НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА
"ЦЕНТРАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
АРМАТУРОСТРОЕНИЯ"

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

Арматура трубопроводная.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАВИТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

РД 26-07-33-99

АННУЛИРОВАН,
ЗАМ. СТ ЦКБА 029-2006
ИЗВЕЩ. 1 от 14.04.06 г.
Прим. с 01.07.06

gost.e-ecolog.ru

ОДОБРЕНО

Федеральной службой
по атомному надзору
Начальник Управления
по надзору за качеством и
технической безопасностью
оборудования для ядерно-
радиационно опасных объектов
Письмом №8-10/220 В.А.Гривизирский
«20» 04 2004 г.

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ЗАО "НПФ "ЦКБА"
В.А.Айриев
1999 г.

Дата введения 2000 - 03 - 01

Вводится впервые

ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ

АРМАТУРА ТРУБОПРОВОДНАЯ. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАВИТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

РД 26 - 07 - 33 - 99

Первый заместитель генерального директора НПФ "ЦКБА" Ю.И.Тарасьев

Начальник лаборатории 153
НПФ "ЦКБА", к.т.н. Е.Г.Пинаева

Инженер-исследователь П категории Е.А.Ленская

СОДЕРЖАНИЕ

1 Область применения 4

2 Нормативные ссылки 4

3 Определения, условные обозначения и сокращения 5

4 Кавитационные характеристики и расчетные формулы 6

5 Требования, предъявляемые к испытательному стенду для определения кавитационных характеристик 7

6 Измерительные средства и приборы 9

7 Требования, предъявляемые к арматуре, поступающей на испытания 10

8 Порядок определения и обработка экспериментальных данных 11

8.1 Порядок определения коэффициентов кавитации 11

8.2 Порядок проведения испытаний 12

8.3 Обработка экспериментальных данных 16

8.4 Рекомендации по внесению значений кавитационных характеристик в техническую документацию 18

Библиография 19

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

Арматура трубопроводная. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАВИТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Дата введения 2000 - 03 – 01

1 Область применения

1.1 Настоящий руководящий документ распространяется на регулирующую арматуру любого номинального диаметра на любое номинальное давление, применяемую на объектах, подведомственных Госатомнадзору России, и устанавливает методику экспериментального определения кавитационных характеристик.

1.2 Настоящий руководящий документ рекомендуется применять при определении кавитационных характеристик регулирующей арматуры, используемой на объектах любых других отраслей промышленности.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.002-86 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный надзор и ведомственный контроль за средствами измерений. Основные положения

ГОСТ Р 8.568-97 Аттестация испытательного оборудования. Основные положения

ГОСТ 2874-82 Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством

ГОСТ 12893-83 Клапаны регулирующие односедельные, двухседельные и клеточные. Общие технические условия

ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды

ГОСТ 24856-81 (ИСО 6552-80) Арматура трубопроводная промышленная. Термины и определения

ГОСТ Р 51232-98 Вода питьевая. Общие требования к организации испытаний и методам контроля качества.

3 Определения, условные обозначения и сокращения

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

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

3.1.2 кавитационный перепад давления допустимый $\Delta P_{кав}$, Па (кгс/см^2) (перепад давления, при котором наступает паровая кавитация): Перепад давления, при котором начинается отклонение функции $Q = f(\sqrt{\Delta P})$ от линейной зависимости.

3.1.3 кавитационный перепад давления критический $\Delta P_{кав.max}$,Па (кгс/см^2) (перепад давления, при котором начинается развитая кавитация): Перепад давления, начиная с которого при увеличении перепада давления на ИА, не происходит увеличения расхода.

3.1.4 коэффициент начала паровой кавитации Kc : Безразмерный параметр, обуславливающий при заданной температуре рабочей среды перепад давления на регулирующей арматуре (далее – РА), при котором имеет место отклонение расходной характеристики $Q = f(\sqrt{\Delta P})$ от линейной зависимости.

3.1.5 коэффициент развитой кавитации $Kм$: Безразмерный параметр, обуславливающий эффект "запирания", при котором увеличение перепада давления не ведет к увеличению расхода.

3.1.6 клапан регулирующий: По ГОСТ 24856.

3.1.7 область квадратичного сопротивления: Часть зоны турбулентного режима течения, отвечающая условию: Потери давления зависят от коэффициента сопротивления и являются прямо пропорциональными средней скорости во второй степени [1].

3.1.8 пропускная способность Kv, м^3/ч: По ГОСТ 12893.

3.1.9 пропускная способность относительная $\frac{K\text{v}}{K\text{v}y}$: По ГОСТ 12893.

3.1.10 пропускная способность условная Kvy, м^3/ч: По ГОСТ 12893.

3.1.11 угол открытия φ: Угол между плоскостью седла и плоскостью уплотнительной поверхности арматуры поворотного типа.

3.1.12 ход РО (текущий ход) h_i, мм: По ГОСТ 12893.

3.1.13 ход условный hy, мм: По ГОСТ 12893.

3.1.14 ход h, мм: Расстояние между уплотнительными поверхностями РО и седла.

DN – номинальный диаметр;

Dmp – диаметр трубопровода, мм;

FN – площадь номинального прохода, м^2;

Q – объемный расход, м^3/с;

ΔP – перепад давления на испытуемой арматуре, Па (кг/см^2);

$P1$ – абсолютное давление до испытуемой арматуры, при котором начинается отклонение расходной характеристики от линейной зависимости, Па (кг/см^2);

$P2$ – абсолютное давление за испытуемой арматурой, Па (кг/см^2);

$P_{нп}$ – абсолютное давление насыщенных паров воды при температуре t на входе в регулирующую арматуру, Па (кг/см^2);

P^* – критическое термодинамическое давление среды, Па (кг/см^2);

υ – средняя скорость, отнесенная к площади условного прохода, м/с;

ν – кинематическая вязкость, м^2/с;

ρ – плотность среды, кг/м^3;

t – температура воды до испытуемой арматуры, °С;

3.2 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ИА – испытуемая арматура;

РА – регулирующая арматура;

РО – регулирующий орган.

4 Кавитационные характеристики и расчетные формулы

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

4.2 Коэффициент начала паровой кавитации Kc рассчитывается по формуле

$$Kc = \frac{\Delta P_{кав}}{P1 - P_{нп}} . \qquad (1)$$

4.3 Коэффициент развитой кавитации рассчитывается по формуле

$$Км = \frac{\Delta Ркав.max}{P1 - r\,Pнп} \qquad (2)$$

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

5 Требования к испытательному стенду для определения кавитационных характеристик

5.1 Коэффициенты паровой и развитой кавитации определяются экспериментальным путем на стенде, имеющем в качестве испытательной среды воду.

5.2 Испытательный участок стенда (место установки ИА) представлен на рисунке 1.

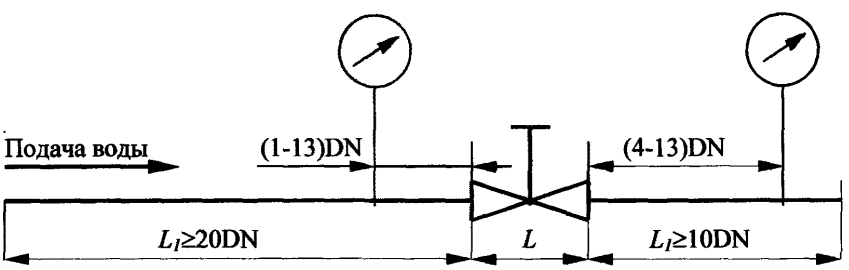


Рисунок 1 Испытательный участок стенда

В соответствии с требованиями Стандарта МЭК (Публикация 534-1) участок должен состоять из двух прямых, без дополнительных местных сопротивлений, отрезков сменных трубопроводов длиной не менее двадцати номинальных диаметров (≥ 20DN) на входе арматуры и не менее десяти номинальных диаметров (≥ 10DN) на выходе.

Допустимая несоосность между осями штатного трубопровода и патрубков ИА приведена в таблице 1.

Таблица 1 В миллиметрах

Номинальный диаметр DN	Несоосность между осями штатного трубопровода и патрубков ИА, не более
От 3 до 10 включ.	0,2
Св. 10 « 25 «	0,8
« 25 « 150 «	1,6
« 150	0,01 *Dтр*

5.3 Значения расстояний от мест измерения давлений “до” и “после” ИА (отборов давления) до уплотнительной поверхности фланцев приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сменный трубопровод	DN		
	от 3 до 6 включ.	св.6 до 32 включ.	св. 32
	Расстояние от уплотнительной поверхности фланцев до мест отбора давлений		
До арматуры	от 6DN до 13DN	от 2DN до 5DN	от 1DN до 2DN
После арматуры	« 6DN « 13DN	« 4DN « 6DN	« 4DN « 6DN

5.4 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 отверстие в трубе должно быть круглым, а края должны быть вровень со стенками трубы, острыми и без заусенцев.

Внутренний диаметр отборов давления в зависимости от DN ИА должен удовлетворять следующим требованиям:

- диаметр отбора равен 0,2 DN, если $2,5 \leq DN \leq 10$,
- диаметр отбора равен 3 мм, если $15 \leq DN \leq 25$,
- диаметр отбора равен 0,1 DN, если $32 \leq DN \leq 100$,
- диаметр отбора равен 12 мм, если $DN > 100$.

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

5.6 Внутренний диаметр присоединительных сменных трубопроводов Dmp должен соответствовать номинальному диаметру арматуры DN и отличаться от диаметров патрубков арматуре не более чем на 2%.

5.7 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.

5.8 Требования, предъявляемые к воде

5.8.1 Требования, предъявляемые к воде, – по нормативным документам владельца стенда.

5.8.2 Допускается применять воду, соответствующую требованиям ГОСТ 2874 или ГОСТ Р 51232.

5.9 В процессе проведения испытаний температура среды должна быть в диапазоне от 10°С до 40°С. Прибор для измерения температуры рекомендуется устанавливать после испытательного участка стенда.

5.10 Аттестованный экспериментальный стенд должен иметь документацию согласно ГОСТ Р 8.568.

5.11 Испытания должны проводиться в нормальных климатических условиях по ГОСТ 15150.

6 Измерительные средства и приборы

6.1 Для определения кавитационных характеристик на испытательном стенде должно быть предусмотрено измерение следующих параметров:

- расхода воды,
- давления до ИА,
- давления после ИА,
- температуры воды до ИА,
- времени при определении расхода объемным способом,
- хода РО.

6.2 Погрешность измерения параметров при проведении испытаний не должна превышать значений, приведенных в таблице 3.

Таблица 3

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

6.3 Государственный надзор и ведомственный контроль за средствами измерений - по ГОСТ 8.002.

6.4 Измерение расхода воды

6.4.1 Измерение расхода воды может осуществляться с помощью расходомеров любого типа. Для измерения малых расходов рекомендуется применять объемный метод.

6.4.2 При использовании объемного метода измерения расхода проводится регистрация времени заполнения водой специального тарированного мерного сосуда либо части сосуда, входящего в состав испытательного участка стенда.

В этом случае расход воды Q, м^3/с, рассчитывается по формуле

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

где V – измеряемый объем, л;

τ – время измерения, с.

6.5 Измерение давления

Измерение давления до и после ИА проводится с помощью образцовых манометров.

6.6 Измерение температуры воды

Измерение температуры может проводиться любым прибором, замеряющим температуру воды.

7 Требования, предъявляемые к арматуре, поступающей на испытания

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

7.2 Арматура поступает на испытания со следующей сопроводительной документацией:

- чертеж общего вида,
- ТУ или проект ТУ,
- паспорт с отметкой ОТК о проведении приемо-сдаточных испытаний или документ, заменяющий паспорт,
- программа и методика проведения испытаний арматуры,
- руководство по эксплуатации.

7.3 Арматура, поступающая на испытания, должна соответствовать спецификации и сборочному чертежу (соответствие устанавливается визуальным контролем). На наружной поверхности арматуры должны отсутствовать повреждения.

8 Порядок определения и обработки экспериментальных данных

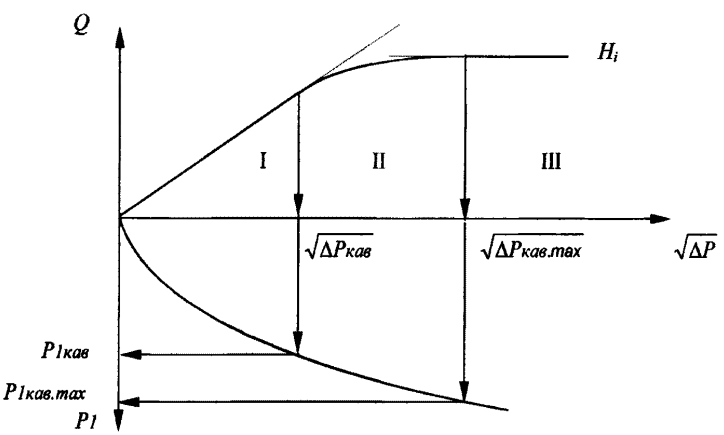
8.1 Порядок определения коэффициентов кавитации

8.1.1 Коэффициенты кавитации Kc и $Kм$ рассчитываются по формулам (1) и (2) соответственно.

8.1.2 Для расчета Kc и $Kм$ для каждого положения регулирующего органа определяются:

- перепад давления $\Delta P_{кав}$ или $\Delta P_{кав.max}$, при котором имеет место начало паровой и развитой кавитации соответственно;
- давление до ИА, соответствующее этому перепаду давления;
- температуру воды до ИА в момент измерения перепада давления.

8.1.3 На рисунке 2 представлен вид зависимости $Q = f(\sqrt{\Delta P})$ для одного положения РО.



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

Рисунок 2 Зависимость расхода воды от корня квадратного из перепада давления для одного положения затвора РА

В области квадратичного сопротивления и в бескавитационном режиме течения зависимость $Q = f(\sqrt{\Delta P})$ представляет собой прямую, исходящую из начала осей координат

с тангенсом угла наклона $tg\beta = \frac{Q}{\sqrt{\Delta P}}$. При значении перепада давления $\Delta P_{кав}$ наступает отклонение зависимости $Q = f(\sqrt{\Delta P})$ от линейной. При перепадах давления на РА больше $\Delta P_{кав.max}$ расход остается постоянной величиной.

8.2 Порядок проведения испытаний

8.2.1 Общие требования, которые следует выполнять при определении кавитационных характеристик

8.2.1.1 Для любого типа РА номинальных диаметров $3 \leq DN \leq 250$ для всех степеней открытия РО область квадратичного сопротивления имеет место при числах Рейнольдса $Re_{кв} \geq 10^4$.

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

Отсутствие кавитации при всех степенях открытия гарантируется при избыточном давлении после арматуры $P2$ большем, чем 0,2 МПа (2 кгс/см^2).

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

8.2.1.3 В процессе проведения эксперимента на фиксированном ходе РО следует следить за тем, чтобы при изменении расхода воды величина хода не изменялась.

Установку РО в каждое новое положение следует проводить от поверхности седла.

8.2.2 Испытание РА номинальных диаметров $3 \leq DN \leq 250$ в области квадратичного сопротивления рекомендуется проводить в следующей последовательности:

8.2.2.1 Установить ИА на рабочем участке стенда в соответствии с требованиями 5.6.

8.2.2.2 Испытания проводить при фиксированных ходах h_i или углах поворота φ_i РО, соответствующих 5, 10, 20, 30, 40, 50; 60, 70, 80,90, 100% условного хода hy или максимального угла открытия φmax. Выбор положения РО из указанного ряда должен осуществляться в случайном порядке.

8.2.2.3 На каждом ходе h_i или угле поворота φ_i РО отрегулировать штатной арматурой стенда режим испытания изделия в области квадратичного сопротивления при отсутствии кавитации.

8.2.2.4 Рассчитать число Рейнольдса по одной из формул

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

или

$$Re = \frac{4Q}{\pi\ \nu(DN \cdot 10^{-3})}, \qquad (5)$$

где $v = \frac{Q}{FN}$,

$$FN = \frac{\pi (DN \cdot 10^{-3})^2}{4}.$$

8.2.2.5 В установившемся режиме (то есть после 2 - 3 минут выхода на режим) провести измерение расхода, проходящего через арматуру, и давлений до и после ИА.

8.2.2.6 Рассчитать пропускную способность по формуле

$$Kv = 3{,}57 \times 10^4 Q\sqrt{\frac{\rho}{\Delta P}}, \qquad (6)$$

где $\Delta P = P1 - P2$ – перепад давления, Па

8.2.2.7 С помощью штатной арматуры увеличить или уменьшить величину расхода при условии выполнения требований 8.2.1, замерить расход, давления до и после ИА и рассчитать величину пропускной способности по формуле (6). Величина изменения перепада давления на ИА не менее 15 кПа. Изменение расхода следует проводить не менее семи раз.

8.2.2.8 Рассчитать:

- среднее арифметическое значение по формуле

$$\overline{Kv} = \frac{\sum_{\kappa=1}^{N} Kv_\kappa}{N}; \qquad (7)$$

- среднее квадратичное отклонение по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{\kappa=1}^{N} \left(\overline{Kv} - Kv_\kappa\right)^2}{N - 1}}, \qquad (8)$$

где N – количество экспериментальных значений пропускной способности, полученные в процессе проведения испытаний на одном фиксированном ходе РО;

8.2.2.9 Провести выброс «грубых» ошибок:

- оценить допустимый интервал изменения значения пропускной способности $(\overline{Kv} - 3\sigma)$; $(\overline{Kv} + 3\sigma)$];

- все значения пропускной способности, выходящие за этот интервал, считаются «грубыми» ошибками и должны быть исключены из общего массива экспериментальных данных;

- если «грубые» ошибки имеются, то повторить расчет по формуле (7) без их учета.

8.2.3 Испытание РА номинальных диаметров 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 5.6. Установить РО на ход, соответствующий условному ходу hу.

8.2.3.2 Отрегулировать штатной арматурой стенда режим, соответствующий числу Рейнольдса в диапазоне Re=10^4- 2x10^4, рассчитав число Рейнольдса по одной из формул (4) или (5).

8.2.3.3 Произвести определение пропускной способности в соответствии с 8.2.2.5 и 8.2.2.6.

8.2.3.4 С помощью штатной арматуры увеличить расход, увеличив тем самым число Рейнольдса ориентировочно на (8-10)%, и провести определение пропускной способности в соответствии с 8.2.2.5 и 8.2.2.6.

8.2.3.5 Расход воды следует увеличивать до тех пор, пока пропускная способность РА не станет постоянной величиной, т.е. при увеличивающихся значениях расхода (или, что тоже самое, числах Рейнольдса) три – пять значений пропускной способности будут находиться в диапазоне $Kv \pm \Delta Kv$, где ΔKv - погрешность определения пропускной способности на испытательном стенде.

Погрешность определения пропускной способности ΔKv рассчитывается из формулы:

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

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

ΔQ – цена деления прибора, измеряющего расход,

$\Delta\rho$ – погрешность измерения плотности воды.

Минимальное значение числа Рейнольдса, при котором наступило постоянство пропускной способности, является числом, с которого начинается область квадратичного сопротивления для испытуемой РА.

8.2.3.6 В области квадратичного сопротивления произвести определение пропускной способности в соответствии с 8.2.2.5-8.2.2.9.

8.2.4 В бескавитационном режиме течения для фиксированного положения РО «эталонная» зависимость расхода от корня квадратного из перепада давления описывается следующим уравнением

$$Q\text{э} = 2{,}8 \cdot 10^{-5} \cdot \overline{Kv} \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \qquad (10)$$

где ΔP – перепад давления, Па.

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

8.2.6 Установить давление до ИА (первый замер рекомендуется проводить при давлении (1,0-1,5) кг/см^2), провести измерения расхода воды $Q\phi_к$, температуры $t_к$, давлений на входе $P1\phi_к$ и на выходе $P2\phi_к$ и рассчитать следующие величины:

- «эталонную» величину расхода $Q\text{э}_к$ по формуле (9), подставляя в нее значение $\Delta P = P1\phi_к - P2\phi_к$;

- величину отклонения фактического расхода $Q\phi_к$, определенного в процессе проведения эксперимента, от «эталонного» $Q\text{э}_к$ по формуле

$$\Delta Q = Q\text{э}_к - Q\phi_к . \qquad (11)$$

Зафиксировать знак величины ΔQ.

8.2.7 Увеличивать расход с произвольным шагом, измеряя параметры и проводя расчеты в соответствии с 8.2.6.

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

8.2.8 Повторить испытания по 8.2.6-8.2.7 не менее трех раз. При этом совпадение значений давления на входе при повторении испытаний не требуется.

8.3 Обработка экспериментальных данных

8.3.1 Обработка экспериментальных данных проводится для каждого фиксированного положения РО, на котором проводились испытания.

8.3.2 Для всех зафиксированных значений $Q\phi_к$, $t_к$, $P1\phi_к$ и $P2\phi_к$, для которых $\Delta Q>0$, с помощью метода наименьших квадратов определить коэффициенты уравнения регрессии $Q = f(\sqrt{\Delta P})$ в области паровой кавитации, которое можно записать в следующем виде

$$Q = a_o + a_1\sqrt{\Delta P} + a_2(\sqrt{\Delta P})^2,$$

где a_o, a_1, a_2 - коэффициенты уравнения регрессии.

8.3.3 Решить систему уравнений

$$\begin{cases} Q_э = K_V\sqrt{\Delta P} \\ Q = f(\sqrt{\Delta P}) \end{cases}$$

Решением системы является точка с координатами Q и $\sqrt{\Delta P}$, которая определяет начало паровой кавитации, а соответствующие значения $\Delta P_{кав}$, $P1_{кав}$, $t_{кав}$ являются параметрами начала кавитации.

8.3.4 Если в процессе проведения испытаний при увеличении перепада давления на РА расход не меняется, т.е. его отклонения находятся в пределах погрешности измерений, то это означает наступление развитой кавитации.

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

- произвести не менее чем пятикратное изменение и измерение расхода;

- построить уравнение регрессии

$$Q = a_o + a_1\sqrt{\Delta P};$$

- решить систему уравнений

$$\begin{cases} Q = f\sqrt{\Delta P} \\ Q = a_o + a_1\sqrt{\Delta P} \end{cases}.$$

Решением системы является точка с координатами Q и $\sqrt{\Delta P}$, которая определяет начало развитой кавитации, и, следовательно, параметры развитой кавитации $\Delta P_{кав.max}$, $P1_{кав.}$, $t_{кав}$.

8.3.5 По значению температуры воды $t_{кав.}$ до ИА, замеренной в процессе эксперимента, из таблиц теплофизических свойств воды и водяного пара найти значение давления парообразования $P_{нп}$ и рассчитать:

- коэффициенты начала паровой кавитации Kc по формуле (1) для значений $\Delta P_{кав}$,

- коэффициенты развитой кавитации $Kм$ по формуле (2) для значений $\Delta P_{кав.max.}$

8.3.6 Для всех положений РО, на которых проводились испытания, рассчитать значения относительной пропускной способности по формуле

$$\frac{Kv_i}{Kvy} = \frac{\overline{Kv_i}}{Kvy}. \qquad (12)$$

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

$$Kc_{расч} = a_o + a_1x + a_2x^2, \qquad (13)$$

$$Kм_{расч} = в_o + в_1x + в_2x^2, \qquad (14)$$

где a_o, a_1,, a_2, $в_o$, $в_1$, $в_2$, – коэффициенты уравнений регрессии,

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

Вид зависимостей представлен на графике рисунок 3.

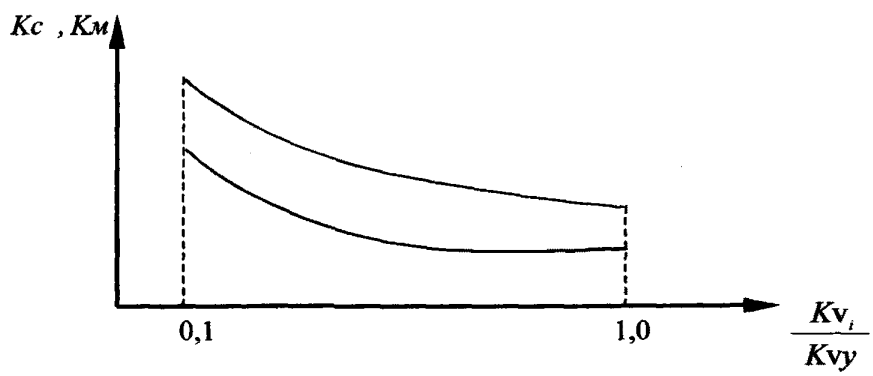


Рисунок 3

8.3.8 По результатам испытаний в ТД на РА следует вносить зависимости коэффициента начала кавитации $Кс$ и коэффициента развитой кавитации $Км$ от относительной пропускной способности в виде уравнений

$$Кс = c_o + c_1x + c_2x^2, \quad (15)$$

$$Км = d_o + d_1x + d_2x^2, \quad (16)$$

где $x = \frac{Kv_i}{Kvy}$ – значения относительной пропускной способности;

$c_o = a_o(1 - \overline{\Delta c})$,

$c_1 = a_1(1 - \overline{\Delta c})$,

$c_2 = a_2(1 - \overline{\Delta c})$,

$d_o = b_o(1 - \overline{\Delta м})$,

$d_1 = b_1(1 - \overline{\Delta м})$,

$d_2 = b_2(1 - \overline{\Delta м})$,

$\overline{\Delta c}, \overline{\Delta м}$ – погрешности аппроксимации, рассчитанные по формулам:

$$\overline{\Delta c} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{|Кс\ расч - Кс\ эксп|}{Кс эксп}}{N} \quad (17)$$

$$\overline{\Delta м} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{|Км\ расч - Км\ эксп|}{Км эксп}}{N} \quad (18)$$

где N – количество экспериментальных значений пропускной способности.

8.4 Рекомендации по внесению значений кавитационных характеристик в техническую документацию

8.4.1 В техническую документацию на РА следует внести зависимости коэффициента начала кавитации $Кс$ и коэффициента развитой кавитации $Км$ от относительной пропускной способности в виде уравнений (15) и (16).

8.4.2 В техническую документацию на РА внести следующий текст:

«Изготовитель гарантирует срок службы, характеристики и устойчивую работу регулирующей арматуры (черт. .....), если в процессе эксплуатации перепад давления на

арматуре не превышает величины допустимого кавитационного перепада $\Delta P_{кав}$, рассчитанного по формуле

$$\Delta P_{кав} = Kc\,(P1 - P_{нп}),$$

где: Kc – коэффициент паровой кавитации, определяется с помощью уравнения регрессии (привести уравнение регрессии, коэффициенты которого определены в 8.3.7);

$P1$ – абсолютное давление до арматуры, кг/см^2;

$P_{нп}$ – абсолютное давление насыщенных паров среды при температуре на входе в арматуру в процессе эксплуатации арматуры, кг/см^2.

При перепадах давления на РА, больших критического значения $\Delta P_{кав.max}$, объемный расход среды Q,, м^3/с, проходящий через РА, следует рассчитывать по формуле

$$Q = 2{,}8 \times 10^{-5} K\text{v} \sqrt{\frac{\Delta P_{кав.max}}{\rho}},$$

где: $K\text{v}$ – пропускная способность на ходе h_i или угле поворота φ_i, для которого определяется критический режим, м^3/ч;

ρ – плотность среды, кг/м^3;

$\Delta P_{кав.max} = K_M\,(P1 - r\,P_{нп})$ – критический кавитационный перепад давления, Па;

K_M – коэффициент паровой кавитации, определяется с помощью уравнения регрессии (привести уравнение регрессии, коэффициенты которого определены в 8.3.7);

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

P^* – критическое термодинамическое давление (для воды Р*=225,65 кг/см^2)».

Библиография

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

Лист регистрации изменений

Изм.	Номера листов (страниц)			Всего листов (страниц) в докум.	№ докум.	Входящий № сопроводительного документа и дата	Подпись	Дата
	измененных	замененных	новых					

gost.e-ecolog.ru