Технический комитет по стандартизации
«Трубопроводная арматура и сильфоны» (ТК259)

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

ЦКБА

СТАНДАРТ ЦКБА

СТ ЦКБА 029-2006

Арматура трубопроводная

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И КАВИТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Санкт – Петербург
2010

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 14.04.2006 г. № 20.

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

4 ВЗАМЕН **РД РТМ** 26-07-32-99 «Арматура трубопроводная. Методика экспериментального определения коэффициентов сопротивления, коэффициентов расхода и пропускной способности» и **РД РТМ** 26-07-33-99 «Арматура трубопроводная. Методика экспериментального определения кавитационных характеристик».

5 СТАНДАРТ РАЗРАБОТАН НА БАЗЕ РУКОВОДЯЩИХ ДОКУМЕНТОВ **РД РТМ** 26-07-32-99 и **РД РТМ** 26-07-33-99, одобренных письмом Федеральной службы по атомному надзору (№8-10/220 от 20.04.2004 г.).

6 ПЕРЕИЗДАНИЕ в 2013 году с изменениями №1и №2.

По вопросам заказа стандарта ЦКБА
обращаться в ЗАО «НПФ «ЦКБА»
по тел/факс: (812) 458-72-04, 458-72-36, 458-72-43,
195027, Россия, С-Петербург, пр. Шаумяна, 4, кор.1, лит.А., а/я 33
E-mail: gost.e-ecolog.ru

© ЗАО «НПФ «ЦКБА», 2006

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

СОДЕРЖАНИЕ

1 Область применения 5

2 Нормативные ссылки 6

3 Определения, условные обозначения и сокращения 7

4 Требования, предъявляемые к испытательному участку стенда для определения гидравлических и кавитационных характеристик 11

5 Измерительные средства и приборы 16

6 Требования, предъявляемые к арматуре, поступающей на испытания 18

7 Общие правила статистической обработки экспериментальных данных 19

8 Порядок определения гидравлических и кавитационных характеристик

8.1 Общие требования, которые следует выполнять при определении гидравлических характеристик 20

8.2 Определение гидравлических характеристик запорной арматуры ... 21

8.3 Определение гидравлических и кавитационных характеристик регулирующей арматуры 29

8.4 Определение гидравлических характеристик предохранительных клапанов 40

8.5 Определение гидравлических характеристик обратных, невозвратно-запорных и невозвратно-управляемых клапанов, затворов обратных 45

Приложение А (рекомендуемое) Статистическая обработка экспериментальных данных при определении гидравлических и кавитационных характеристик 49

Приложение Б (рекомендуемое) Журналы регистрации экспериментальных данных 50

Приложение В (справочное) Значения коэффициентов трения трубопровода 56

Приложение Г (рекомендуемое) Расчет допустимых отклонений действительных значений пропускной способности от теоретических 57

Приложение Д (справочное) Значения коэффициента *S*, используемого для расчета скоростного давления 59

Библиография 60

Лист регистрации изменений 62

СТАНДАРТ ЦКБА

Арматура трубопроводная

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И КАВИТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Дата введения 2006 - 07 - 01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на трубопроводную арматуру, применяемую в технологических системах объектов, в т.ч. поднадзорных Ростехнадзору, а также объектов Министерства обороны РФ, и устанавливает методику экспериментального определения гидравлических характеристик арматуры в области квадратичного сопротивления на несжимаемых (ньютоновских) и сжимаемых средах (на воде и воздухе):

а) коэффициентов сопротивления (для запорной и обратной арматуры);

б) коэффициентов расхода при рабочих параметрах (для предохранительной арматуры);

в) пропускной способности при отсутствии кавитации и кавитационных характеристик (для регулирующей арматуры):

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 8.568-97 Аттестация испытательного оборудования. Основные положения

ГОСТ 12.2.085-2002 Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности

ГОСТ 12893-2005 Клапаны регулирующие односедельные, двухседельные и клеточные. Общие технические условия

ГОСТ 16504-81 Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения

ГОСТ 17433-80 Промышленная чистота. Сжатый воздух. Классы загрязненности

ГОСТ Р ИСО 8573-1-2005 Сжатый воздух. Часть 1. Загрязнения и классы чистоты

ГОСТ Р 52720-2007 Арматура трубопроводная. Термины и определения

МУ 2.1.5.1183-03 Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием воды в системах **технического** водоснабжения промышленных предприятий. **Методические указания**

СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. **Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения**

МИ 2304-08 ГСОЕИ. Метрологический контроль и надзор, осуществляемый метрологическими службами юридических лиц. **Основные положения**

ПР 50.2.006-94 Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок проведения поверки средств измерения

3 Определения, условные обозначения и сокращения

3.1 В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями и условными обозначениями

3.1.1 Определения

3.1.1.1 **арматура трубопроводная, задвижка, затвор дисковый, затвор обратный, клапан, клапан запорный, клапан невозвратно-запорный, клапан невозвратно-управляемый, клапан обратный, клапан предохранительный, клапан регулирующий, кран:** По ГОСТ **Р 52720.**

(Измененная редакция, Изм.№1)

3.1.1.2 **давление закрытия** $P_З$ **:** Избыточное давление на входе в ПК, при котором после сброса среды происходит посадка ЗЭл (золотника, диска) на седло с обеспечением заданной герметичности затвора.

3.1.1.3 **давление настройки** $P_Н$ **:** Избыточное давление на входе в ПК, при котором обеспечивается заданная степень герметичности в затворе.

3.1.1.4 **давление полного открытия** $P_{по}$ **:** Избыточное давление на входе в ПК, при котором совершается полный ход и достигается максимальная пропускная способность. При этом давлении следует проводить определение коэффициента расхода. Величина допустимого превышения давления полного открытия над давлением настройки приведена в 4.2 ГОСТ 12.2.085.

3.1.1.5 **давление рабочее** $P_Р$ **:** По ГОСТ **Р 52720.**

(Измененная редакция, Изм.№1)

3.1.1.6 **диапазон регулирования** $Д$**, пропускная способность** K_V**, пропускная способность относительная** $\frac{K_V}{K_{Vy}}$**, пропускная способность условная** K_{Vy}**, характеристика пропускная** $K_V = f(\overline{h_i})$**, характеристика пропускная действительная, характеристика пропускная линейная** $Л$**, характеристика пропускная равнопроцентная** $Р$**, ход относительный** $\overline{h_i} = \frac{h_i}{h_y}$**, ход РЭл (текущий ход)** h_i**, ход условный** h_y **:** По ГОСТ 12893.

3.1.1.7 **задвижка полнопроходная:** Задвижка, диаметр седла которой равен номинальному диаметру DN.

3.1.1.8 **затвор:** Узел арматуры, состоящий из седла и плунжера (золотника), при перемещении которого в проточной части арматуры реализуются различные проходные площади.

3.1.1.9 **кавитационный перепад давления допустимый** $\Delta P_{кав}$**:** Перепад давления, при котором наступает паровая кавитация и начинается отклонение функции $Q = f(\sqrt{\Delta P})$ от линейной зависимости.

3.1.1.10 **кавитационный перепад давления критический** $\Delta P_{кав\ max}$**:** Перепад давления, при котором наступает развитая кавитация и, начиная с которого при увеличении перепада давления на ИА, не происходит увеличения расхода.

3.1.1.11 **коэффициент начала паровой кавитации** K_c**:** Безразмерный параметр, обуславливающий при заданной температуре рабочей среды перепад давления на регулирующей арматуре, при котором начинается отклонение расходной характеристики $Q = f(\sqrt{\Delta P})$ от линейной зависимости.

3.1.1.12 **коэффициент развитой кавитации** $K_м$ **:** Безразмерный параметр, обуславливающий эффект «запирания», при котором увеличение перепада давления не ведет к увеличению расхода.

3.1.1.13 **коэффициент расхода для газа** α_1 **и для жидкости** α_2**:** По ГОСТ 12.2.085.

3.1.1.14 **коэффициент сопротивления** ζ**:** Безразмерный коэффициент, равный потере давления, деленной на скоростное давление.

3.1.1.15 **область квадратичного сопротивления:** Часть зоны турбулентного режима течения, при котором потери давления прямо пропорциональны коэффициенту сопротивления и средней скорости во второй степени [1].

3.1.1.16 **образец для испытаний:** По ГОСТ 16504.

3.1.1.17 **скоростное давление** $\frac{\rho \cdot v^2}{2}$**:** Давление, равное половине произведения квадрата скорости на плотность движущейся жидкости.

3.1.1.18 **угол открытия** φ**:** Угол между плоскостью седла и плоскостью уплотнительной поверхности ЗЭл (РЭл) арматуры поворотного типа.

3.1.1.19 **ход** h**:** Расстояние между уплотнительными поверхностями ЗЭл (РЭл) и седла.

3.1.2 Условные обозначения:

B **- коэффициент, учитывающий отношение абсолютных давлений до и после ИА;**

$\beta = \frac{P_2}{P_1}$ **- отношение абсолютных давлений до и после ИА;**

DN - номинальный диаметр;

Dmp - диаметр трубопровода, м;

FN - площадь условного прохода, м^2;

G - массовый расход, кг/с;

Q - объемный расход, м^3/с;

K **- коэффициент сжимаемости воздуха;**

$\overline{Kv}$ - фактическое среднеарифметическое значение пропускной способности, м^3/ч;

ΔKv - допустимое отклонение действительного значения пропускной способности от теоретического (расчетного), %;

L - строительная длина арматуры, м;

L_1, L_2 - длина прямого участка трубопровода «до» и «после» ИА, м;

α_1 **и** α_2 **- коэффициенты расхода соответственно по газу и по жидкости;**

N - количество экспериментальных значений;

P_1 - абсолютное давление до испытуемой арматуры, при котором начинается отклонение расходной характеристики от линейной зависимости, Па;

P_2 - абсолютное давление за ИА, Па;

$P_{нп}$ - абсолютное давление насыщенных паров воды при температуре t на входе в регулирующую арматуру, Па;

P^* - критическое термодинамическое давление среды, Па;

ΔP - перепад (потери) давления на арматуре, Па;

Re - число Рейнольдса;

$Re_{кв}$ - число Рейнольдса, соответствующее началу области квадратичного сопротивления;

V - объем жидкости, л;

g - ускорение свободного падения, м/с^2;

l_1, l_2 - расстояние от уплотнительной поверхности фланцев испытуемой арматуры до мест измерений (отбора) давлений, м;

v - средняя скорость, отнесенная к площади номинального прохода, м/с;

ν - кинематическая вязкость, м^2/с;

t - температура воды до испытуемой арматуры, °С;

ζ_c - коэффициент сопротивления системы в области квадратичного сопротивления;

ζ_{no} - коэффициент сопротивления при полном открытии арматуры в области квадратичного сопротивления;

$\zeta_{тр}$ - коэффициент сопротивления участка трубопровода между местами отборов давлений в области квадратичного сопротивления;

$\overline{\zeta}$ - среднее арифметическое значение коэффициента сопротивления;

$\lambda_{кв}$ - коэффициент трения в области квадратичного сопротивления;

λ_{Re} - коэффициент трения участка трубопровода между местами отбора давлений;

ρ - плотность среды, кг/м^3;

σ - среднее квадратичное отклонение;

τ - время, с;

φ_i - текущий угол открытия арматуры поворотного типа;

φ_{max} - максимальный угол открытия арматуры поворотного типа.

3.2 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ЗЭл - запирающий элемент;

ИА - испытуемая арматура;

ПК - предохранительный клапан;

РА - регулирующая арматура;

РЭл - регулирующий элемент;

ТД - техническая документация;

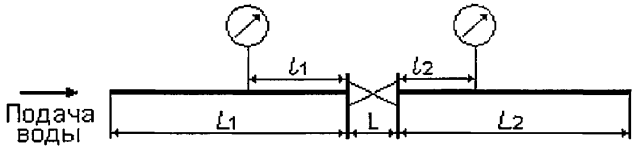
ТУ - технические условия.

4 Требования, предъявляемые к испытательному участку стенда для определения гидравлических и кавитационных характеристик

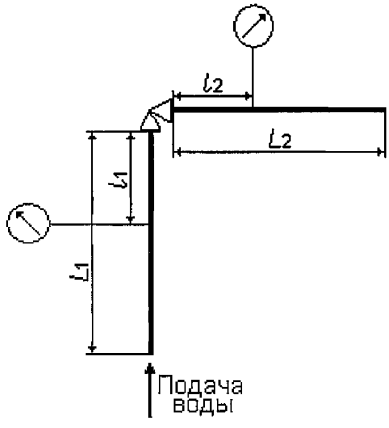
4.1 **Коэффициент сопротивления ζ, пропускная способность Kv, коэффициент расхода α_2 (α_1) определяются на стенде, имеющем в качестве испытательной среды как воду - несжимаемую жидкость, (воздух - сжимаемую жидкость). Коэффициенты начала паровой кавитации K_C и развитой кавитации K_M определяются на стенде, имеющем в качестве испытательной среды воду.**

4.2 Принципиальная схема испытательного участка гидравлического **или пневматического стенда** (места установки ИА), испытательной средой которого является или вода, или воздух, представлена на рисунке 1.

4.3 Принципиальная схема испытательного участка **пневматического** стенда для испытаний ПК представлена на рисунке 2. **ПК устанавливаются на трубопровод либо на емкость.** Сброс воздуха производится либо в глушитель, либо непосредственно в атмосферу.



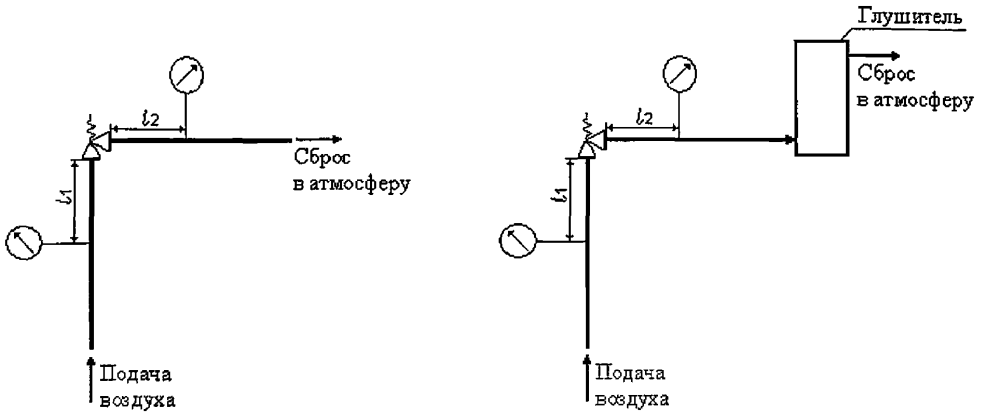
а) участок стенда для установки проходной арматуры



б) участок стенда для установки угловой арматуры

Рисунок 1 – **Принципиальная схема испытательного участка гидравлического или пневматического стенда**

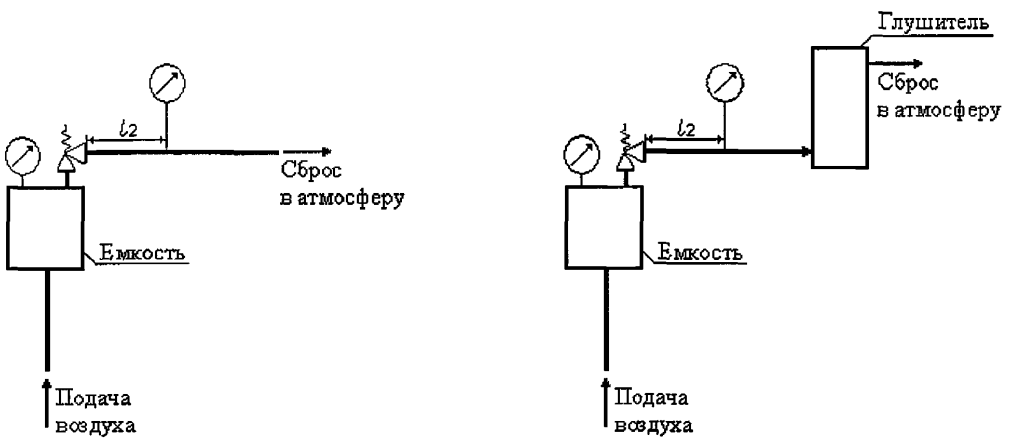
(Измененная редакция, Изм.№1)



1) сброс воздуха из ПК в атмосферу

2) сброс воздуха из ПК в глушитель

а) участок стенда при установке ПК на трубопровод



1) сброс воздуха из ПК в атмосферу

2) сброс воздуха из ПК в глушитель

б) участок стенда при установке ПК на емкость

Рисунок 2 - **Принципиальная схема испытательного участка пневматического стенда для испытаний ПК**

(Измененная редакция, Изм.№1)

4.4 Испытательный участок стенда должен состоять из двух прямых отрезков сменных трубопроводов без дополнительных местных сопротивлений.

Длина прямых отрезков сменных трубопроводов стенда должна быть не менее двадцати номинальных диаметров на входе арматуры ($L_1 \geq 20DN$) и не менее десяти номинальных диаметров на выходе ($L_2 \geq 10DN$) [2].

4.5 Значения расстояний от уплотнительной поверхности фланцев ИА до мест отбора давлений приведены в таблице 1 [2].

Таблица 1

Сменный трубопровод		Номинальный диаметр DN		
		от 3 до 6 включ.	св. 6 до 32 включ.	св. 32
Расстояние от уплотнительной поверхности фланцев до мест отбора давлений	до ИА l_1	от 6DN до 13DN	от 2DN до 5DN	от 1DN до 2DN
	после ИА l_2	« 6DN « 13DN	« 4DN « 6DN	« 4DN « 6DN

4.6 Для уменьшения вероятности образования воздушной пробки и скопления грязи отверстия отборов давления должны находиться в горизонтальном положении. Осевая линия отверстия должна пересекаться с осевой линией трубопровода и находиться к ней под прямым углом. В месте отбора давления отверстие в трубе должно быть круглым, а края должны быть вровень со стенками трубы, острыми и без заусенцев.

Внутренний диаметр отборов давления должен удовлетворять требованиям, приведенным в таблице 2 [2].

Таблица 2

Номинальный диаметр DN	Диаметр отбора давления, мм
От 3 до 10 включ.	0,2·DN
« 15 « 25 «	3,0
« 32 « 100 «	0,1·DN
Св. 100	12,0

4.7 Для испытания арматуры различных номинальных диаметров необходимо, чтобы трубопроводы (испытательный участок стенда), на которых устанавливается ИА, были сменными.

4.8 Внутренний диаметр присоединительных сменных трубопроводов *Dтр* должен соответствовать номинальному диаметру арматуры DN и отличаться от диаметров патрубков арматуры не более чем на 2 % [2].

Допустимая несоосность между осями сменного трубопровода испытательного участка стенда и патрубков ИА приведена в таблице 3 [2].

Таблица 3

Номинальный диаметр DN	Несоосность между осями штатного трубопровода и патрубков ИА, не более, мм
От 3 до 10 включ.	0,20
Св. 10 « 25 «	0,80
« 25 « 150 «	1,60
« 150	0,01· *Dтр*

4.9 Для испытания арматуры с различной строительной длиной рекомендуется предусмотреть на испытательном стенде компенсатор длины перед испытательным участком стенда или за ним.

Для испытания арматуры со смещенными осями патрубков рекомендуется предусмотреть компенсатор высоты.

4.10 Требования, предъявляемые к воде

4.10.1 Требования, предъявляемые к воде - по нормативным документам владельца стенда.

4.10.2 Допускается применять воду, соответствующую требованиям **МУ 2.1.5.1183, СанПиН 2.1.4.1074.**

(Измененная редакция, Изм.№1)

4.11 Требования, предъявляемые к воздуху

Качество сжатого воздуха должно быть не хуже регламентированного ГОСТ 17433 для класса 9. **Класс чистоты воздуха – 684 по ГОСТ Р ИСО 8573-1.**

(Измененная редакция, Изм.№1)

4.12 В процессе проведения испытаний температура испытательной среды должна быть:

- воды от плюс 10 °С до плюс 40 °С;

- воздуха от минус 10 °С до плюс 45 °С.

Прибор для измерения температуры рекомендуется устанавливать до испытуемой арматуры.

(Измененная редакция, Изм.№1)

4.13 Испытательный стенд должен быть аттестован в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.568.

4.14 Испытания должны проводиться при следующих **климатических** условиях:

- температура окружающего воздуха – **15 °С ± 25 °С;**
- относительная влажность при указанной температуре окружающего воздуха - от 45 % до **98 %**;
- атмосферное давление от 84,0 до 106,7 кПа (630 до 800 мм рт.ст.).

При проведении гидравлических испытаний разность температур стенки корпуса арматуры и окружающего воздуха не должна вызывать конденсацию влаги на поверхности стенок арматуры.

(Измененная редакция, Изм.№1)

5 Измерительные средства и приборы

5.1 Для определения гидравлических характеристик (ζ, Kv, α_1, α_2) и кавитационных характеристик (K_c, $K_м$) на испытательном стенде должно быть предусмотрено измерение следующих параметров:

- расхода испытательной среды;
- давления до ИА;
- давления после ИА;
- перепада давления на ИА;
- **температуры испытательной среды для определения плотности воздуха до ИА и давления насыщенных паров воды;**
- времени при определении расхода воды объемным методом;
- хода ЗЭл (РЭл).

(Измененная редакция, Изм.№1)

5.2 Погрешность измерения параметров

Погрешность измерения параметров при проведении испытаний не должна превышать значений, приведенных в таблице 4.

Таблица 4

Измеряемый параметр	Погрешность измерения параметров	
	относительная	абсолютная
Расход	± 1,0 %	-
Давление и перепад давления	± 1,5 %	-
Температура	-	± 1,0 °С
Время	-	± 0,2 с
Ход ЗЭл (РЭл)	± 0,5 %	-

5.3 Государственный надзор и ведомственный контроль за средствами измерений - **по МИ 2304 и ПР 50.2.006.**

(Измененная редакция, Изм. № 1).

5.4 Измерение расхода испытательной среды

5.4.1 Измерение расхода может осуществляться с помощью расходомеров любого типа.

5.4.2 Для измерения малых расходов воды рекомендуется применять объемный метод.

5.4.3 При использовании объемного метода измерения расхода воды проводится регистрация времени заполнения водой тарированного мерного сосуда, входящего в состав испытательного участка стенда.

В этом случае расход воды Q рассчитывается по формуле

$$Q = \frac{V}{10^{-3} \cdot \tau}, \qquad (1)$$

где V - измеряемый объем;

τ - время измерения.

5.5 Измерение давления и перепада давления

Измерение давления и перепада давления может проводиться любыми приборами, предназначенными для этих целей и поверенными в установленном порядке.

5.6 Измерение температуры

Измерение температуры может проводиться любым прибором, измеряющим температуру **испытательной среды.**

(Измененная редакция, Изм.№1)

6 Требования, предъявляемые к арматуре, поступающей на испытания

6.1 На испытания поступает арматура, прошедшая приемо-сдаточные испытания в полном объеме.

6.2 Арматура поступает на испытания со следующей сопроводительной документацией:

- сборочный чертеж;
- ТУ;
- паспорт с отметкой ОТК о проведении приемо-сдаточных испытаний;
- программа и методика испытаний;
- руководство по эксплуатации.

6.3 Количество образцов арматуры, подвергаемых испытаниям:

- при определении численных значений гидравлических характеристик серийных и опытных образцов арматуры и необходимости выдачи рекомендаций для внесения в ТД испытаниям подвергают не менее двух образцов, изготовленных по одному чертежу;

- при изготовлении и поставке одного изделия результаты испытаний этого изделия заносятся в паспорт и ТУ с уточнением гидравлических характеристик в ТУ при последующих испытаниях и поставках;

- при подтверждении численных значений гидравлических характеристик серийной арматуры испытаниям подвергают один образец.

6.4 Арматура должна соответствовать спецификации и сборочному чертежу. Соответствие устанавливается визуальным контролем.

Повреждения наружных поверхностей арматуры не допускаются.

6.5 Арматура должна обеспечивать ход (угол поворота) ЗЭл (РЭл), указанный на чертеже в пределах допуска.

6.6 Запорная арматура с приводом (электро-, пневмо- и гидроприводом) должна поставляться на испытания с ходом (углом поворота) ЗЭл, отрегулированным на ход по чертежу с минусовым допуском.

6.7 Если при эксплуатации запорной арматуры люфты подвижной системы, связанной с ЗЭл, от воздействия давления выбираются, то перед началом проведения испытаний все люфты должны быть устранены.

6.8 Если при эксплуатации запорной арматуры люфты подвижной системы, связанной с ЗЭл, не устраняются, то арматура должна поставляться на испытания с ходом, меньше указанного на чертеже на величину люфтов, при этом суммарная величина люфтов должна быть известна.

7 Общие правила статистической обработки экспериментальных данных

7.1 Статистическая обработка экспериментальных значений любой гидравлической характеристики $x_1 \dots x_N$ проводится в следующей последовательности аналогично для каждого значения хода ЗЭл (РЭл):

- рассчитать среднее арифметическое значение по формуле

$$\bar{x} = \frac{\sum_{k=1}^{N} x_k}{N}, \qquad (2)$$

где: Xk - численное значение гидравлической характеристики (либо ζ, либо Kv, либо α_1 (α_2));

- рассчитать среднее квадратичное отклонение по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N} (\bar{x} - x_k)^2}{N-1}}; \qquad (3)$$

- рассчитать нижнюю $x_н$ и верхнюю $x_в$ границы трехсигмового интервала по формулам

$$x_н = \bar{x} - 3\sigma, \quad (4)$$

$$x_в = \bar{x} + 3\sigma; \quad (5)$$

- отбросить экспериментальные значения, выходящие за этот интервал, («грубые» ошибки) и по оставшимся данным повторить расчет по формулам (2) - (5).

Алгоритм статистической обработки экспериментальных данных приведен в приложении А.

8 Порядок экспериментального определения гидравлических и кавитационных характеристик

8.1 Общие требования, которые следует выполнять при определении гидравлических характеристик

8.1.1 Экспериментальное определение гидравлических характеристик, кроме кавитационных, следует проводить в области квадратичного сопротивления **и, если испытания проводятся на воде,** то при отсутствии кавитации.

(Измененная редакция, Изм.№1)

8.1.2 Для любого типа арматуры номинальных диаметров $3 \le DN \le 250$ для всех степеней открытия ЗЭл (РЭл) область квадратичного сопротивления наступает при числах Рейнольдса $Re_{кв} = 2 \cdot 10^4$.

Для арматуры номинальных диаметров DN > 250 область квадратичного сопротивления $Re_{кв}$ должна быть определена в процессе экспериментального определения коэффициентов сопротивления и пропускной способности. Порядок определения $Re_{кв}$ изложен в 8.2.3.

Отсутствие кавитации при всех степенях открытия обеспечивается при избыточном давлении после арматуры P_2 большем, чем 0,2 МПа.

8.1.3 Направление подачи рабочей среды должно соответствовать направлению стрелки, выбитой на корпусе или указанной на чертеже.

8.1.4 Арматура устанавливается на испытательном участке стенда в соответствии с требованиями ТД.

8.1.5 В процессе проведения эксперимента на фиксированном ходе ЗЭл (РЭл) следует следить за тем, чтобы при изменении расхода воды величина хода не изменялась. Установку ЗЭл (РЭл) в каждое новое положение следует проводить от поверхности седла.

8.2 Определение гидравлических характеристик запорной арматуры

8.2.1 Гидравлической характеристикой запорной арматуры (клапанов, затворов дисковых, задвижек, кранов и т.д.) является коэффициент сопротивления ζ, характеризующий гидравлическое совершенство ее проточной части в области квадратичного сопротивления.

8.2.2 Для запорной арматуры определяются:

- коэффициент сопротивления на ходе ЗЭл, указанном на чертеже с учетом минусового допуска (для клапанов и задвижек), либо на угле открытия, указанном на чертеже (для кранов и затворов дисковых);

- зависимость коэффициента сопротивления от степени открытия ЗЭл, которая позволяет при заданном значении коэффициента сопротивления найти минимальное значение хода (угла поворота):

для клапанов и задвижек - $\zeta = f(h_i)$ или $\zeta = f\left(\frac{h_i}{DN}\right)$;

для кранов и затворов дисковых - $\zeta = f(\varphi_i)$ или $\zeta = f\left(\frac{\varphi_i}{\varphi_{черт\,ном}}\right)$.

Определение зависимости коэффициента сопротивления от степени открытия ЗЭл проводится по требованию заказчика.

8.2.3 Определение коэффициента сопротивления запорной арматуры DN ≤ 250 в области квадратичного сопротивления рекомендуется проводить в следующей последовательности:

8.2.3.1 Установить ИА на рабочем участке стенда в соответствии с требованиями 4.4 - 4.8.

Несоосность, указанная в таблице 3, обеспечивается присоединительными размерами оснастки, изготавливаемой для проведения испытаний, в соответствии с требованиями соответствующих стандартов.

8.2.3.2 Установить ЗЭл арматуры в положение полного открытия с учетом минусового допуска на ход (или угол поворота) и зафиксировать в этом положении.

8.2.3.3 Отрегулировать штатной арматурой стенда режим испытания изделия в соответствии с требованиями 8.1.2.

8.2.3.4 Рассчитать число Рейнольдса по одной из формул

$$Re = \frac{\upsilon \cdot DN \cdot 10^{-3}}{\nu}, \qquad (6)$$

или

$$Re = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \nu \cdot DN \cdot 10^{-3}}, \qquad (7)$$

где $\upsilon = \frac{Q}{FN}$; $FN = \frac{\pi \cdot DN^2 \cdot 10^{-6}}{4}$.

8.2.3.5 В установившемся режиме (время выхода на режим не менее трех минут) провести измерение расхода, проходящего через арматуру, и перепада давления на арматуре.

8.2.3.6 Рассчитать коэффициент сопротивления по формуле

$$\zeta = \frac{2 \cdot \Delta P \cdot FN^2 \cdot B^2}{Q^2 \cdot \rho} \qquad (8)$$

где B =1,0 - при испытаниях на воде независимо от значений P_1 и P_2 и при испытаниях на воздухе для отношения давлений $\frac{P_2}{P_1} \geq 0{,}9$. B определяется из таблицы А.2 – при испытаниях на воздухе для отношения давлений $\frac{P_2}{P_1} < 0{,}9$. Плотность воздуха рассчитывается по формуле $\rho = \frac{3{,}48 \cdot 10^{-3} \cdot P_1}{K\,(t+293)}$. Коэффициент сжимаемости K определяется в соответствии с таблицей А.3.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

8.2.3.7 С помощью штатной арматуры увеличить или уменьшить расход при условии выполнения требований 8.1.2 и 8.1.4 так, чтобы перепад давления на арматуре изменялся не менее, чем на 15 кПа. Замерить расход, перепад давления и рассчитать величину коэффициента сопротивления по формуле (8). Изменение расхода следует проводить не менее пяти раз.

8.2.3.8 При положениях ЗЭл на ходах h_i, соответствующих (5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90) % чертежного хода или угла поворота или при положениях, указанных заказчиком, провести определение коэффициента сопротивления, соблюдая требования, изложенные в 8.1.2 и 8.1.4, и в соответствии с порядком, изложенным в 8.2.3.3 - 8.2.3.8.

8.2.3.9 Данные измерений, расчетные величины коэффициента сопротивления и числа Рейнольдса Re следует вносить в журнал регистрации по форме, приведенной в таблице Б.1.

8.2.4 Определение коэффициента сопротивления запорной арматуры DN > 250 в области квадратичного сопротивления рекомендуется проводить в следующей последовательности:

8.2.4.1 Установить ИА на рабочем участке стенда в соответствии с требованиями 4.4 - 4.8.

8.2.4.2 Установить ЗЭл арматуры в положение полного открытия и зафиксировать в этом положении.

8.2.4.3 Отрегулировать штатной арматурой стенда режим, соответствующий числу Рейнольдса в диапазоне $Re = 10^4 \cdot 2 \cdot 10^4$, рассчитав число Рейнольдса по одной из формул (6) или (7).

8.2.4.4 Провести определение коэффициента сопротивления в соответствии с 8.2.3.5 и 8.2.3.6.

8.2.4.5 С помощью штатной арматуры увеличить расход, увеличив тем самым число Рейнольдса ориентировочно на (8 - 10) %, и провести определение коэффициента сопротивления в соответствии с 8.2.3.5 и 8.2.3.6.

8.2.4.6 Расход **испытательной среды** следует увеличивать до тех пор, пока коэффициент сопротивления ИА не станет постоянной величиной, то есть при увеличивающихся значениях расхода (или что, то же самое, числах Рейнольдса) три – пять значений коэффициента сопротивления будут находиться в диапазоне ($\zeta \pm \Delta\zeta$), где $\Delta\zeta$ - погрешность определения коэффициента сопротивления на испытательном стенде.

Погрешность определения коэффициента сопротивления рассчитывается по формуле

$$\frac{\Delta\zeta}{\zeta} = \frac{\Delta\Delta P}{\Delta P} + 2\frac{\Delta Q}{Q} + \frac{\Delta\rho}{\rho}, \qquad (9)$$

где $\Delta\Delta P$ - цена деления прибора, измеряющего перепад давления;

ΔQ - цена деления прибора, измеряющего расход;

$\Delta\rho$ - погрешность измерения плотности **испытательной среды.**

(Измененная редакция, Изм.№1)

Минимальное значение числа Рейнольдса, при котором наступает постоянство коэффициента сопротивления, является числом, с которого начинается область квадратичного сопротивления для испытуемого образца арматуры.

8.2.4.7 В области квадратичного сопротивления произвести определение коэффициента сопротивления в соответствии с 8.2.3.5 – 8.2.3.8.

8.2.5 Для полнопроходных задвижек и кранов всех условных проходов, а также для прочей запорной арматуры номинальных проходов до DN 32 включительно, следует проводить уточнение величины коэффициента сопротивления при полном открытии, определенной в соответствии с 8.2.3.3 – 8.2.3.8. Это уточнение заключается в учете сопротивления участка трубопровода между местами отбора давления, так как величина коэффициента сопротивления этого участка может быть сопоставима с величиной коэффициента сопротивления, указанной выше арматуры при полном открытии.

Коэффициент сопротивления при полном открытии ζ_{no} указанной арматуры рассчитывается по формуле

$$\zeta по = \zeta с - \zeta тр, \qquad (10)$$

где $\zeta с$ - коэффициент сопротивления системы, включающей ИА и участок трубопровода между местами отбора давлений, определенный экспериментально в соответствии с 8.2.3.3 – 8.2.3.7;

$\zeta тр$ - коэффициент сопротивления участка трубопровода между местами отбора давлений.

8.2.6 Коэффициент сопротивления участка трубопровода между местами отбора давлений $\zeta тр$ определяется в следующей последовательности:

8.2.6.1 Соединить трубопровод до ИА с трубопроводом после арматуры без самой арматуры и каких-либо проставок.

8.2.6.2 Установить расход **среды,** при котором число Рейнольдса будет не менее $Re \geq 10^5$, что соответствует области квадратичного сопротивления для трубопроводов. Расход, при котором $Re \geq 10^5$, должен быть не менее величины, рассчитанной по формуле

$$Q = \frac{\pi \cdot DN \cdot 10^{-4}}{4}, \qquad (11)$$

с учетом того, что кинематическая вязкость воды при температуре t = 15 °С равна $\nu = 1{,}01 \cdot 10^{-6}$ м^2/с, **а воздуха** $\nu = 1{,}5 \cdot 10^{-5}$ **м^2/с.**

(Измененная редакция, Изм.№1)

8.2.6.3 С помощью штатной арматуры установить расход **испытательной среды,** не менее величины, рассчитанной по формуле (11).

(Измененная редакция, Изм.№1)

8.2.6.4 Измерить расход среды и перепад давления.

8.2.6.5 Рассчитать коэффициент трения $\lambda кв$, полученный в области квадратичного сопротивления, по формуле

$$\lambda кв = \frac{2 \cdot \Delta P \cdot FN^2 \cdot DN \cdot 10^{-3} \cdot B^2}{Q^2 \cdot \rho \cdot (l1 + l2)}. \qquad (12)$$

(Измененная редакция, Изм.№1)

8.2.6.6 Изменить режим течения **испытательной среды** не менее шести раз при обязательном выполнении условия $Q \geq 0{,}0785 \cdot DN \cdot 10^{-3}$ и рассчитать значения $\lambda_{кв}$ по формуле (12) и Re по одной из формул (6) или (7).

(Измененная редакция, Изм.№1)

8.2.6.7 Для каждого значения $\lambda_{кв}$ и соответствующего числа Рейнольдса Re по приложению В найти величину относительной шероховатости $\overline{\Delta_i}$. По значениям $\overline{\Delta_i}$ рассчитать среднюю величину относительной шероховатости $\overline{\Delta}$ участка трубопровода между местами отбора давлений.

8.2.6.8 Относительную шероховатость $\overline{\Delta}$ для всех сменных трубопроводов испытательного стенда рекомендуется определить заранее. В связи с тем, что шероховатость трубопровода в процессе эксплуатации меняется, рекомендуется уточнять значение $\overline{\Delta}$ не реже, чем один раз в пять лет.

8.2.6.9 В процессе экспериментального определения коэффициентов сопротивления полностью открытых полнопроходных задвижек и кранов всех номинальных проходов, а также прочей запорной арматуры условных проходов до DN 32 включительно, следует:

- по величине $\overline{\Delta}$, определенной в соответствии с 8.2.6.2 - 8.2.6.7 и значению числа Рейнольдса, имеющем место в проводимом эксперименте, по приложению В определить значение коэффициента λ_{Re};

- рассчитать коэффициент сопротивления трубопровода между местами отбора давлений $\zeta_{тр}$ по формуле

$$\zeta_{тр} = \lambda_{Re} \frac{l_1 + l_2}{\mathrm{DN} \cdot 10^{-3}}; \qquad (13)$$

- рассчитать коэффициент сопротивления арматуры при полном открытии $\zeta_{по}$ по формуле (10).

8.2.7 Обработка экспериментальных данных, полученных при испытаниях запорной арматуры

8.2.7.1 Обработка экспериментальных данных, полученных при испытаниях запорной арматуры на ходе ЗЭл, указанном на чертеже с учетом минусового допуска (для клапанов и задвижек), либо на угле открытия, указанном на чертеже (для кранов и затворов дисковых);

8.2.7.1.1 при подтверждении численных значений гидравлических характеристик на ходе ЗЭл, указанном на чертеже с учетом минусового допуска (на угле открытия ЗЭл, указанном на чертеже), провести статистическую обработку экспериментальных данных в соответствии с 7.1, подставляя в формулы (2) – (5) вместо $x_1 \dots x_N$ экспериментальные значения коэффициентов сопротивления. За величину коэффициента сопротивления принимается значение ζ, рассчитанное по формуле (5);

8.2.7.1.2 при определении численных значений гидравлических характеристик статистическую обработку экспериментальных данных, полученных при испытании каждого изделия, проводят в соответствии с 8.2.7.1.1.

Значение коэффициента сопротивления принимается большее из двух, рассчитанных по формуле (5).

8.2.7.2 Обработка экспериментальных данных, полученных при определении зависимости коэффициента сопротивления запорной арматуры от степени открытия ЗЭл

8.2.7.2.1 последовательность проведения обработки экспериментальных данных:

а) для каждого образца при разных степенях открытия h_i (φ_i) провести статистическую обработку в соответствии с 7.1, подставляя в формулы (2) – (5) вместо $x_1 \dots x_N$ экспериментальные значения коэффициентов сопротивления ζ;

б) при одинаковых степенях открытия h_i (φ_i) объединить полученные среднеарифметические значения $\overline{\zeta}$ испытанных образцов и с помощью метода наименьших квадратов определить коэффициенты уравнения регрессии, имеющего вид

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2, \qquad (14)$$

где a_0, a_1, a_2 - коэффициенты уравнения регрессии,

$x = h_i$ или $x = \varphi_i$, либо $x = \frac{h_i}{DN}$ или $x = \frac{\varphi_i}{\varphi_{черт\ ном}}$;

в) для наглядности рекомендуется построить графики зависимостей $\zeta_{расч} = f(h_i)$ или $\zeta_{расч} = f(\varphi_i)$, либо $\zeta_{расч} = f\left(\frac{h_i}{DN}\right)$ или $\zeta_{расч} = f\left(\frac{\varphi_i}{\varphi_{черт\ ном}}\right)$.

8.2.7.2.2 с помощью уравнения регрессии либо графика можно решить следующие задачи:

- если известна степень открытия ЗЭл h_i (φ_i), то можно определить ζ для этой степени открытия,

- по известному значению ζ определить степень открытия ЗЭл h_i (φ_i), при которой он реализуется.

8.2.7.2.3 значение коэффициента сопротивления при любой степени открытия ЗЭл следует рассчитывать по формуле

$$\zeta = \zeta_{расч} \cdot (1 + \overline{\Delta_{ср}}), \qquad (15)$$

где $\zeta_{расч}$ - значение коэффициента сопротивления, рассчитанное по формуле (14);

$\overline{\Delta_{ср}}$ - погрешность аппроксимации, рассчитанная по формуле

$$\overline{\Delta_{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{\left|\zeta_{расч_i} - \zeta_{эксп_i}\right|}{\zeta_{эксп_i}}}{N}.$$

8.2.8 Гидравлические характеристики запорной арматуры, вносимые в техническую документацию

В ТД на запорную арматуру рекомендуется вносить запись:

«Коэффициент сопротивления ζ не более ...». В тексте указывается значение ζ, определенное в 8.2.7.1, либо рассчитанное по формуле (15) для степени открытия h_i (φ_i), заданной заказчиком.

8.3 Определение гидравлических и кавитационных характеристик регулирующей арматуры

8.3.1 Гидравлическими характеристиками РА являются:

- пропускная способность Kv, характеризующая гидравлическое совершенство проточной части РА;

- вид пропускной характеристики.

Кавитационными характеристиками, определяющими начало наступления критических режимов течения несжимаемых рабочих сред, являются:

- коэффициент начала паровой кавитации Kc,

- коэффициент развитой кавитации $Kм$.

8.3.2 Для регулирующей арматуры:

- определяются:

а) условная пропускная способность Kvy на условном ходе hy,

б) действительная пропускная характеристика $Kv = f(h_i)$ или $Kv = f(\varphi_i)$ (далее - пропускная характеристика),

в) зависимости коэффициента начала паровой кавитации Kc и коэффициента развитой кавитации $Kм$ от относительной пропускной способности – $Kc = f\left(\frac{Kv_i}{Kvy}\right)$ и $Kм = f\left(\frac{Kv_i}{Kvy}\right)$;

- рассчитываются:

а) допустимые отклонения действительных значений пропускной способности от теоретических (расчетных) ΔKv_i (в соответствии с ГОСТ 12893),

б) относительная пропускная характеристика $\frac{Kv}{Kvy} = f\left(\frac{h_i}{hy}\right)$ или $\frac{Kv}{Kvy} = f\left(\frac{\varphi_i}{\varphi max}\right)$,

в) диапазон регулирования $Д$.

8.3.3 Общие требования

8.3.3.1 Определение Kvy и пропускной характеристики проводится в области квадратичного сопротивления при условии отсутствия кавитации.

8.3.3.2 Определение пропускной и кавитационных характеристик проводится при положениях РЭл, соответствующих (5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) % условного хода h_y или угла поворота φ_{max}.

Для каждого положения РЭл эксперимент проводится не менее пяти раз.

8.3.3.3 Установить РА на рабочем участке стенда в соответствии с требованиями 4.6 и 8.1.3.

8.3.3.4 Открыть РА на требуемую величину хода или угла поворота и зафиксировать РЭл в этом положении при соблюдении требований 8.1.4.

8.3.3.5 Отрегулировать штатной арматурой режим испытания РА в области квадратичного сопротивления при условии отсутствия кавитации в соответствии с требованиями 8.1.2 и 8.1.4, **если испытания проводятся на воде.**

(Измененная редакция, Изм.№1)

8.3.4 Определение условной пропускной способности Kvy и пропускной характеристики $Kv = f(h_i)$ или $Kv = f(\varphi_i)$

8.3.4.1 Определение Kvy и пропускной характеристики проводится в следующей последовательности:

- отрегулировать штатной арматурой режим испытания РА;

- рассчитать число Рейнольдса по одной из формул (6) или (7);

- в установившемся режиме (время выхода на режим не менее трех минут) провести измерение расхода и перепада давления на РА и рассчитать величину пропускной способности по формуле

$$Kv = \frac{3{,}57 \cdot 10^4 Q}{B} \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P}}\ ; \qquad (16)$$

(Измененная редакция, Изм.№1)

- с помощью штатной арматуры увеличить или уменьшить расход при условии выполнения требований 8.1.2 и 8.1.4, так, чтобы перепад давления на РА изменялся не менее чем на 15 кПа. Измерить расход, перепад давления и рас-

считать значение пропускной способности по формуле (16);

- провести статистическую обработку экспериментальных данных в соответствии с 7.1, подставляя в формулы (2) - (5) вместо $x_1 \ldots x_N$ значения $K\text{v}$.

За величину пропускной способности $K\text{v}$ при степени открытия h_i принимается значение, рассчитанное по формуле (4).

8.3.4.2 Данные измерений, а также расчетные значения пропускной способности и числа Рейнольдса вносить в журнал испытаний по форме таблицы Б.1.

8.3.4.3 Для наглядности рекомендуется построить график зависимости $K\text{v} = f(h_i)$ или $K\text{v} = f(\varphi_i)$, либо $\frac{K\text{v}}{K\text{v}y} = f\left(\frac{h_i}{hy}\right)$ или $\frac{K\text{v}}{K\text{v}y} = f\left(\frac{\varphi_i}{\varphi\, max}\right)$.

8.3.5 Обработка экспериментальных данных, полученных при определении условной пропускной способности и пропускной характеристики

8.3.5.1 В соответствии с ГОСТ 12893 для каждого положения РЭл (хода h_i или угла поворота φ_i) рассчитать допустимые отклонения действительных значений пропускной способности от теоретических (расчетных) $\Delta K\text{v}_i$ в следующей последовательности:

- рассчитать теоретические значения пропускной способности $K\text{v}_i$ по одной из формул

а) для линейной пропускной характеристики

$$K\text{v}_i = K\text{v}_0 + (K\text{v}y - K\text{v}_0)\frac{h_i}{hy}, \qquad (17)$$

б) для равнопроцентной пропускной характеристики

$$K\text{v}_i = K\text{v}y\left(\frac{K\text{v}_0}{K\text{v}y}\right)^{1-\frac{h_i}{hy}}, \qquad (18)$$

- рассчитать теоретические значения относительной пропускной способности $\Phi_i = \frac{K\text{v}_i}{K\text{v}y}$ по одной из формул

а) для линейной пропускной характеристики

$$\Phi_i = \frac{Kv_i}{Kvy} = \sigma_0 + (1-\sigma_0)\frac{h_i}{h_y}, \qquad (19)$$

б) для равнопроцентной пропускной характеристики

$$\Phi_i = \frac{Kv_i}{Kvy} = (\sigma_0)^{1-\frac{h_i}{h_y}}, \qquad (20)$$

где Kv_i - теоретическое значение пропускной способности для положения РЭл h_i (φ_i).

$\sigma_0 = \frac{Kv_0}{Kvy}$ - относительная начальная пропускная способность,

Kvy - условная пропускная способность, приведенная в ТД на РА;

- рассчитать допустимые отклонения действительных значений пропускной способности от теоретических ΔKv_i, %, по одной из формул

а) для линейной пропускной характеристики

$$\Delta Kv_i = \pm 10\left(\frac{1}{\Phi_i}\right)^{0,2}, \qquad (21)$$

б) для равнопроцентной пропускной характеристики

$$\Delta Kv_i = \pm 15\left(\frac{1}{\Phi_i}\right)^{0,2}; \qquad (22)$$

- рассчитать минимальные $minKv_i$ и максимальные $maxKv_i$ допустимые значения пропускной способности по формулам

$$minKv_i = Kv_i(1-0,01\cdot\Delta Kv_i), \qquad (23)$$

$$maxKv_i = Kv_i(1+0,01\cdot\Delta Kv_i); \qquad (24)$$

- сравнить фактические среднеарифметические значения пропускной способности $\overline{Kv_i}$, полученные по результатам статистической обработки экспериментальных данных в соответствии 8.3.4.1, с рассчитанными значениями $minKv_i$ и $maxKv_i$ по формуле (23) и (24) соответственно;

- если хотя бы одно значение $\overline{Kv_i}$ не принадлежит диапазону [$minKv_i$ - $maxKv_i$], то необходимо провести корректировку профильной части РЭл, либо откорректировать ТД в части значения условной пропускной способности и

вида пропускной характеристики.

8.3.5.2 Алгоритм расчета допустимых отклонений действительных значений пропускной способности от теоретических приведен

- для линейной пропускной характеристики - в таблице Г.1;

- для равнопроцентной пропускной характеристики - в таблице Г.2.

8.3.5.2 Рассчитать диапазон регулирования по формуле

$$Д = \frac{Kv max}{Kv min}, \qquad (25)$$

где $Kv max$ и $Kv min$ - соответственно максимальное и минимальное значения пропускной способности в диапазоне хода РЭл, в котором сохраняется заданный вид пропускной характеристики.

8.3.6 Определение кавитационных характеристик

8.3.6.1 К кавитационным характеристикам РА относятся зависимости коэффициента начала паровой кавитации и коэффициента развитой кавитации от относительной пропускной способности $Kc = f\left(\frac{Kv_i}{Kvy}\right)$ и $Kм = f\left(\frac{Kv_i}{Kvy}\right)$.

8.3.6.2 Коэффициент начала паровой кавитации Kc рассчитывается по формуле

$$Kc = \frac{\Delta P кав}{P_1 - P нп}. \qquad (26)$$

8.3.6.3 Коэффициент развитой кавитации $Kм$ рассчитывается по формуле

$$Kм = \frac{\Delta P кав\, max}{P_1 - r \cdot P нп}, \qquad (27)$$

где $r = 0{,}96 - 0{,}28\sqrt{\frac{P нп}{P^*}}$ - коэффициент, зависящий от физических свойств среды.

8.3.6.4 Порядок определения кавитационных характеристик

8.3.6.4.1 Для расчета коэффициентов кавитации Kc и $Kм$ для каждого положения РЭл экспериментально определяются:

- перепад давления $\Delta P кав$ или $\Delta P кав\, max$, при котором имеет место начало

паровой и развитой кавитации соответственно;

- давление до РА, соответствующее этому перепаду давления;

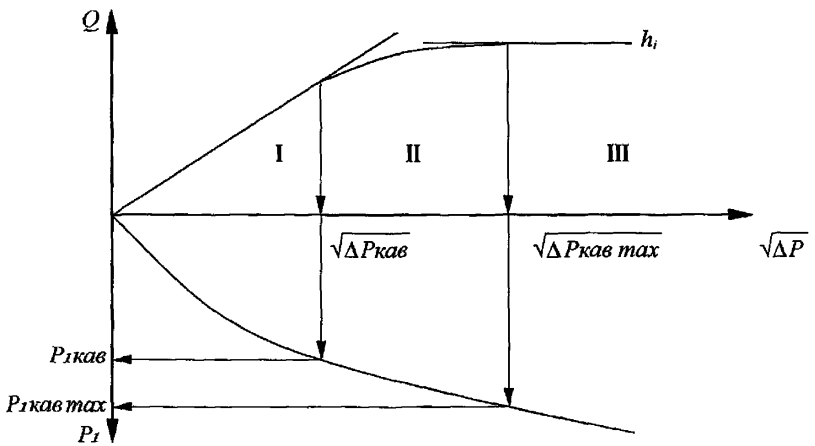
- температура воды до РА в момент измерения перепада давления.

8.3.6.4.2 В области квадратичного сопротивления и в бескавитационном режиме течения зависимость $Q = f(\sqrt{\Delta P})$ представляет собой прямую, исходящую из начала координат с тангенсом угла наклона $tg\beta = \frac{Q}{\sqrt{\Delta P}}$.

Начало паровой кавитации, которому соответствует $\Delta P_{кав}$, характеризуется отклонением зависимости $Q = f(\sqrt{\Delta P})$ от линейной.

При перепадах давления на РА больше $\Delta P_{кав\,max}$ расход становится постоянной величиной.

График зависимости $Q = f(\sqrt{\Delta P})$ для одного из положений РЭл представлен на рисунке 3.



I - бескавитационный режим течения, II - зона паровой кавитации, III - зона развитой кавитации

Рисунок 3 - Зависимость расхода воды от корня квадратного из перепада давления для одного положения РЭл

8.3.6.4.3 В области квадратичного сопротивления произвести определение пропускной способности в соответствии с 8.3.4.

8.3.6.4.4 С целью обеспечения минимального сопротивления и, следовательно, минимального давления за РА, полностью открыть штатную арматуру, установленную после РА. Обеспечение минимально возможного по параметрам стенда давления за РА позволяет при испытаниях достигнуть кавитационных режимов при более низких давлениях до РА и, следовательно, эффективно использовать стенд для определения кавитационных характеристик.

8.3.6.4.5 Установить давление до РА (первое измерение рекомендуется проводить при давлении от 0,1 МПа до 0,15 МПа), провести измерения расхода воды $Q\phi_k$, температуры t_k, давлений на входе $P_1\phi_k$, на выходе $P_2\phi_k$, и рассчитать следующие величины:

- «эталонную» величину расхода $Q_{э_k}$ по формуле

$$Q_{э_k} = 2{,}8 \cdot 10^{-5} \cdot \overline{Kv} \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}, \qquad (28)$$

где $\Delta P = P_1\phi_k - P_2\phi_k$;

- величину отклонения фактического расхода $Q\phi_k$, определенного в процессе проведения эксперимента, от «эталонного» $Q_{э_k}$ по формуле

$$\Delta Q = Q_{э_k} - Q\phi_k. \qquad (29)$$

Зафиксировать знак величины ΔQ.

8.3.6.4.6 Увеличивать расход с произвольным шагом, проводя измерения и расчеты в соответствии с 8.3.6.4.5.

Увеличение расхода и, соответственно, расчеты следует проводить до тех пор, пока не будет зафиксировано подряд, как минимум, пять положительных значений величины ΔQ.

8.3.6.4.7 Повторить испытания по 8.3.6.4.5-8.3.6.4.6 не менее трех раз. При этом совпадение значений давления на входе при повторении испытаний не требуется.

8.3.6.5 Обработка экспериментальных данных

8.3.6.5.1 Обработку экспериментальных данных следует проводить для каждого фиксированного положения РЭл, на котором проводились испытания.

8.3.6.5.2 Для всех полученных на двух образцах экспериментальных данных, для которых $\Delta Q > 0$, с помощью метода наименьших квадратов определить коэффициенты уравнения регрессии $Q = f(\sqrt{\Delta P})$, имеющего вид

$$Q = a_0 + a_1 \cdot \sqrt{\Delta P} + a_2 \cdot \left(\sqrt{\Delta P}\right)^2, \qquad (30)$$

где a_0, a_1, a_2 - коэффициенты уравнения регрессии.

8.3.6.5.3 Решить систему уравнений

$$\begin{cases} Q_Э = K_V \sqrt{\Delta P}, \\ Q = a_0 + a_1 \cdot \sqrt{\Delta P} + a_2 \cdot \left(\sqrt{\Delta P}\right)^2. \end{cases} \qquad (31)$$

Решением системы уравнений является точка с координатами Q и $\sqrt{\Delta P}$, которая определяет начало паровой кавитации, а соответствующие значения $\Delta P_{кав}$, $P_{1кав}$, $t_{кав}$ являются параметрами начала паровой кавитации.

8.3.6.5.4 Если в процессе проведения испытаний при увеличении перепада давления на РА расход не меняется, то есть находится в пределах погрешности измерений, то это означает, что в РА наступила развитая кавитация.

Для нахождения перепада давления, при котором имеет место начало развитой кавитации, необходимо:

- произвести не менее пяти изменений и соответствующих измерений расхода;

- построить уравнение регрессии

$$Q = a_0 + a_1 \cdot \sqrt{\Delta P}, \qquad (32)$$

- решить систему уравнений

$$\begin{cases} Q = a_0 + a_1 \cdot \sqrt{\Delta P} + a_2 \cdot \left(\sqrt{\Delta P}\right)^2, \\ Q = a_0 + a_1 \cdot \sqrt{\Delta P}. \end{cases} \quad (33)$$

Решением системы уравнений является точка с координатами Q и $\sqrt{\Delta P}$, которая определяет начало развитой кавитации и, следовательно, параметры развитой кавитации $\Delta P_{кав\,max}$, $P_{1\,кав}$, $t_{кав}$.

8.3.6.5.5 По значению температуры воды $t_{кав}$ до РА, замеренной в процессе эксперимента, из таблиц теплофизических свойств воды и водяного пара найти значение давления насыщенных паров $P_{нп}$ и рассчитать:

- коэффициенты начала паровой кавитации по формуле (26) для значений $\Delta P_{кав}$,

- коэффициенты развитой кавитации по формуле (27) для значений $\Delta P_{кав\,max}$.

8.3.6.5.6 Для всех положений РЭл, на которых проводились испытания, рассчитать значения относительной пропускной способности по формуле

$$\frac{Kv_i}{Kvy} = \frac{\overline{Kv_i}}{Kvy}. \quad (34)$$

8.3.6.5.7 С помощью метода наименьших квадратов получить зависимости коэффициента начала паровой кавитации и коэффициента развитой кавитации от относительной пропускной способности, имеющие вид:

$$Kc = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2, \quad (35)$$

$$Km = в_0 + в_1 \cdot x + в_2 \cdot x^2, \quad (36)$$

где $a_0, a_1, a_2, в_0, в_1, в_2$ - коэффициенты уравнений регрессии;

$$x = \frac{Kv_i}{Kvy}.$$

Вид зависимостей представлен на рисунке 4.

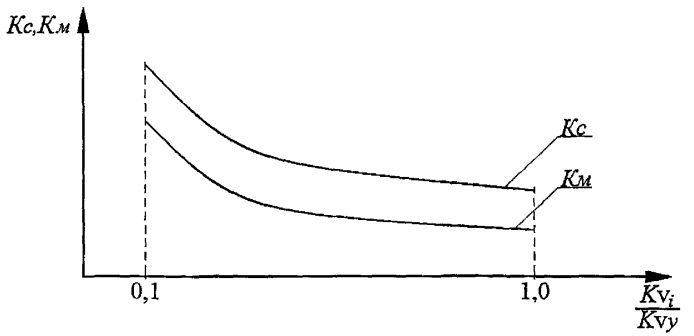


Рисунок 4 - Зависимости коэффициента начала паровой кавитации $Кс$ и коэффициента развитой кавитации $Км$ от относительной пропускной способности $\frac{Kv_i}{Kvy}$

8.3.6.5.8 Данные измерений, а также расчетные значения кавитационных характеристик вносить в журнал испытаний по форме таблицы Б.2.

8.3.6.6 Рекомендации по внесению значений кавитационных характеристик в ТД

8.3.6.6.1 В ТД на РА рекомендуется вносить:

а) зависимости коэффициента начала кавитации $Кс$ и коэффициента развитой кавитации $Км$ от относительной пропускной способности $\frac{Kv_i}{Kvy}$

в виде уравнений

$$Кс = (a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2) \cdot (1 - \overline{\Delta 1 ср}), \qquad (37)$$

$$Км = (в_0 + в_1 \cdot x + в_2 \cdot x^2) \cdot (1 - \overline{\Delta 2 ср}), \qquad (38)$$

где $x = \frac{Kv_i}{Kvy}$ - значения относительной пропускной способности,

$\overline{\Delta 1 ср}$, $\overline{\Delta 2 ср}$ - погрешности аппроксимации, рассчитанные по формулам

$$\overline{\Delta_{1ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{\left| Kсрасч_i - Kсэксп_i \right|}{Kсэксп_i}}{N} \text{ и } \overline{\Delta_{2ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{\left| Kмрасч_i - Kмэксп_i \right|}{Kмэксп_i}}{N},$$

$Kсрасч_i$, $Kмрасч_i$ - коэффициенты кавитации, рассчитанные соответственно по формулам (35) и (36),

либо

в виде графиков зависимости $Kс = f\left(\frac{Kv_i}{Kvy}\right)$ и $Kм = f\left(\frac{Kv_i}{Kvy}\right)$, построенных по значениям $Kс$ и $Kм$, рассчитанным по уравнениям (37) и (38);

б) запись:

«Максимальный допустимый перепад давления на РА $\Delta Pкав$, Па, рассчитывается по формуле

$$\Delta Pкав = Kс \cdot (P_1 - Pнп),$$

где $Kс$ - коэффициенты начала паровой кавитации;

P_1 - абсолютное давление до арматуры, Па;

$Pнп$ - абсолютное давление насыщенных паров воды при температуре t на входе в регулирующую арматуру, Па.

При перепадах давления на РА, больших критического значения, равного $\Delta Pкав\ max = Kм \cdot (P_1 - r \cdot Pнп)$, Па, объемный расход среды Q, м^3/с, проходящей через РА, остается постоянным и рассчитывается по формуле

$$Q = 2{,}8 \cdot 10^{-5} \cdot Kv \cdot \sqrt{\frac{\Delta Pкав\ max}{\rho}},$$

где Kv - пропускная способность на ходе h_i (φ_i), для которого определяется критический режим, м^3/ч;

$\Delta Pкав\ max$ - критический кавитационный перепад давления, Па;

ρ - плотность среды, кг/м^3;

$Kм$ - коэффициент развитой кавитации;

P_1 - абсолютное давление до арматуры, Па;

$r = 0{,}96 - 0{,}28\sqrt{\frac{P_{нп}}{P^*}}$ - коэффициент, зависящий от физических свойств среды;

$P_{нп}$ - абсолютное давление насыщенных паров воды при температуре t на входе в регулирующую арматуру, Па;

P^* - критическое термодинамическое давление, Па».

8.4 Определение гидравлических характеристик предохранительных клапанов

8.4.1 Гидравлической характеристикой ПК является коэффициент расхода α_1 для ПК, работающих на газе, и коэффициент расхода α_2 для ПК, работающих на жидкости. Коэффициенты расхода α_1 и α_2 характеризуют гидравлическое совершенство ПК.

8.4.2 Для ПК определяются:

- коэффициенты расхода α_1 и α_2 при рабочих параметрах, указанных в ТД;

- зависимость коэффициента расхода от хода ЗЭл (золотника) $\alpha_1 = f(h_i)(\alpha_2 = f(h_i))$ при его принудительном подъеме.

Зависимость $\alpha_1 = f(h_i)(\alpha_2 = f(h_i))$ определяется для вновь разрабатываемых ПК по требованию заказчика.

8.4.3 Определение коэффициента расхода α_1 (α_2) ПК при рабочих параметрах

8.4.3.2 Установить ПК, настроенный на рабочее давление Pp, на испытательном участке стенда в соответствии с одной из схем, приведенных на рисунках 1 и 2. Схема испытаний указывается в программе и методике испытаний.

ПК, испытываемый на воде, устанавливается на рабочем участке стенда в соответствии с требованиями 4.6 и 8.1.3.

8.4.3.3 Подать во входной патрубок ПК давление Pp и измерить протечку в затворе.

8.4.3.4 Если величина протечки в затворе не превышает значения, указанного в ТД (ГОСТ, паспорт, ТУ, программа испытаний), то следует:

- увеличить давление на входе ПК до величины давления полного открытия P_{no}, указанного в ТД;

- измерить:

расход, проходящий через ПК,

давление до ПК P_1,

давление после ПК P_2;

- уменьшить давление P_1 до ПК (уменьшать давление до тех пор, пока ПК не закроется);

- зафиксировать величину давления закрытия $P_з$.

8.4.3.5 Рассчитать коэффициент расхода в соответствии с формулами для расчета пропускной способности ПК, приведенными в ГОСТ 12.2.085:

- коэффициент расхода α_1 ПК, испытуемого на воздухе, рассчитывается по формуле

$$\alpha_1 = \frac{G}{3{,}16 \cdot B_3 \cdot F \cdot \sqrt{(P_1 + 0{,}1) \cdot \rho_1}}, \qquad (39)$$

где G - массовый расход, кг/ч;

B_3 - коэффициент, учитывающий физико-химические свойства воздуха при рабочих параметрах и определяемый по ГОСТ 12.2.085;

$F = \frac{\pi}{4} Dc^2$ - площадь сечения ПК, равная наименьшей площади сечения в проточной части седла, мм^2;

P_1 - наибольшее избыточное давление перед клапаном, МПа;

$\rho_1 = \frac{(P_1 + 0{,}1) \cdot 10^6}{B_4 \cdot R \cdot (t_1 + 273)}$ - плотность воздуха при параметрах на входе ПК P_1 и t_1, кг/м^3;

Dc -диаметр самого узкого сечения проточной части седла, мм;

B_4 -коэффициент сжимаемости реального воздуха (определяется по ГОСТ 12.2.085);

R =287 – газовая постоянная, $\frac{Дж}{кг \cdot К}$;

T_1 - температура воздуха до клапана, К;

ε - коэффициент сжимаемости воздуха;

3,16 - коэффициент, учитывающий указанные размерности;

- коэффициент расхода α_2 ПК, испытываемого на воде, рассчитывается по формуле

$$\alpha_2 = \frac{G}{5{,}03 \cdot F \cdot \sqrt{\Delta P \cdot \rho_2}}, \qquad (40)$$

где ΔP - перепад давления на клапане, МПа,

ρ_2 - плотность воды, кг/м^3,

5,03 - коэффициент, учитывающий указанные размерности.

8.4.3.6 Повторить испытания и вычисления по 8.4.3.3 - 8.4.3.5 не менее пяти раз.

8.4.4 Определение зависимости коэффициентов расхода α_1 (α_2) от хода ЗЭл

8.4.4.1 При разработке новых конструкций ПК может возникнуть необходимость определения зависимости коэффициента расхода от хода ЗЭл $\alpha_1 = f(h_i)(\alpha_2 = f(h_i))$.

8.4.4.2 Определение зависимости $\alpha_1 = f(h_i)(\alpha_2 = f(h_i))$ проводить при принудительном подъеме ЗЭл в следующей последовательности:

- зафиксировать положение ЗЭл на ходах h_i, соответствующих (20, 40, 60, 80, 90) % хода, указанного на чертеже;

- провести испытания по определению коэффициента расхода α_1 (α_2) на каждом из указанных ходов h_i в следующей последовательности:

- подать во входной патрубок испытательную среду (воздух или воду) давлением, равным давлению полного открытия Pno,

- измерить:

расход, проходящий через ПК,

давление P_1 до ПК,

давление P_2 после ПК;

- закрыть штатную арматуру до ПК;

- рассчитать величину коэффициента расхода α_1 (α_2) по одной из формул (39) или (40) соответственно;

8.4.4.3 Повторить испытания и вычисления по 8.4.4.2 не менее пяти раз.

8.4.5 Данные измерений и расчетные величины коэффициента расхода α_1 (α_2) рекомендуется вносить в журнал регистрации по форме таблицы Б.3.

8.4.6 Обработка экспериментальных данных, полученных при испытаниях ПК

8.4.6.1 Статистическая обработка экспериментальных данных, полученных при определении коэффициента расхода α_1 (α_2) ПК при рабочих параметрах, проводится в соответствии с 7.1, подставляя в формулы (2) - (5) вместо $x_1 \dots x_N$ значения α_1 (α_2).

За величину коэффициента расхода ПК при рабочих параметрах (при полном открытии) принимается меньшее из двух значений α_1 (α_2), рассчитанных по формуле (4).

8.4.6.2 Статистическая обработка экспериментальных данных, полученных при определении зависимости $\alpha_1 = f(h_i)$ ($\alpha_2 = f(h_i)$), проводится в следующей последовательности:

- для каждого образца для всех значений хода ЗЭл h_i в соответствии с 7.1 подставить в формулы (2) – (5) вместо $x_1 \dots x_N$ экспериментальные значения коэффициентов расхода α_1 (α_2);

- при одинаковых ходах h_i объединить полученные значения $\overline{\alpha_1}$ ($\overline{\alpha_2}$) испытанных образцов и с помощью метода наименьших квадратов определить коэффициенты уравнения регрессии $\alpha_1 = f(h_i)$ ($\alpha_2 = f(h_i)$)

$$\alpha_1(\alpha_2) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 \qquad (41)$$

где a_0, a_1, a_2 - коэффициенты уравнения регрессии,

$x = h_i$;

- для наглядности рекомендуется построить график зависимости $\alpha_1 = f(h_i)(\alpha_2 = f(h_i))$;

8.4.7 По уравнению регрессии или с помощью графика можно решить следующие задачи:

- если известен ход h_i ЗЭл, то можно рассчитать или определить по графику значение коэффициент расхода α_1 (α_2) на этом ходе,

- по известному значению коэффициента расхода α_1 (α_2) можно рассчитать или определить по графику ход h_i ЗЭл, при котором он реализуется.

Значение коэффициента расхода α_1 (α_2) на любом ходе h_i рассчитывается по формуле

$$\alpha_1(\alpha_2) = \alpha_{расч} \cdot (1 - \overline{\Delta ср}), \qquad (42)$$

где $\alpha_{расч}$ - значение коэффициента расхода, рассчитанное по уравнению (41);

$\overline{\Delta ср}$ - погрешность аппроксимации, рассчитанная по формуле

$$\overline{\Delta_{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{\left| \alpha_{расч_i} - \alpha_{эксп_i} \right|}{\alpha_{эксп_i}}}{N}.$$

8.4.8 Рекомендации по внесению в ТД гидравлических характеристик предохранительных клапанов

В ТД на ПК рекомендуется вносить запись: «Коэффициент расхода α_1 (α_2) не менее ... ». В тексте указывается значение α_1 (α_2), определенное соответственно в 8.4.5.1, либо рассчитанное по формуле (42) для хода h_i, заданного заказчиком.

8.5 Определение гидравлических характеристик обратных, невозвратно - запорных и невозвратно-управляемых клапанов, обратных затворов

8.5.1 Гидравлической характеристикой обратных, невозвратно-запорных, невозвратно-управляемых клапанов и обратных затворов является зависимость коэффициента сопротивления ζ от скоростного давления $\zeta = f(\frac{\rho \cdot v_i^2}{2})$.

Зависимость $\zeta = f(\frac{\rho \cdot v_i^2}{2})$ позволяет рассчитать потери давления на обратной арматуре, характерной особенностью которой является зависимость положения ЗЭл от скорости конкретной рабочей среды.

Для невозвратно-управляемых клапанов дополнительно определяются значения коэффициентов сопротивления для положения «полного (принудительного) открытия» при подаче среды во входной и выходной патрубки.

8.5.2 Порядок определения зависимости $\zeta = f(\frac{\rho \cdot v_i^2}{2})$ для обратных, невозвратно-запорных, невозвратно-управляемых клапанов и обратных затворов

8.5.2.1 Установить ИА на рабочем участке гидравлического стенда (испытательная среда – вода) в соответствии с требованиями 4.4 – 4.8.

(Измененная редакция, Изм. № 1)

8.5.2.2 Создать минимально возможный расход, при котором обратная арматура приоткрылась, произвести измерение расхода и перепада давления в установившемся режиме.

8.5.2.3 Рассчитать коэффициент сопротивления по формуле (8) и скоростное давление по формуле

$$\frac{\rho \cdot v_i^2}{2} = S \cdot \rho \cdot Q^2, \qquad (43)$$

где $S = \frac{16}{2 \cdot \pi^2 \cdot DN^4 \cdot 10^{-12}} = \frac{0{,}81}{DN^4 \cdot 10^{-12}}$.

Для облегчения выполнения вычислений в приложении Д приведены значения коэффициентов S для номинальных проходов арматуры от DN 3 до DN 500.

8.5.2.4 Увеличить расход воды, провести измерение расхода и перепада давления и рассчитать для новых параметров потока коэффициент сопротивления по формуле (8) и скоростное давление по формуле (43).

8.5.2.5 Расход среды следует увеличивать до тех пор, пока коэффициент сопротивления ИА не будет постоянной величиной, т.е. при различных значениях расхода три - пять значений ζ будут находиться в диапазоне $(\zeta \pm \Delta\zeta)$ где $\Delta\zeta$ - погрешность определения коэффициента сопротивления на испытательном стенде.

Погрешность определения коэффициента сопротивления рассчитывается по формуле (9). Постоянство коэффициента сопротивления будет означать, что ИА полностью открыта.

8.5.2.6 Закрыть штатный клапан на входе ИА, вследствие чего ИА закроется, повторить процесс изменения расхода в соответствии с 8.5.2.2 - 8.5.2.5 не менее трех раз. При этом совпадение расходов при повторениях не обязательно.

8.5.2.7 В процессе проведения эксперимента для наглядности рекомендуется построить график зависимости $\zeta = f\left(\frac{\rho \cdot v_i^2}{2}\right)$.

8.5.2.8 Рассчитать среднее значение коэффициентов сопротивления $\overline{\zeta}$, находящихся в диапазоне $(\zeta \pm \Delta\zeta)$.

8.5.2.9 Определить по графику минимальную величину скоростного давления, соответствующую $\overline{\zeta}$.

8.5.2.10 Данные измерений, расчетные значения скоростного давления и коэффициентов сопротивления рекомендуется вносить в журнал регистрации по форме таблицы Б.4.

8.5.2.11 По экспериментальным данным, полученным при испытании двух образцов, с помощью метода наименьших квадратов определить коэффициенты уравнения регрессии $\zeta = f\left(\frac{\rho \cdot v_i^2}{2}\right)$, имеющего вид

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2, \qquad (44)$$

где a_0, a_1, a_2 - коэффициенты уравнения регрессии,

x - скоростное давление.

По уравнению регрессии построить график, который и следует считать экспериментальной зависимостью испытанной обратной арматуры.

8.5.2.12 Для невозвратно-управляемых клапанов в соответствии с 8.2.4.3 - 8.2.4.7 при подаче среды во входной и выходной патрубки определить коэффициент сопротивления ζ при полном принудительном открытии ЗЭл.

8.5.3 Провести статистическую обработку экспериментальных данных в соответствии с 7.1, подставляя вместо $x_1 \ldots x_N$ экспериментальные значения коэффициентов сопротивления.

8.5.4 Рекомендации по внесению в ТД гидравлических характеристик обратных, невозвратно-запорных и невозвратно-управляемых клапанов, обратных затворов

8.5.4.1 В ТД на обратные, невозвратно-запорные и невозвратно-управляемые клапаны, а также обратные затворы рекомендуется вносить

1) запись:

«Клапаны полностью открываются при скоростном давлении $\frac{\rho \cdot v^2}{2}$ не более ... Па (скорости воды в трубопроводе v не более ... м/с).

Коэффициент сопротивления при полном открытии ζ не более ... .

Коэффициенты сопротивления при различных скоростных давлениях не превышают значений, определенных по эталонной зависимости $\zeta = f\left(\frac{\rho \cdot v^2}{2}\right)$».

В тексте указываются значения $\frac{\rho \cdot \upsilon^2}{2}$ и υ, определенные в 8.5.2.9, и значение ζ, определенное по формуле (15).

2) эталонную зависимость $\zeta = f(\frac{\rho \cdot \upsilon^2}{2})$ в виде эталонного графика $\zeta = f(\frac{\rho \cdot \upsilon_i^2}{2})$ либо в виде уравнения регрессии, имеющего вид

$$\zeta = (a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2) \cdot (1 + \overline{\Delta cp}), \qquad (45)$$

где a_0, a_1, a_2 - коэффициенты уравнения регрессии,

x - скоростное давление,

$\overline{\Delta cp}$ - погрешность аппроксимации, рассчитанная по формуле

$$\overline{\Delta cp} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{\left| \zeta_{расч_i} - \zeta_{эксп_i} \right|}{\zeta_{эксп_i}}}{N},$$

$\zeta_{расч_i}$ - коэффициент сопротивления, рассчитанный по формуле (45).

Эталонный график зависимости $\zeta = f(\frac{\rho \cdot \upsilon_i^2}{2})$ строится по уравнению регрессии (45).

8.5.3.2 В ТД на невозвратно-управляемые клапаны дополнительно вносится запись: «При полном принудительном открытии и подаче среды во входной и выходной патрубки коэффициент сопротивления ζ не более ...». В тексте указывается большее из двух значений ζ, определенных в соответствии с 8.5.2.3 и рассчитанных по формуле (5).

Приложение А
(рекомендуемое)

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И КАВИТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Номер хода i	Степень открытия арматуры $h_i/h_{черт}$ $(\varphi_i/\varphi_{max})$, %	Номер измерения k	Гидравлическая характеристика x_k $(\zeta_i,\ Kv_i,$ $\alpha_{1_i},\ \alpha_{2_i})$	Среднеарифметическое значение гидравлической характеристики $\bar{x}=\frac{\sum_{k=1}^{N} x_k}{N}$	Среднеквадратичное отклонение гидравлической характеристики $\sigma=\sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N}(\bar{x}-x_k)^2}{N-1}}$	Нижняя граница трехсигмового интервала $x_н=\bar{x}-3\sigma$	Верхняя граница трехсигмового интервала $x_в=\bar{x}+3\sigma$
1	5	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
2	10	1					
		2					
		3					
		…					
…	…	…					
		…					
N	100	1					
		2					
		3					
		…					

Таблица А.2

Коэффициент *B*

$\beta = \frac{P_2}{P_1}$	0	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28
B	0,484	0,494	0,505	0,516	0,528	0,541	0,555	0,570

Продолжение таблицы А.2

$\beta = \frac{P_2}{P_1}$	0,32	0,36	0,40	0,44	0,48	0,50	0,52	0,54
B	0,587	0,605	0,625	0,647	0,671	0,685	0,699	0,714

Продолжение таблицы А.2

$\beta = \frac{P_2}{P_1}$	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,72
B	0,729	0,743	0,757	0,771	0,785	0,798	0,811	0,837

Окончание таблицы А.2

$\beta = \frac{P_2}{P_1}$	0,76	0,80	0,84	0,88	0,92	0,96	1,00
B	0,862	0,886	0,910	0,933	0,956	0,978	1,000

Таблица А.3

Давление абсолютное до ИА P_1, МПа	Коэффициент сжимаемости *K*	
	$t = 0$	$t = 50$
0,1	1,00	1,00
10,0	0,98	1,02
20,0	1,03	1,08

Приложение Б
(рекомендуемое)

ФОРМЫ ЖУРНАЛОВ РЕГИСТРАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Б.1 Форма журнала регистрации экспериментальных данных при определении коэффициента сопротивления ζ и пропускной способности Kv приведена в таблице Б.1.

Б.2 Форма журнала регистрации экспериментальных данных при определении кавитационных характеристик (коэффициентов кавитации Kc и $Kм$) приведена в таблице Б.2.

Б.3 Форма журнала регистрации экспериментальных данных при определении коэффициента расхода α_1 (α_2)приведена в таблице Б.3.

Б.4 Форма журнала регистрации экспериментальных данных при определении зависимости коэффициента сопротивления ζ от скоростного давления $\frac{\rho \cdot v^2}{2}$ приведена в таблице Б.4.

Таблица Б.1

ЖУРНАЛ РЕГИСТРАЦИИ

экспериментальных данных при определении
коэффициента сопротивления ζ и пропускной способности Kv

«___ »_____ 20 г.

Участвовали в испытаниях:

_____

_____

Испытаниям подвергался

_____

_____

_____

Номер положения ЗЭл (РЭл) i	Степень открытия $h_i/h_{черт}$	Номер измерения k	Давление **среды** до ИА P_1	Давление **среды** после ИА P_2	Перепад давления на ИА ΔP	Температура **среды** t	Расход **среды** Q	Число Рейнольдса Re	Коэффициент сопротивления (пропускная способность) $\zeta_i\,(Kv_i)$	Среднеарифметический коэффициент сопротивления (пропускная способность) $\overline{\zeta_i}\,,(\overline{Kv_i})$
-	%	-	Па			°С	$м^3/с$	-	- ($м^3/ч$)	- ($м^3/ч$)
1	5	1								
		2								
		3								
		4								
		5								
		6								
		7								
2	10	1								
		2								
		3								
		…								
…	…	…								
		…								
		…								
N	100	1								
		2								
		3								
		4								
		5								
		6								
		7								

Таблица Б.2

ЖУРНАЛ РЕГИСТРАЦИИ

экспериментальных данных при определении кавитационных характеристик
(коэффициентов кавитации *Кс* и *Км*)

«___»_____ 20 г.

Участвовали в испытаниях:

_____

Испытаниям подвергался

_____

_____

Номер хода i	Степень открытия РА h_i/hy $(\varphi_i/\varphi_{max})$	Номер измерения k	Фактический расход **среды** $Q\phi_k$	Температура **среды** до РА t_k	Давление **среды** до РА $P_1\phi_k$	Давление **среды** после РА $P_2\phi_k$	Перепад давления на РА ΔP	Расход **среды** «эталонный» $Q_{э_k}$	Отклонение фактического расхода воды от «эталонного» ΔQ
-	%	-	$м^3/с$	°С	Па			$м^3/с$	
1	5	1							
		2							
		3							
		4							
		5							
2	10	1							
		2							
		...							
...	...	...							
		...							
N	100	1							
		2							
		...							

(Измененная редакция, Изм.№1)

Окончание таблицы Б.2

Номер хода i	Степень открытия РА h_i/hy $(\varphi_i/\varphi_{max})$	Параметры начала кавитации				Параметры развитой кавитации				Критическое термодинамическое давление P^*	Коэффициент r	Коэффициент начала паровой кавитации K_c	Коэффициент развитой кавитации $K_м$
		перепад давления $\Delta P_{кав}$	давление до РА $P_{1\,кав}$	температура $t_{кав}$	давление насыщенных паров $P_{нп}$	перепад давления $\Delta P_{кав\,max}$	давление до РА $P_{1\,кав}$	температура $t_{кав}$	давление насыщенных паров $P_{нп}$				
-	%	Па		°С		Па		°С	Па		-	-	-
1	5												
2	10												
…	…												
N	100												

Таблица Б.3

ЖУРНАЛ РЕГИСТРАЦИИ

экспериментальных данных при определении коэффициента расхода α_1 (α_2)

«___»_____ 200 г.

Участвовали в испытаниях:

_____

_____

Испытаниям подвергался

_____

_____

_____

Номер положения ЗЭл i	Степень открытия ПК $h_i/h_{черт}$	Номер измерения k	Давление до ПК P_1	Давление после ПК P_2	Перепад давления на ПК ΔP	Массовый расход среды G	Температура среды до ПК t_1	Плотность среды при параметрах до ПК ρ_1 (ρ_2)	Коэффициент расхода α_1 (α_2)
-	%	-	МПа			кг/ч	°С	кг/м^3	-
1	5	1							
		2							
		3							
		4							
		5							
		6							
		7							
2	10	1							
		2							
		3							
		4							
		5							
		6							
		7							
...	...	...							
		...							
		...							
N	100	1							
		2							
		3							
		4							
		5							
		6							
		7							

Таблица Б.4

ЖУРНАЛ РЕГИСТРАЦИИ

экспериментальных данных при определении зависимости

коэффициента сопротивления ζ от скоростного давления $\frac{\rho \cdot v^2}{2}$

«___»_____ 20 г.

Участвовали в испытаниях:

_____

_____

_____

Испытаниям подвергался

_____

_____

_____

Номер замера k	Расход **среды** Q	Перепад давления на арматуре ΔP	Температура **среды** t	Плотность **среды** при параметрах до ИА ρ_1	Коэффициент S	Скорость **среды** v	Скоростное давление $\frac{\rho \cdot v^2}{2}$	Погрешность определения коэффициента сопротивления $\Delta\zeta$	Коэффициент сопротивления ζ	Среднеарифметический коэффициент сопротивления $\overline{\zeta}$
-	$м^3/ч$	Па	°С	$кг/м^3$	-	м/с	Па	-	-	-
1										
2										
3										
4										
5										
…										
N										

(Измененная редакция, Изм.№1)

Приложение В
(справочное)

Значения коэффициентов трения трубопровода

Относительная шероховатость $\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{Dmp}$	Значения коэффициента трения трубопровода λRe					
	Число Рейнольдса Re					
	$1 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
0,0500	0,069	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072
0,0400	0,060	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065
0,0300	0,050	0,056	0,057	0,057	0,057	0,057
0,0200	0,042	0,044	0,048	0,049	0,049	0,049
0,0150	0,037	0,039	0,042	0,044	0,044	0,044
0,0100	0,033	0,032	0,035	0,036	0,038	0,038
0,0080	0,033	0,030	0,032	0,033	0,035	0,035
0,0060	0,033	0,028	0,028	0,029	0,030	0,032
0,0040	0,033	0,027	0,025	0,025	0,026	0,028
0,0020	0,033	0,027	0,023	0,021	0,021	0,021
0,0010	0,033	0,027	0,023	0,021	0,018	0,017
0,0008	0,033	0,027	0,023	0,021	0,018	0,016
0,0006	0,033	0,027	0,023	0,021	0,018	0,016

Приложение Г
(рекомендуемое)

Расчет допустимых отклонений действительных значений пропускной способности от теоретических

Таблица Г.1

Расчет допустимых отклонений для линейной пропускной характеристики

Относительный ход РА h_i/hy $(\varphi_i/\varphi max)$	Теоретические значения пропускной способности $Kv_i = Kv_0 + (Kvy - Kv_0)\frac{h_i}{hy}$	Теоретические значения относительной пропускной способности $\Phi_i = \frac{Kv_i}{Kvy} = \sigma_0 + (1-\sigma_0)\frac{h_i}{hy}$	Допустимые отклонения пропускной способности $\Delta Kv_i = \pm 10\left(\frac{1}{\Phi_i}\right)^{0,2}$	Минимальные допустимые значения пропускной способности $minKv_i = Kv_i(1 - 0,01 \cdot \Delta Kv_i)$	Максимальные допустимые значения пропускной способности $maxKv_i = Kv_i(1 + 0,01 \cdot \Delta Kv_i)$	Действительные среднеарифметические значения пропускной способности $\overline{Kv_i}$
-	$м^3/ч$	-	%	$м^3/ч$		
0,05						
0,10						
0,20						
...						
0,90						
1,00						

Таблица Г.2

Расчет допустимых отклонений для равнопроцентной пропускной характеристики

Относительный ход РА h_i/hy $(\varphi_i/\varphi max)$	Теоретические значения пропускной способности $Kv_i = Kvy\left(\frac{Kv_0}{Kvy}\right)^{1-\frac{h_i}{hy}}$	Теоретические значения относительной пропускной способности $\Phi_i = \frac{Kv_i}{Kvy} = (\sigma_0)^{1-\frac{h_i}{hy}}$	Допустимые отклонения пропускной способности $\Delta Kv_i = \pm 15\left(\frac{1}{\Phi_i}\right)^{0,2}$	Минимальные допустимые значения пропускной способности $minKv_i = Kv_i\,(1 - 0{,}01 \cdot \Delta Kv_i)$	Максимальные допустимые значения пропускной способности $maxKv_i = Kv_i\,(1 + 0{,}01 \cdot \Delta Kv_i)$	Действительные среднеарифметические значения пропускной способности $\overline{Kv_i}$
-	$м^3/ч$	-	%	$м^3/ч$		
0,05						
0,10						
0,20						
...						
0,90						
1,00						

Приложение Д
(справочное)

Значения коэффициента *S*, используемого для расчета скоростного давления

DN	*S*
3	$1{,}00 \cdot 10^{10}$
4	$3{,}17 \cdot 10^{9}$
5	$1{,}30 \cdot 10^{9}$
6	$6{,}25 \cdot 10^{8}$
8	$1{,}98 \cdot 10^{8}$
10	$8{,}11 \cdot 10^{7}$
15	$1{,}60 \cdot 10^{7}$
20	$5{,}07 \cdot 10^{6}$
25	$2{,}08 \cdot 10^{6}$
32	$7{,}73 \cdot 10^{5}$
40	$3{,}17 \cdot 10^{5}$
50	$1{,}30 \cdot 10^{5}$

DN	*S*
65	$4{,}54 \cdot 10^{4}$
70	$3{,}38 \cdot 10^{4}$
80	$1{,}98 \cdot 10^{4}$
100	$8{,}11 \cdot 10^{3}$
125	$3{,}32 \cdot 10^{3}$
150	$1{,}60 \cdot 10^{3}$
200	$5{,}07 \cdot 10^{2}$
250	$2{,}08 \cdot 10^{2}$
300	$1{,}00 \cdot 10^{2}$
400	$3{,}17 \cdot 10^{1}$
500	$1{,}30 \cdot 10^{1}$

Библиография

[1] *Чугаев Р.Р.* Гидравлические термины. – М.: Высшая школа, 1974.

[2] IEC 60534-4 (издание 1999 г.). Клапаны регулирующие для промышленных процессов. Часть 4. Контроль и типовые испытания

Генеральный директор ЗАО «НПФ «ЦКБА» В.А.Айриев

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 лаборатории 153 Е.Г.Пинаева

СОГЛАСОВАНО

Председатель ТК 259 М.И.Власов

Лист регистрации изменений

Изм	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в докум.	№ докум.	Входящий № сопроводительного документа и дата	Подп.	Дата
	изменённых	заменённых	новых	аннулированных					
1	7, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 20, 22, 24, 25, 26, 30, 45, 52, 53	5, 6, 9, 11, 51	49а	–	63	Изм. №1	Пр. №-52 а от 14.10.2010		с 15.10 2010
2	–	2, 6	–	–	63	Изм. №2	Пр. №15 от 02.04.2013		с 01.05 2013

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ЗАО НПФ «ЦКБА»
_____ В.П.Дыдычкин
«14» 10 2010 г.

ИЗМЕНЕНИЕ № 1

СТ ЦКБА 029-2006 «Арматура трубопроводная. Методика экспериментального определения гидравлических и кавитационных характеристик»

Утверждено и введено в действие Приказом от «14» октября 2010 г. №529.

Дата введения – 15.10.2010 г.

Листы 5, 6, 9, 11, 51 заменить листами 5, 6, 9, 11, 51 с изм.1.

Ввести лист 49а.

Примечание:

Лист 5 – Раздел 1 изложен в новой редакции.
Лист 6 – Раздел 2 дополнен НД.
Лист 9 – Раздел 3, пункт 3.1.2 дополнен условными обозначениями.
Лист 11 – Пункт 4.1 – изложен в новой редакции.
Пункт 4.2. – дополнен словами «или пневматического».
Пункт 4.3. – слово «воздушного» заменено на «пневматического».
Лист 51 – Таблица – дополнена столбцом и изменена редакция заголовка.

Лист 7 – Пункт 3.1.1.1. Заменить ссылку: ГОСТ 24856 на ГОСТ Р 52720
Пункт 3.1.1.5. Заменить ссылку: ГОСТ 356 на ГОСТ Р 52720.

Листы 12, 13 – Рисунки 1 и 2 заменить наименование на:
«Рисунок 1 – Принципиальная схема испытательного участка гидравлического или пневматического стенда»
«Рисунок 2 – Принципиальная схема испытательного участка пневматического стенда для испытаний ПК».

Лист 15 – Пункт 4.10.2. Заменить ссылку: ГОСТ Р 51232 на МУ 2.1.5.1183, СанПиН .1.4.1074
Пункт 4.11. Второй абзац дополнить «Класс чистоты воздуха– 684 по ГОСТ Р ИСО 8573-1».

Лист 16 – Пункт 4.12. Изложить в редакции: «В процессе проведения испытаний температура испытательной среды должна быть: - воды от плюс 10 °С до плюс 40 °С, - воздуха от минус 10 °С до плюс 45 °С. Прибор для измерения температуры рекомендуется устанавливать до испытуемой арматуры».
Пункт 4.14. Заменить слова «следующих условиях» на «следующих климатических условиях». Заменить обозначения «(20 ± 15) °С» на «15 °С ± 25 °С»; «до 80%» на «до 98%».
Пункт дополнить новым абзацем: «При проведении гидравлических испытаний разность температур стенки корпуса арматуры и окружающего воздуха не должна вызывать конденсацию влаги на поверхности стенок арматуры»
Пункт 5.1. Шестой абзац изложить в новой редакции: «температуры испытательной среды для определения плотности воздуха до ИА и давления насыщенных паров воды».

Лист 17 – Пункт 5.3. Заменить ссылку: ГОСТ 8.002 на МИ 2304 и ПР 50.2.006.

Лист 18 – Пункт 5.6. Первый абзац – исключить слово «воды».

Второй абзац – заменить слова «температуру воды» на «температуру испытательной среды».

Лист 20 – Пункт 8.1.1. После слов «квадратичного сопротивления» добавить «и, если испытания проводятся на воде, то».

Лист 22 – Пункт 8.2.3.6. Изложить в новой редакции «Рассчитать коэффициент сопротивления по формуле $\zeta = \frac{2 \cdot \Delta P \cdot FN^2 \cdot B^2}{Q^2 \cdot \rho}$. (8)

где B =1,0 - при испытаниях на воде независимо от значений P_1 и P_2 и при испытаниях на воздухе для отношения давлений $\frac{P_2}{P_1} \geq 0{,}9$. B определяется из таблицы А.2 – при испытаниях на воздухе для отношения давлений $\frac{P_2}{P_1} < 0{,}9$. Плотность воздуха рассчитывается по формуле $\rho = \frac{3{,}48 \cdot 10^{-3} \cdot P_1}{K\,(t+293)}$. Коэффициент сжимаемости K определяется в соответствии с таблицей А.3».

Лист 24 – Пункт 8.2.4.6. Первый абзац - заменить слова «Расход воды» на «Расход испытательной среды».

Предпоследний абзац – заменить слова «плотности воды» на «плотности испытательной среды».

Лист 25 – Пункт 8.2.6.2. Заменить слова «расход воды» на «расход среды».

Дополнить словами «, а воздуха $\nu = 1{,}5 \cdot 10^{-5}$ м^2/с»

Пункт 8.2.6.3. Заменить слово «среды» на «испытательной среды»

Пункт 8.2.6.5. Изменить редакцию формулы (12)

$$\lambda кв = \frac{2 \cdot \Delta P \cdot FN^2 \cdot DN \cdot 10^{-3} \cdot B^2}{Q^2 \cdot \rho \cdot (l_1 + l_2)} \quad (12)$$

Лист 26 – Пункт 8.2.6.6. Заменить слова «течения воды» на «течения испытательной среды».

Лист 30 – Пункт 8.3.3.5. Дополнить словами «, если испытания проводятся на воде».

Пункт 8.3.4.1. Изменить редакцию формулы (16)

$$Kv = \frac{3{,}57 \cdot 10^4 Q}{B} \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P}} \quad (16)$$

Лист 45 – Пункт 8.5.2.1. Изменить редакцию «Установить ИА на рабочем участке гидравлического стенда (испытательная среда – вода) в соответствии с требованиями 4.4–4.8.

Листы 52, 55 – Заменить в заголовке таблицы слово «воды» на «среды».

Приложение: листы **5, 6, 9, 11, 49а, 51 с изм.1**

Заместитель генерального директора Ю.И.Тарасьев

Заместитель директора – начальник технического отдела С.Н.Дунаевский

Начальник отдела 153 Е.Г.Пинаева

Исполнитель:
Инженер-исследователь П кат. отдела 153 Т.И.Болонева

СОГЛАСОВАНО:

Председатель ТК 259 М.И.Власов

СТАНДАРТ ЦКБА

Арматура трубопроводная

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И КАВИТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Дата введения 2006 - 07 - 01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на трубопроводную арматуру, применяемую в технологических системах объектов, в т.ч. поднадзорных Ростехнадзору, а также объектов Министерства обороны РФ, и устанавливает методику экспериментального определения гидравлических характеристик арматуры в области квадратичного сопротивления на несжимаемых (ньютоновских) и сжимаемых средах (на воде и воздухе):

а) коэффициентов сопротивления (для запорной и обратной арматуры);

б) коэффициентов расхода при рабочих параметрах (для предохранительной арматуры);

в) пропускной способности при отсутствии кавитации и кавитационных характеристик (для регулирующей арматуры):

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 8.568-97 Аттестация испытательного оборудования. Основные положения

ГОСТ 12.2.085-2002 Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности

ГОСТ 12893-2005 Клапаны регулирующие односедельные, двухседельные и клеточные. Общие технические условия

ГОСТ 16504-81 Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения

ГОСТ 17433-80 Промышленная чистота. Сжатый воздух. Классы загрязненности

ГОСТ Р ИСО 8573-1-2005 Сжатый воздух. Часть 1. Загрязнения и классы чистоты

ГОСТ Р 52720-2007 Арматура трубопроводная. Термины и определения

МУ 2.1.5.1183-03 Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием воды в системах водоснабжения промышленных предприятий

СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества

МИ 2304-94 Метрологический контроль и надзор, осуществляемый метрологическими службами юридических лиц

ПР 50.2.006-94 Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок проведения поверки средств измерения

3.1.1.17 **скоростное давление** $\frac{\rho \cdot v^2}{2}$**:** Давление, равное половине произведения квадрата скорости на плотность движущейся жидкости.

3.1.1.18 **угол открытия** φ**:** Угол между плоскостью седла и плоскостью уплотнительной поверхности ЗЭл (РЭл) арматуры поворотного типа.

3.1.1.19 **ход** h**:** Расстояние между уплотнительными поверхностями ЗЭл (РЭл) и седла.

3.1.2 Условные обозначения:

B - **коэффициент, учитывающий отношение абсолютных давлений до и после ИА;**

$\beta = \frac{P_2}{P_1}$ - **отношение абсолютных давлений до и после ИА;**

DN - номинальный диаметр;

Dmp - диаметр трубопровода, м;

FN - площадь условного прохода, м^2;

G - массовый расход, кг/с;

Q - объемный расход, м^3/с;

K - **коэффициент сжимаемости воздуха;**

$\overline{Kv}$ - фактическое среднеарифметическое значение пропускной способности, м^3/ч;

ΔKv - допустимое отклонение действительного значения пропускной способности от теоретического (расчетного), %;

L - строительная длина арматуры, м;

L_1, L_2 - длина прямого участка трубопровода «до» и «после» ИА, м;

α_1 и α_2 - **коэффициенты расхода соответственно по газу и по жидкости;**

N - количество экспериментальных значений;

P_1 - абсолютное давление до испытуемой арматуры, при котором начинается отклонение расходной характеристики от линейной зависимости, Па;

P_2 - абсолютное давление за ИА, Па;

$P_{нп}$ - абсолютное давление насыщенных паров воды при температуре t на входе в регулирующую арматуру, Па;

P^* - критическое термодинамическое давление среды, Па;

ΔP - перепад (потери) давления на арматуре, Па;

3.2 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ЗЭл - запирающий элемент;

ИА - испытуемая арматура;

ПК - предохранительный клапан;

РА - регулирующая арматура;

РЭл - регулирующий элемент;

ТД - техническая документация;

ТУ - технические условия.

4 Требования, предъявляемые к испытательному участку стенда для определения гидравлических и кавитационных характеристик

4.1 **Коэффициент сопротивления ζ, пропускная способность** Kv, **коэффициент расхода α_2 (α_1) определяются на стенде, имеющем в качестве испытательной среды как воду - несжимаемую жидкость, (воздух - сжимаемую жидкость). Коэффициенты начала паровой кавитации** Kc **и развитой кавитации** K_M **определяются на стенде, имеющем в качестве испытательной среды воду.**

4.2 Принципиальная схема испытательного участка гидравлического **или пневматического стенда** (места установки ИА), испытательной средой которого является или вода, или воздух, представлена на рисунке 1.

4.3 Принципиальная схема испытательного участка **пневматического** стенда для испытаний ПК представлена на рисунке 2. **ПК устанавливаются на трубопровод либо на емкость.** Сброс воздуха производится либо в глушитель, либо непосредственно в атмосферу.

Таблица А.2

Коэффициент B

$\beta = \frac{P_2}{P_1}$	0	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28
B	0,484	0,494	0,505	0,516	0,528	0,541	0,555	0,570

Продолжение таблицы А.2

$\beta = \frac{P_2}{P_1}$	0,32	0,36	0,40	0,44	0,48	0,50	0,52	0,54
B	0,587	0,605	0,625	0,647	0,671	0,685	0,699	0,714

Продолжение таблицы А.2

$\beta = \frac{P_2}{P_1}$	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,72
B	0,729	0,743	0,757	0,771	0,785	0,798	0,811	0,837

Окончание таблицы А.2

$\beta = \frac{P_2}{P_1}$	0,76	0,80	0,84	0,88	0,92	0,96	1,00
B	0,862	0,886	0,910	0,933	0,956	0,978	1,000

Таблица А.3

Давление абсолютное до ИА P_1, МПа	Коэффициент сжимаемости K	
	$t = 0$	$t = 50$
0,1	1,00	1,00
10,0	0,98	1,02
20,0	1,03	1,08

Таблица Б.1

ЖУРНАЛ РЕГИСТРАЦИИ

экспериментальных данных при определении
коэффициента сопротивления ζ и пропускной способности Kv

«___ »_____ 20 г.

Участвовали в испытаниях:

_____

_____

Испытаниям подвергался

_____

_____

_____

Номер положения ЗЭл (РЭл) i	Степень открытия $h_i/h_{черт}$	Номер измерения k	Давление среды до ИА P_1	Давление среды после ИА P_2	Перепад давления на ИА ΔP	Температура среды t	Расход среды Q	Число Рейнольдса Re	Коэффициент сопротивления (пропускная способность) $\zeta_i\,(Kv_i)$	Среднеарифметический коэффициент сопротивления (пропускная способность) $\overline{\zeta_i}\,,(\overline{Kv_i})$
-	%	-	Па			°С	м³/с	-	- (м³/ч)	- (м³/ч)
1	5	1								
		2								
		3								
		4								
		5								
		6								
		7								
2	10	1								
		2								
		3								
		...								
...	...	...								
		...								
		...								
N	100	1								
		2								
		3								
		4								
		5								
		6								
		7								

gost.e-ecolog.ru