЗА; 4 – РА

Рисунок В.1 - Вариант 1 схемы обвязки РА (*DN* = *Dmp*)



1, 3, 7, 9 – трубопровод; 2, 8 – ЗА; 4 – конфузор; 5 – РА; 6 - диффузор

Рисунок В.2 - Вариант 2 схемы обвязки РА (*DN* < *Dmp*)

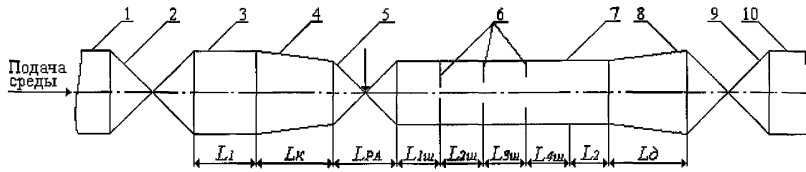


1, 3, 7, 10 – трубопровод; 2 ,9 – ЗА; 4 – конфузор;

5 – РА; 6 – диафрагма; 8 - диффузор

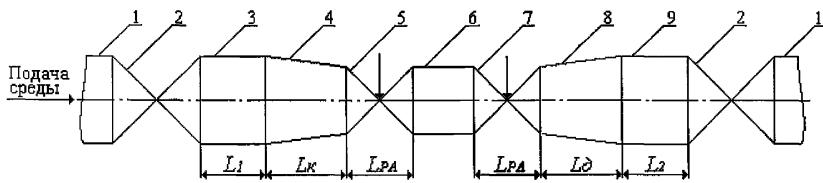
Рисунок В.3 - Вариант 3 схемы обвязки РА

(устранение критических режимов с помощью диафрагмы)



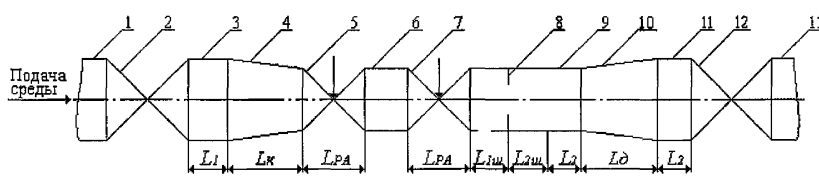
1, 3, 7, 10 – трубопровод; 2, 9 – ЗА; 4 – конфузор; 5 – РА;
6 – пакет диафрагм; 8 - диффузор

Рисунок В.4 - Вариант 4 схемы обвязки РА
(устранение критических режимов с помощью пакета диафрагм)



1, 3, 6, 9, 10 – трубопровод; 2 – ЗА; 4 – конфузор;
5 – первая РА; 7 – вторая РА; 8 - диффузор

Рисунок В.5 - Вариант 5 схемы обвязки РА
(устранение критических режимов с помощью
дополнительной РА)



1, 3, 6, 9, 11, 13 – трубопровод; 2,12 – ЗА; 4 – конфузор;
5 – первая РА; 7 – вторая РА; 8 – диафрагма; 10 - диффузор

Рисунок В.6 - Вариант 5 схемы обвязки РА
(устранение критических режимов с помощью
дополнительной РА и диафрагмы)

В.2 Методы устранения кавитации при течении несжимаемых сред

В.2.1 Алгоритмы расчетов параметров диафрагм и дополнительной РА приведены в таблице В.1.

Таблица В.1

Алгоритм расчета	
В.2.1.1 Устранение кавитации с помощью изменения места установки РА	
Изменить место установки РА в ГС	переместить РА выше по потоку, вследствие чего давление на входе РА увеличивается
Для нового значения давления $P_1(1)$ до РА выполнить расчет в соответствии с 3.3.2	
Если $Kc(1)_{треб} > 1$	в данной ГС любая РА будет работать в режиме кавитации и для его устранения следует применить методы устранения кавитации описанные в В.2.1.2 – В.2.1.5
Если $Kc(1)_{треб} < 1$	- определить режим течения в соответствии с 3.3.2; - в соответствии с 3.3.3-3.3.7: а) рассчитать Kvp; б) определить Kvy и DN
В.2.1.2 Устранение кавитации с помощью установки одной диафрагмы (вариант 3 схемы обвязки РА - рисунок В.3)	
Принять	минимальный перепад давления на РА $\Delta P_{РА\ min}$ равным $\Delta Pбк$ $\Delta P_{РА\ min} = \Delta Pбк$
Рассчитать	$Pш1 = P_1 - \Delta Pбк$
Если $Pш1 < Pнп$	жидкость кипит, кавитации в РА нет, но через нее проходит парожидкостная смесь. Расчет и выбор РА следует проводить для условия течения парожидкостной смеси
Если $Pш1 \geq Pнп$	рассчитать $\Delta Pш1 = \Delta P - (\Delta Pк + \Delta Pд) - \Delta Pбк$; $Гн(m) = \sqrt{\frac{8 \cdot Q_{max}^2}{\pi^2 \cdot DN^2 \cdot \rho \cdot \Delta Pш1}}$

Продолжение таблицы В.1

Алгоритм расчета	
Если $\Gamma_n(m) > 0{,}6934$	методы устранения кавитации применять не требуется
Если $\Gamma_n(m) < 9{,}4930 \cdot 10^{-4}$	следует применить методы устранения кавитации, описанные в В.2.1.3 – В.2.1.5
Если $9{,}4930 \cdot 10^{-4} \le \Gamma_n(m)$ $\Gamma_n(m) \le 0{,}6934$	- найти значение mp_1 по значению $\Gamma_n(m)$ по таблице В.3 методом линейной интерполяции; - рассчитать $C_м(m)_1 = \sqrt{\dfrac{8 \cdot {Q_{max}}^2}{\pi^2 \cdot DN^2 \cdot \rho \cdot (P_{ш1} - P_{нп})}}$
Если $C_м(m)_1 \ge 0{,}4883$	принять $(mp_1)_н = 0{,}64$
Если $C_м(m)_1 \le 0{,}0299$	принять $(mp_1)_н = 0{,}05$
Если $0{,}0299 < C_м(m)_1 < 0{,}4883$	найти значение $(mp_1)_н$ по значению $C_м(m)_1$ по таблице В.3 методом линейной интерполяции
Если условие $(mp_1)_н \le mp_1$ не выполняется	следует применить методы устранения кавитации, описанные в В.2.1.3 – В.2.1.5
Если условие $(mp_1)_н \le mp_1$ выполняется	- принять $m_ш = mp_1$, где mp_1 - определен по значению $\Gamma_n(m)$ по таблице В.3 методом линейной интерполяции; - рассчитать $d_ш = DN \cdot \sqrt[4]{m_ш}$; - расчет закончен

Продолжение таблицы В.1

Алгоритм расчета	
В.2.1.3 Устранение кавитации с помощью пакета диафрагм (вариант 4 схемы обвязки РА - рисунок В.4)	
Расчет каждой диафрагмы проводить в соответствии с В.2.1.2	
Принять	- на каждой диафрагме бескавитационный перепад давления $\Delta P_{ш} = \Delta P_{бк}$; - давление до диафрагмы равным давлению после предыдущей диафрагмы $(P_{ш1})i = (P_{ш2})_{i-1}$
В.2.1.4 Устранение кавитации с помощью установки дополнительной РА (вариант 5 схемы обвязки РА - рисунок В.5)	
Первой по направлению потока устанавливается РА, выбранная в 3.3.1– 3.3.3 и 3.3.5 – 3.3.6	
Рассчитать	- давление на входе во вторую РА $(P_{1p})_{II} = P_{1p} - (\Delta P_{PA\,min})_I$; - перепад давления на второй РА $(\Delta P_{PA})_{II} = (P_{1p})_{II} - P_2$
Определить режим течения в соответствии с 3.3.2	
Если условие (2.4) выполняется	- принять $DN_I = DN_{II}$; - рассчитать Kvp_{II} в соответствии с 3.3.3; - выбрать Kvy_{II} в соответствии с 3.3.3 и 3.3.7
Если условие (2.4) не выполняется	- либо выбрать первую РА с большими коэффициентами кавитации и повторить выбор РА в соответствии с 3.3.1 - 3.3.7 и В.2.1.4; - либо применить методы устранения кавитации, описанные в В.2.1.3, В.2.1.5

Окончание таблицы В.1

Алгоритм расчета	
В.2.1.5 Устранение кавитации с помощью установки дополнительной РА и диафрагмы (вариант 6 схемы обвязки РА - рисунок В.6)	
Первой по направлению потока устанавливается РА, выбранная в 3.3.1– 3.3.3 и 3.3.5 – 3.3.6	
Выбор второй РА	в соответствии с В.2.1.4
Расчет диафрагмы	в соответствии с В.2.1.2

В.3 Методы устранения критических режимов течения сжимаемых сред

В.3.1 Алгоритм расчета приведен в таблице В.2.

Таблица В.2

Алгоритм расчета	
В.3.1.1 Устранение критического режима течения с помощью диафрагмы (вариант 3 схемы обвязки РА - рисунок В.3)	
Рассчитать	$P_{2p} = P_{1p} \cdot \left[1 - \left(\frac{\pi \cdot Cf_2(1)}{3{,}62}\right)^2\right]$
Принять	$P_{ш1} = P_{2p}$ - давление на входе в диафрагму $P_{ш1}$ равным предельному давлению на выходе РА P_{2p}
Рассчитать	$\Delta P_{ш1} = P_{ш1} - P_{2p}$; $Г_n(m) = \sqrt{\frac{8 \cdot Q_{max}^2 \cdot 742 \cdot T_1 \cdot K_1}{\pi^2 \cdot Dmp^2 \cdot \rho \cdot (P_{ш1} - P_{2p})}}$, где K_1 - определяется по справочникам теплофизических свойств газов при значении $P = P_{ш1}$, либо по 4.3.2
Если $Г_n(m) < 9{,}4930 \cdot 10^{-4}$	следует применить методы устранения критических режимов, описанные в В.3.1.2 – В.3.1.4

Продолжение таблицы В.2

Алгоритм расчета	
Если $\Gamma n(m) \geq 9{,}4930 \cdot 10^{-4}$	- найти значения $(mp_1)_1$ и $\Gamma c(mp_1)_1$ по значению $\Gamma n(m)$ по таблице В.3 методом линейной интерполяции; - рассчитать $\Gamma n(mp_1)_1 = \dfrac{\Gamma n(m)}{1 - \left[\dfrac{\Gamma c(mp_1)_1 \cdot \Delta P ш_1}{(P ш_1) \cdot K_1}\right]^2}$; - уточнить значения $(mp_1)_2$ и $\Gamma c(mp_1)_2$ по значению $\Gamma n(mp_1)_1$ по таблице В.3; рассчитать $\Gamma n(mp_1)_2 = \dfrac{\Gamma n(m)}{1 - \left[\dfrac{\Gamma c(mp_1)_2 \cdot \Delta P ш_1}{(P ш_1) \cdot K_1}\right]^2}$; - уточнить значения $(mp_1)_3$ и $\Gamma c(mp_1)_3$ по значению $\Gamma n(mp_1)_2$ по таблице В.3
Если условие $(mp_1)_2 - (mp_1)_3 \leq 0{,}00005$ выполняется	принять $(mp_1)_1 = (mp_1)_3$
Если условие $(mp_1)_2 - (mp_1)_3 \leq 0{,}00005$ не выполняется	- рассчитать $\Gamma n(mp_1)_3 = \dfrac{\Gamma n(m)}{1 - \left[\dfrac{\Gamma c(mp_1)_3 \cdot \Delta P ш_1}{(P ш_1) \cdot K_1}\right]^2}$; - уточнить значения $(mp_1)_4$ и $\Gamma c(mp_1)_4$ по значению $\Gamma n(mp_1)_2$ по таблице В.3; - процедуру расчета модуля диафрагмы продолжать до тех пор, пока не выполнится условие $(mp_1)_{i-1} - (mp_1)_i \leq 0{,}00005$; - рассчитать $\varepsilon = 1 - \dfrac{\Gamma c(mp_1) \cdot \Delta P ш_1}{(P ш_1) \cdot K_1}$; - уточнить $\Delta P ш_1 = \dfrac{(1-\varepsilon) \cdot (P ш_1) \cdot K_1}{0{,}41 + 0{,}35 \cdot mp_1}$ - рассчитать $\dfrac{\Delta P ш_1}{P ш_1}$

Окончание таблицы В.2

Алгоритм расчета	
Если условие $\frac{\Delta P_{ш1}}{P_{ш1}} \le 0{,}25$ не выполняется	следует применить методы устранения критических режимов, описанные в В.3.1.2 – В.3.1.4
Если $\frac{\Delta P_{ш1}}{P_{ш1}} \le 0{,}25$	расчет закончен
В.3.1.2 Устранение критического режима течения с помощью установки пакета диафрагм (вариант 4 схемы обвязки РА - рисунок В.4)	
Расчет каждой диафрагмы проводить в соответствии с В.3.1.2	
Принять для каждой диафрагмы	$(P_{ш1})i = (P_{ш2})_{i-1}$; $(\Delta P_{ш})i = (\Delta P_{ш})_{i-1}$
В.3.1.3 Устранение критического режима течения с помощью установки дополнительной РА (вариант 5 схемы обвязки РА - рисунок В.5)	
Первой по направлению потока устанавливается РА, выбранная в 4.3.1 – 4.3.3 и 4.3.5 - 4.3.6	
Принять	$DN_1 = DN_2$; $(P_{1p})_2 = (P_{2p})_1$; $(P_{2p})_2 = P_{2p}$
Выбор второй РА	в соответствии с 4.3.1 – 4.3.3 и 4.3.5 - 4.3.6
В.3.1.4 Устранение критического режима течения с помощью установки дополнительной РА и диафрагмы (вариант 6 схемы обвязки РА - рисунок В.6)	
Первой по направлению потока устанавливается РА, выбранная в 4.3.1 – 4.3.3 и 4.3.5 - 4.3.6	
Выбор второй РА	в соответствии с В.3.1.3
Расчет диафрагмы	в соответствии с В.3.1.1

Таблица В.3

m	$C_м(m)$	$Г_п(m)$	$Г_с(m)$
0,05	0,0299	9,493E-04	0,4362
0,06	0,0359	1,386E-03	0,4419
0,07	0,0420	1,915E-03	0,4478
0,08	0,0480	2,538E-03	0,4598
0,09	0,0541	3,260E-03	0,4600
0,10	0,0602	4,086E-03	0,4665
0,11	0,0663	5,021E-03	0,4731
0,12	0,0725	6,070E-03	0,4799
0,13	0,0786	7,239E-03	0,4869
0,14	0,0848	8,533E-03	0,4942
0,15	0,0911	9,958E-03	0,5016
0,16	0,0974	1,152E-02	0,5093
0,17	0,1037	1,323E-02	0,5173
0,18	0,1100	1,510E-02	0,5255
0,19	0,1164	1,712E-02	0,5340
0,20	0,1228	1,931E-02	0,5427
0,21	0,1293	2,169E-02	0,5518
0,22	0,1358	2,452E-02	0,5612
0,23	0,1424	2,701E-02	0,5758
0,24	0,1490	2,998E-02	0,5808
0,25	0,1557	3,318E-02	0,5911
0,26	0,1624	3,661E-02	0,6018
0,27	0,1692	4,029E-02	0,6129
0,28	0,1760	4,423E-02	0,6244
0,29	0,1829	4,845E-02	0,6362
0,30	0,1899	5,297E-02	0,6485
0,31	0,1969	5,781E-02	0,6612
0,32	0,2040	6,298E-02	0,6744
0,33	0,2112	6,850E-02	0,6881
0,34	0,2185	7,440E-02	0,7023

Окончание таблицы В.3

m	$C_м(m)$	$Г_п(m)$	$Г_с(m)$
0,35	0,2258	8,071E-02	0,7170
0,36	0,2332	8,744E-02	0,7323
0,37	0,2407	9,463E-02	0,7482
0,38	0,2482	1,023E-01	0,7647
0,39	0,2559	1,105E-01	0,7818
0,40	0,2636	1,193E-01	0,7997
0,41	0,2715	1,286E-01	0,8182
0,42	0,2793	1,386E-01	0,8376
0,43	0,2874	1,493E-01	0,8577
0,44	0,2956	1,607E-01	0,8787
0,45	0,3038	1,729E-01	0,9006
0,46	0,3122	1,859E-01	0,9234
0,47	0,3206	1,999E-01	0,9473
0,48	0,3292	2,148E-01	0,9723
0,49	0,3380	2,308E-01	0,9984
0,50	0,3468	2,408E-01	1,0258
0,51	0,3558	2,664E-01	1,0545
0,52	0,3649	2,862E-01	1,0846
0,53	0,3742	3,075E-01	1,1162
0,54	0,3836	3,304E-01	1,1495
0,55	0,3932	3,550E-01	1,1845
0,56	0,4030	3,816E-01	1,2214
0,57	0,4129	4,103E-01	1,2604
0,58	0,4230	4,414E-01	1,3016
0,59	0,4334	4,750E-01	1,3453
0,60	0,4439	5,115E-01	1,3916
0,61	0,4546	5,512E-01	1,4448
0,62	0,4656	5,945E-01	1,4934
0,63	0,4768	6,420E-01	1,5494
0,64	0,4883	6,943E-01	1,6094

Приложение Г
(обязательное)

Гидродинамические характеристики РА

Таблица Г.1

Тип РА	Коэффициенты		
	a	*b*	*c*
Односедельные клапаны	55,4	1,70800	1,1770
Двухседельные клапаны	160,0	2,29200	1,3230
Дисковые затворы	276,0	0,07154	0,7679
Прочая арматура	240,0	1,30600	1,0770

Таблица Г.2

Тип РА		Расчетные формулы *Cfв*	Область применения
Двухседельные клапаны		$0{,}400 \cdot \overline{Kv(l)}^2 - 0{,}400 \cdot \overline{Kv(l)} + 0{,}610$	$0{,}00 < \overline{Kv(l)} \le 0{,}15$
		$-53{,}330 \cdot \overline{Kv(l)}^3 + 38{,}000 \cdot \overline{Kv(l)}^2 - 7{,}170 \cdot \overline{Kv(l)} + 1{,}040$	$0{,}15 < \overline{Kv(l)} \le 0{,}36$
		$-1{,}530 \cdot \overline{Kv(l)}^2 + 1{,}500 \cdot \overline{Kv(l)} + 0{,}555$	$0{,}36 < \overline{Kv(l)} \le 0{,}45$
		$-0{,}036 \cdot \overline{Kv(l)} + 0{,}936$	$0{,}45 < \overline{Kv(l)} \le 1{,}00$
Односедельные клапаны	подача среды под РЭл	$0{,}102 \cdot \overline{Kv(l)}^2 - 0{,}185 \cdot \overline{Kv(l)} + 0{,}982$	$0{,}00 < \overline{Kv(l)} \le 1{,}00$
	подача среды на РЭл	$0{,}100 \cdot \overline{Kv(l)} + 0{,}530$	$0{,}00 < \overline{Kv(l)} \le 0{,}15$
		$34{,}670 \cdot \overline{Kv(l)}^3 - 14{,}600 \cdot \overline{Kv(l)}^2 + 2{,}140 \cdot \overline{Kv(l)} - 0{,}435$	$0{,}15 < \overline{Kv(l)} \le 0{,}30$
		$-7{,}000 \cdot \overline{Kv(l)}^2 + 6{,}450 \cdot \overline{Kv(l)} - 0{,}605$	$0{,}30 < \overline{Kv(l)} \le 0{,}45$
		$-0{,}218 \cdot \overline{Kv(l)}^2 + 0{,}171 \cdot \overline{Kv(l)} + 0{,}847$	$0{,}45 < \overline{Kv(l)} \le 1{,}00$
Шаровые краны		$-45{,}0000 \cdot \overline{Kv(l)} - 0{,}9350$	$0{,}00 < \overline{Kv(l)} \le 0{,}60$
		$0{,}3125 \cdot \overline{Kv(l)}^2 - 0{,}6625 \cdot \overline{Kv(l)} + 0{,}9500$	$0{,}60 < \overline{Kv(l)} \le 1{,}00$
Дисковые затворы		$-0{,}2700 \cdot \overline{Kv(l)} + 0{,}8670$	$0{,}00 < \overline{Kv(l)} \le 0{,}60$
		$0{,}3125 \cdot \overline{Kv(l)}^2 - 0{,}6375 \cdot \overline{Kv(l)} + 0{,}9750$	$0{,}60 < \overline{Kv(l)} \le 1{,}00$

Приложение Д
(обязательное)

Формулы для расчета числа Рейнольдса и коэффициента гидравлического трения λ

Формулы для расчета числа Рейнольдса

$$\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{Dmp};$$

$$Re_2 = 2090 \cdot \left(\bar{\Delta}\right)^{-0,00645};$$

$$Re_{кр} = \frac{500}{\bar{\Delta}};$$

$$Red = \left[\left(\frac{A_0}{2 \cdot A_1}\right)^2 - \left(\frac{64}{A_1}\right)\right]^{0,5} + \frac{A_0}{2 \cdot A_1} \text{ - если } A_1 = \frac{B - C_2}{4000 - Re_2} < 0;$$

$$B = \frac{1}{0,5976 \cdot ln^2\left[0,2785 \cdot \left(\bar{\Delta}\right)^{1,25} + 0,0015875\right]};$$

$$C_2 = 0,0531 \cdot \left(\bar{\Delta}\right)^{0,004083} \text{ при } \bar{\Delta} \le 0,07;$$

$$C_2 = 0,1450 \cdot \left(\bar{\Delta}\right)^{0,244} \text{ при } \bar{\Delta} > 0,07;$$

$$Red = \frac{64}{A_0} \text{ - если } A_1 = 0;$$

$$A_0 = B - 4000 \cdot A_1;$$

$$Red = \left[\left(\frac{A_0}{2 \cdot A_1}\right)^2 + \left(\frac{64}{A_1}\right)\right]^{0,5} - \frac{A_0}{2 \cdot A_1} \text{ - если } A_1 > 0.$$

Формулы для расчета коэффициента гидравлического трения λ

$$\lambda = \frac{64}{Re} \text{ - если } Re \le Red;$$

$$\lambda = A_0 + A_1 \cdot Re \text{ - если } Red < Re \le 4000;$$

$$\lambda = \frac{1}{0,5976 \cdot ln^2\left[\frac{6,350}{Re} + 0,110 \cdot Re^{0,112} \cdot \left(\bar{\Delta}\right)^{1,250}\right]} \text{ - если } 4000 < Re \le Re_{кр};$$

$$\lambda = \frac{1}{\left[1,14 - 2,00 \cdot lg\left(\bar{\Delta}\right)\right]^2} \text{ - если } Re > Re_{кр}.$$

Генеральный директор ЗАО «НПФ «ЦКБА» В.П.Дыдычкин

Первый заместитель
генерального директора –
директор по научной работе Ю.И.Тарасьев

Заместитель генерального директора В.В.Ширяев

Заместитель главного конструктора
по арматуре общепромышленных систем
- начальник отдела стандартизации С.Н.Дунаевский

Начальник отдела экспертизы, диагностики,
испытаний, гидравлических исследований
и расчетов арматуры, к.т.н. Е.Г.Пинаева

Заместитель начальника отдела экспертизы,
диагностики, испытаний, гидравлических
исследований и расчетов арматуры М.И.Силивина

Ведущий математик отдела экспертизы,
диагностики, испытаний, гидравлических
исследований и расчетов арматуры М.И.Завьялова

СОГЛАСОВАНО

Председатель ТК 259 М.И.Власов

Лист регистрации изменений

Изм	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в докум.	№ докум.	Входящий № сопроводи-тельного документа и дата	Подп.	Дата
	изме-нённых	заме-нённых	но-вых	анну-лиро-ванных					

gost.e-ecolog.ru