

А. В. Королев¹, П. Я. Павлышин², В. С. Таякин²

¹Одесский национальный политехнический университет, просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина

²Ривненская атомная электростанция, Вараиш, 34400, Украина

Сравнительный анализ герметичности двух типов энергетической арматуры

Ключевые слова:

энергетическая арматура, экспериментальное исследование, пропуск среды, крутящий момент, критериальное уравнение.

Несмотря на важность арматуры как элемента тепловой схемы АЭС, который перекрывает аварийные участки схемы, отвечает за регулирование расхода или опорожнения сосудов, энергетическая арматура часто является наиболее слабым местом в системе АЭС. Это часто связано с неответственным отношением к ее эксплуатации, «гарантированным закрытием» с помощью подручных средств, неправильной установкой и профилактикой. Одним из самых важных аспектов эксплуатации арматуры является усилие ее закрытия, которое часто определяется настройками предельной муфты электропривода или личными ощущениями закрывающего ее рабочего. Задачей статьи является исследование возможности снижения усилия закрытия арматуры без существенной потери герметичности. В статье представлены результаты экспериментального исследования протечек дроссельно-регулирующей арматуры при разных степенях ее закрытия. Исследования проводились на стенде, позволяющем устанавливать давление воздуха вплоть до 3,5 МПа. Обработка результатов исследования выполнялась по критериальному уравнению, полученному ранее и успешно используемому при исследовании запорного клапана. По результатам исследования было получено критериальное уравнение, которое позволило установить зависимость протечки от величины крутящего момента для этого типа арматуры. Показано, что зависимость протечки от усилия закрытия арматуры имеет один и тот же тренд для арматуры запорной и дроссельно-регулирующей, что подтверждает правильность выбора основных критериев при построении и анализе зависимости «протечка — крутящий момент».

Введение

Энергетическая арматура на энергоблоках АЭС занимает важное место, устанавливая контролируемые соединения между различным оборудованием. Количество арматуры различной конструкции и назначения на энергоблоках типа В320 (ВВЭР-1000) составляет 8–9 тыс. изделий. Наиболее распространенной на АЭС является запорная арматура, открывающая или перекрывающая подачу среды к различному оборудованию. Таким образом, для надежной

работы энергоблоков важна функция надежного закрытия арматуры, отсекающая оборудование при различных регламентных операциях или аварийных ситуациях. Важной причиной снижения герметичности закрытия арматуры являются повреждения, приводящие к увеличению протечек.

Одним из факторов, приводящих к таким повреждениям, являются условия эксплуатации арматуры, а именно значение момента силы на закрытие арматуры, выбранного при ее настройке на закрытие. Для арматуры с электроприводом большое значение

© А. В. Королев, П. Я. Павлышин, В. С. Таякин, 2020

имеет послеремонтная настройка предельной муфты, обеспечивающей отключение арматуры при достижении определенного крутящего момента на штоке арматуры. В предыдущей статье выполнено исследование запорного клапана, которое показало важность и своевременность таких исследований [1].

Анализ требований на пропуск арматуры

Несмотря на то, что, как было сказано выше, залогом продолжительной и надежной работы арматуры является установление допустимых усилий при ее закрытии, анализ технической литературы, в частности [2–4], показывает, что в ней отсутствуют указания относительно усилий закрытия арматуры.

В частности, допустимый пропуск воздуха через арматуру в общем случае определяется формулой [2]

$$Q_y = KnD_y^{3/2} (P + 2), \quad (1)$$

где Q_y — пропуск воздуха арматурой, см³/мин; K — коэффициент, зависящий от класса герметичности: для 1-го класса герметичности $K = 1$, для 2-го класса $K = 3$, для 3-го класса $K = 10$; n — коэффициент, зависящий от вида арматуры: для вентилях $n = 7,5 \cdot 10^{-4}$, для запорной арматуры $n = 2,6 \cdot 10^{-3}$; D_y — условный проход арматуры, мм; P — давление воздуха, атм.

Здесь следует отметить, что допустимый пропуск арматуры по (1) определяют по воздуху, так как капиллярные силы при испытаниях на воде существенно снижают пропуск воды.

Анализ зависимости (1) показывает, что давление здесь дается в первой степени, а не в степени $(-0,5)$, как это принято в гидравлике согласно основным уравнениям течений среды через местное сопротивление.

Экспериментальная часть и анализ результатов

В работе [4] было проведено исследование герметичности запорного клапана и получено критерияльное уравнение, связывающее пропуск воздуха, перепад давления на клапане и крутящий момент на закрытие и имеющее общий вид

$$Q/\sqrt{\Delta P} = C \cdot M^g, \quad (2)$$

где Q — расход воздуха через клапан, см³/с; C — коэффициент размерный; ΔP — перепад давления на клапане, МПа; M — крутящий момент на штоке клапана, Н · м; $g = 2,17$ — безразмерный коэффициент.

Для исследуемого в [1] запорного клапана Курганского арматурного завода (ОАО «Икар») эта зависимость имела вид

$$Q = C \cdot \Delta P^{0,5} \cdot M^{-2,17}. \quad (3)$$

Важным вопросом этих исследований является универсальность уравнения (2) для описания герметичности арматуры разных типов. В продолжение исследований герметичности арматуры было проведено экспериментальное исследование другой арматуры (рис. 1), дроссельно-регулирующего вентиля Ду 10 ЗАО «Энергомаш» (г. Чехов).

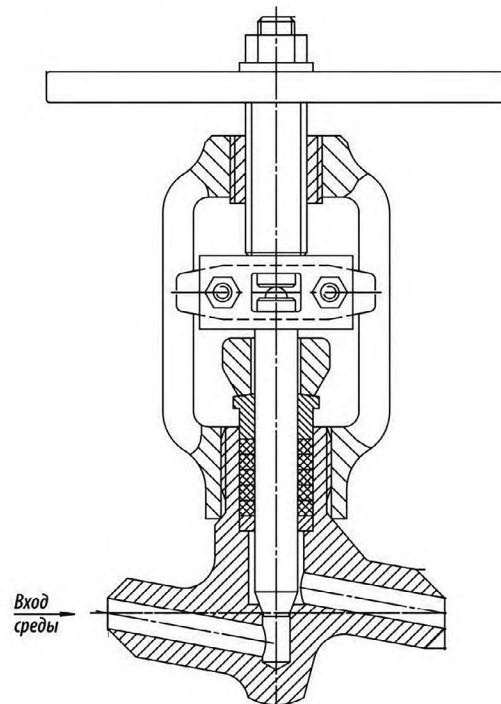


Рис. 1. Дроссельно-регулирующий вентиль ЗАО «Энергомаш»

Исследуемый вентиль имеет посадочную поверхность, выточенную прямо на штоке, поэтому чаще используется как дроссельно-регулирующий в тепловой схеме энергоблока.

Исследование пропускания вентиля при различных давлениях воздуха выполнялось на стенде [1] (рис. 2).

Компрессор АК 50 (2), который приводится в движение электродвигателем АО 4 (1), нагнетает воздух в аккумуляторную емкость (3) объемом 10 литров, давление в которой измеряется с помощью манометра (7) класса точности 0,5. Аккумуляторная емкость (3) соединяется трубкой, выполненной из нержавеющей стали, с входом исследуемой арматуры. Величина пропускания воздуха определялась объемным способом.

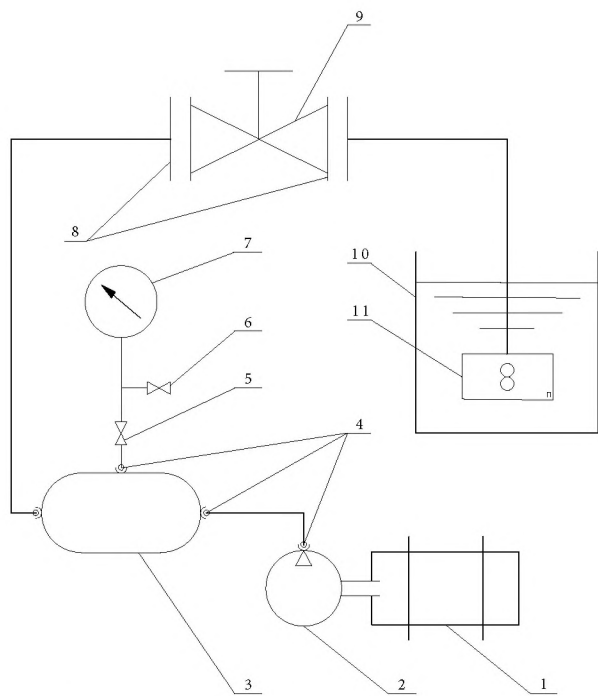


Рис. 2. Схема экспериментального стенда:

- 1 — электродвигатель; 2 — поршневой компрессор;
 3 — аккумулирующая емкость; 4 — соединение типа «полусфера-конус»; 5 — корневой вентиль манометра;
 6 — дренажный вентиль манометра; 7 — манометр; 8 — система уплотнений; 9 — исследуемая арматура; 10 — емкость с водой; 11 — измерительная емкость

Для расширения диапазона измерений и повышения точности использовались две колбы с пределами измерения 0...500 мл и 0...5 мл. Контроль и измерение давления перед вентилем осуществлялись образцовым манометром МО 5 с классом точности 0,2. Температура воздуха контролировалась ртутным термометром с точностью 0,5 °С. Время замерялось электронным секундомером с точностью не менее 0,1 сек. Измерения крутящего момента выполнялось динамометрическим ключом КД-200-13, что позволяет измерять крутящий момент в диапазоне 0...250 Н·м и классом точности 2. В табл. 1 представлены экспериментальные данные, полученные на стенде.

Проведенное исследование позволило установить зависимость протечки от величины крутящего момента для этой арматуры. На рис. 3 представлена зависимость относительного пропуска вентиль от усилия крутящего момента на штоке, обработанная по критериальному уравнению (2).

Полученная зависимость для этого вентиль имеет вид

$$Q = C \cdot \Delta P^{0,5} \cdot M^{-3,54} \quad (4)$$

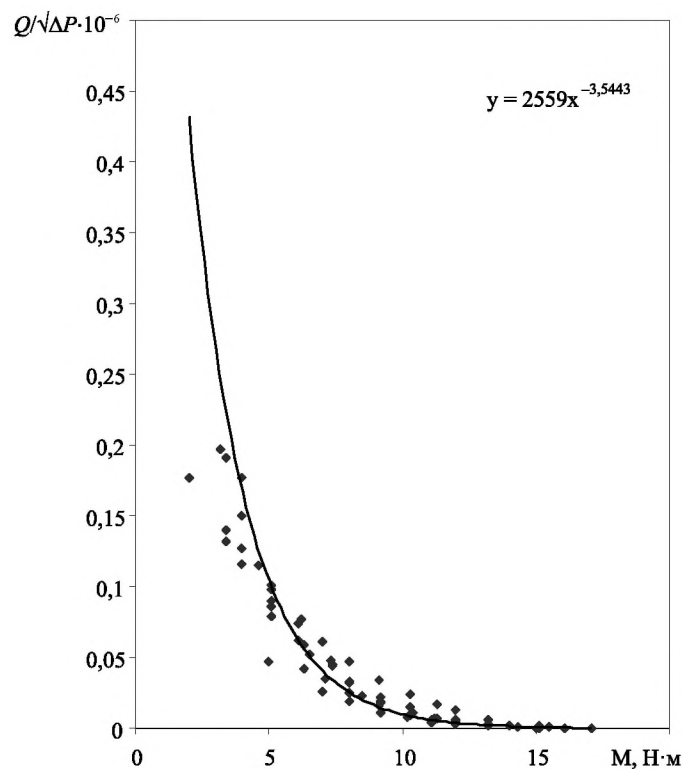


Рис. 3. Зависимость относительного пропуска вентиль от величины крутящего момента

По сравнению с аналогичной зависимостью, полученной для клапана, исследованного в [1], следует отметить, что характер зависимости имеет тот же тренд, однако здесь наблюдается более крутая зависимость с абсолютным показателем степени 3,54, что в 1,63 раза больше, чем у клапана [1].

Однако необходимо выяснить различие в коэффициентах в критериальных уравнениях и о чем они информируют. Анализ зависимости (2) по результатам проведенного исследования позволяет заключить следующее.

Размерный коэффициент C влияет на подъем всех точек зависимости (2) вдоль оси ординат, более существенную роль играет показатель g у крутящего момента. Его увеличение ведет к увеличению кривизны показательного графика и, как следствие, к более раннему перекрытию проходного сечения арматуры. Так арматура с большим показателем g требует меньшего крутящего момента на штоке для достижения допустимого пропуска среды, чем арматура с меньшим показателем g .

Представляется целесообразным расширить подобные исследования на другие типы энергетической арматуры с целью откорректировать уравнение (1) для более точного определения условий закрытия арматуры.

Таблица 1. Первичные экспериментальные данные по пропуску арматуры в зависимости от усилия ее закрытия

№	Давление перед арматурой, Р, атм	Крутящий момент на штоке, М, (Н · м)	Объем пропуска воздуха, V, мл	Время заполнения мерного объема, τ, с	№	Давление перед арматурой, Р, атм	Крутящий момент на штоке, М, (Н · м)	Объем пропуска воздуха, V, мл	Время заполнения мерного объема, τ, с
1	8	2,0	200	4,0	39	14	3,4	150	2,1
2	8	5,0	150	11,2	40	14	4,6	150	3,5
3	8	6,3	150	12,6	41	14	5,1	150	4,1
4	8	7,0	150	20,2	42	14	6,3	150	6,8
5	8	8,0	150	27,8	43	14	7,4	150	9,1
6	8	9,2	150	47,7	44	14	8,0	150	12,1
7	8	10,2	150	69,1	45	14	9,2	150	18,3
8	8	11,1	150	149	46	14	10,3	150	26,5
9	8	12,0	10	10,9	47	14	11,3	150	59,7
10	8	13,2	10	19,9	48	14	12,0	150	86,8
11	8	14,3	10	50	49	14	13,2	10	8,2
12	10	3,4	150	3,6	50	14	14,3	10	20,7
13	10	4,0	150	4,1	51	14	15,5	10	50,6
14	10	5,1	150	6,0	52	14	16,1	5	72,3
15	10	6,5	150	9,1	53	16	3,2	150	1,9
16	10	7,1	150	13,4	54	16	4,0	150	2,5
17	10	8,0	150	19,1	55	16	5,1	150	3,7
18	10	9,1	150	30,4	56	16	6,1	150	5,1
19	10	10,3	150	48,5	57	16	7,3	150	7,8
20	10	11,1	150	85,6	58	16	8,5	150	16,3
21	10	12,0	10	7,0	59	16	9,2	150	20,8
22	10	13,2	10	12,8	60	16	10,4	150	35,1
23	10	14,3	10	41,0	61	16	11,2	150	50
24	10	15,1	10	94,1	62	16	12,0	10	4,3
25	12	3,4	150	3,1	63	16	13,2	10	7,2
26	12	4,0	150	3,4	64	16	14,0	10	13,4
27	12	5,1	150	4,8	65	16	15,0	10	119
28	12	6,1	150	7,0	66	18	4,0	150	2
29	12	7,4	150	9,7	67	18	5,1	150	4,1
30	12	8,0	150	13,4	68	18	6,2	150	4,6
31	12	9,2	150	23,3	69	18	7,0	150	5,8
32	12	10,3	150	45,9	70	18	8,0	150	7,6
33	12	11,1	150	67,8	71	18	9,1	150	10,3
34	12	12,0	10	5,5	72	18	10,3	150	14,7
35	12	13,2	10	11,2	73	18	11,3	150	21,3
36	12	14,3	10	21,7	74	18	12,0	150	26,6
37	12	15,1	10	48,7	75	18	13,2	150	55
38	12	16,1	5	249,4	76	18	15,1	10	13
					77	18	17,1	10	50,5

Выводы

1. Показано, что в нормативной документации по пропуску арматуры отсутствуют условия на усилия закрытия арматуры.

2. Выполнены экспериментальные исследования зависимости пропуска дроссельно-регулирующей арматуры от усилия закрытия в диапазоне давлений (до 1,8 МПа) и крутящих моментов (до 18 Н · м).

3. Полученная критериальная зависимость пропуска арматуры удовлетворительно описывает условия закрытия арматуры, а рассмотренные два разных типа рабочей арматуры имеют аналогичный тренд.

Список литературы

1. Koroliyov A. V. Experimental research of valve tightness at different closure forces / A. V. Koroliyov, P. Y. Pavlyshyn, I. V. Bandurko // Nuclear and radiation safety. — 2018. — Vol. 4 (80). — P. 21–24.
2. Имбрицкий И. М. Справочник по арматуре тепловых электростанций / И. М. Имбрицкий. — Москва : Энергоиздат, 1981. — 304 с.
3. ГОСТ 356-80 (СТ СЭВ 253-76). Арматура и детали трубопроводов. Давления условные пробные и рабочие. Ряды. — Москва : Стандартинформ. — 2006. — 20 с.
4. ГОСТ 9544-2015. Межгосударственный стандарт. Арматура трубопроводная запорная. Нормы герметичности затворов. — 2015. — 11 с.

встановленням і профілактикою. Одним із найважливіших аспектів експлуатації арматури є зусилля її закриття, яке часто визначається налаштуваннями граничної муфти електроприводу або особистими відчуттями робітника, який її закриває. Завданням статті є дослідження можливості зниження зусилля закриття арматури без істотної втрати герметичності. Представлено результати експериментального дослідження протікання дросельно-регулювальної арматури за різних ступенів її закриття. Дослідження проводили на стенді, що дає змогу встановлювати тиск повітря аж до 3,5 МПа. Обробка результатів дослідження виконувалась за критериальним рівнянням, що було сформульовано раніше і успішно використовувалося під час дослідження запірної арматури. За результатами дослідження було отримано критериальне рівняння, яке дало змогу встановити залежність течі від величини крутного моменту для цього типу арматури. Показано, що залежність течі від зусилля закриття арматури має однаковий тренд для запірної та дросельно-регулювальної арматури, що підтверджує правильність вибору основних критеріїв під час побудови і аналізу залежності «теча — крутний момент».

Ключові слова: енергетична арматура, експериментальне дослідження, пропуск середовища, крутний момент, критериальне рівняння.

A. V. Koroliyov¹, P. Y. Pavlyshyn², V. S. Tayakin²

¹ Odessa National Polytechnic University, 1, Shevchenko ave, Odesa, 65044, Ukraine

² Rivne Nuclear Power Plant, Varash, 34400, Ukraine

Comparative Analysis of the Tightness of Two Types of Power Valves

The valve is a responsible and important element of the nuclear power plants' thermal scheme. It is the valve that overlaps the emergency sections of the circuit, is responsible for regulating the flow or emptying of the vessels. But energy fittings are often the weakest point in the NPP system. It is often determined by an irresponsible attitude to its operation, "guaranteed closure" with the help of available tools, improper installation and prevention. One of the most important moments of valve operation is the force of its closure, which is often determined by the settings of the limit coupling of the electric drive, or by the

О. В. Корольов¹, П. Я. Павлышин², В. С. Таякин²

¹ Одеський національний політехнічний університет, просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна

² Рівненська атомна електростанція, Вараши, 34400, Україна

Порівняльний аналіз герметичності двох типів енергетичної арматури

Арматура є відповідальним і важливим елементом теплової схеми АЕС. Саме арматура перекриває аварійні ділянки схеми, відповідає за регулювання витрат або спорожнення посудин. Однак енергетична арматура часто є найслабкішим місцем у системі АЕС. Це часто зумовлено невідповідальним ставленням до її експлуатації, тобто «гарантованим закриттям» за допомогою підручних засобів, неправильним

experience of the worker closing it. In a previous article, a check valve was studied, which showed the importance and timeliness of such studies. The objective of the article is to study the possibility of reducing the closing force of the valve without a significant loss of tightness. Studies were conducted on a stand that allows you to set air pressure up to 3.5 MPa. Processing of the research results was carried out according to the criterial equation obtained earlier and successfully used in the study of the shut-off valve. According to the results of the study, a criterion equation was obtained, which made it possible to establish the dependence of leakage on the magnitude of the torque for this type of reinforcement. It is shown that the dependence of the leakage on the reinforcement closing force has the same trend for the shut-off and throttle-regulating valves, which confirms the correctness of the choice of the main criteria when building and analyzing the leakage-torque dependence. However, it is necessary to find out the difference in coefficients in the criterion equations, which they inform about.

Keywords: power fittings, experimental research, medium leakage, torque, criterion equation.

References

1. Koroliiov A. V., Pavlyshyn P. Y., Bandurko I. V. (2018). Experimental Research of Valve Tightness at Different Closure Forces. *Yaderna ta radiatsiina bezpeka* [Nuclear and radiation safety], vol. 80, no. 4, pp. 21–24.
2. Imbritskii I. M. (1981). *Spravochnik po armature teplovykh elektrostantsii* [Handbook of valves for thermal power plants]. Moscow: Energoizdat, 304 p. (in Russ.)
3. GOST 356-80 (ST SEV 253-76). *Valves and details for piping. Pressures conditional, test and operational. Lines*. Moscow: Standartinform, 2006, 20 p. (in Russ.)
4. GOST 9544-2015. *Pipeline valves. Leakage rates of valves*, 2015, 11 p. (in Russ.)

Надійшла 06.02.2020

Received 06.02.2020