

Методология экспериментального определения показателей надежности при проведении статических испытаний шаровых кранов на изгиб

Константин В. Осинцев^{1*}, Никита А. Кузнецов²

¹ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет», Российская Федерация, Челябинск,

²ООО «ЧелябинскСпецГражданСтрой», Российская Федерация, Челябинск

*osintsev2008@yandex.ru



Константин В.
Осинцев



Никита А.
Кузнецов

Резюме. К количественным показателям характеристик надежности технологического оборудования, машин и изделий относятся безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость. Целью исследований является разработка методологических основ экспериментального определения показателей надежности шаровых кранов при проведении статических испытаний на изгиб. Цель достигается решением отдельных научных задач, а именно разработкой методики проведения статических испытаний шаровых кранов на изгиб, экспериментальным определением коэффициента разрушающего контроля, аналитическим вычислением коэффициентов отказа, сохранения производительности и коэффициента качества продукции. Разработан лабораторный стенд для экспериментального определения коэффициента разрушающего контроля. Используемые научные методы статических испытаний предлагаются впервые. Минимальная тестовая нагрузка на изгиб является определяющей величиной, поэтому требуется значительная выборка в ходе проведения экспериментальных работ. Кроме того, рекомендовано для шарового крана с наименьшими показателями по выдерживаемой нагрузке на изгиб из представленных экспериментальных образцов одного диаметра, согласно разработанной методологии, определять такой кран как твердотельную неделимую единицу. Выводы по проведенным экспериментальным и теоретическим исследованиям полностью соответствуют решенным научно-техническим задачам. В результате проведения экспериментальных исследований авторы оценили «усиленные» возможности шаровых кранов различных производителей при сравнительном анализе проведенных статических испытаний арматуры на изгиб. Рекомендуется рассматривать твердотельную неделимую единицу без отрыва от совместной работы на трубопровод из определенного материала. Экспериментально определены коэффициенты разрушающего контроля для исследуемых образцов шаровых кранов. Определены коэффициенты сохранения эффективности, которые являются базовыми коэффициентами показателя безотказности – одной из основных характеристик надежности технологического оборудования, машин и изделий.

Ключевые слова: шаровой кран, надежность, статические испытания.

Для цитирования: Осинцев К.В., Кузнецов Н.А. Методология экспериментального определения показателей надежности при проведении статических испытаний шаровых кранов на изгиб // Надежность. 2020. №3. С. 15-20. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-3-15-20>

Поступила 04.04.2020 г. / После доработки 18.05.2020 г. / К печати 21.09.2020 г.

Введение

Трубопроводная арматура применяется в различных отраслях экономики, в частности, нефтегазовой, химической, металлургической, машиностроительной и энергетической. В настоящей статье рассмотрены вопросы повышения надежности арматуры систем теплоснабжения, отопления, горячего и холодного водоснабжения. Под определение видов трубопроводной арматуры [1] попадают запорная, обратная, предохранительная, распределительно-смесительная, регулирующая, разделительная и отключающая. К основным типам арматуры относят задвижки, клапаны, краны и дисковые затворы. В настоящей статье рассмотрим шаровые краны, которые относятся к запорной трубопроводной арматуре. При производстве шаровых кранов необходимо учитывать показатели надежности [2], которые при их эксплуатации будут влиять на безаварийную работу промышленных трубопроводов. Например, технический регламент Таможенного Союза вводит понятия назначенного ресурса и назначенного срока службы оборудования, при достижении которых работа оборудования должна быть прекращена вне зависимости от его состояния [3, 4]. Но при этом показатели надежности (ПН) различны по отраслям и зависят от типовой модели эксплуатации [2].

Актуальность темы исследования

Типовая модель эксплуатации, применительно к которой создаются показатели надежности, определяется заданными режимами работы оборудования, уровнями воздействующих факторов и нагрузок для каждого режима, характеристики принятой системы технического обслуживания и ремонта [2]. В настоящее время производители шаровых кранов используют различные конструкционные материалы [5, 6] при их изготовлении и, соответственно, применяют разные требования к надежности. В частности, каждый производитель шаровых кранов на данный момент вправе называть свою продукцию «усиленной» без веских на то оснований, что вводит конечных потребителей в затруднительное положение при заказе и выборе шарового крана. Таким образом, необходимо создание методики проведения испытаний для выявления классификации кранов по степени «усиления». Методика может базироваться на существующем федеральном ГОСТ [7], европейских [8, 9, 10] и отраслевых российских [11, 12, 13] стандартах. Авторы предлагают разработать дополнительный новый стандарт на проведение статических испытаний на прочность шаровых кранов, итогом которого станет классификационная таблица (ряды) по выделению в отдельную категорию «усиленных» шаровых кранов. Ряды должны быть составлены в зависимости от условного проходного сечения (номинального размера), которое не имеет единицы измерения и приблизительно равно диаметру трубопровода. Кроме того, категория «усиленный» шаровой кран подразделяется на под-

категории в зависимости от диапазона между тестовой нагрузкой P_{test} и максимально допустимой в ходе экспериментальных исследований $(P_{St})_{max}$. Другими словами, предлагается распределить подкатегории «усиленного» шарового крана между P_{test} и $(P_{St})_{max}$ следующим образом: подкатегория «У1» соответствует нагрузке $P_{test} + (0,8-1,0) \times [(P_{St})_{max} - P_{test}]$, подкатегория «У2» соответствует $P_{test} + (0,6-0,8) \times [(P_{St})_{max} - P_{test}]$, подкатегория «У3» соответствует $P_{test} + (0,4-0,6) \times [(P_{St})_{max} - P_{test}]$, подкатегория «У4» соответствует $P_{test} + (0,4-0,2) \times [(P_{St})_{max} - P_{test}]$, подкатегория «У5» соответствует $P_{test} + (0,0-0,2) \times [(P_{St})_{max} - P_{test}]$, причем в последнем случае надо понимать, что значение $0,0 \times [(P_{St})_{max} - P_{test}]$ означает не что иное, как отсутствие дополнительного усиления шарового крана и в этом случае производитель шарового крана не вправе заявлять об его «усиленных» возможностях. Также в новом стандарте необходимо дать базовые определения и учесть влияние внешних факторов на состояние трубопроводов, их соединений и арматуры. При внедрении нового стандарта, должны быть выданы рекомендации и сделаны поправки в другие отраслевые стандарты по нормам надежности трубопроводной арматуры.

Порядок и условия проведения исследований

Авторы статьи разработали алгоритм проведения статических испытаний шаровых кранов и отдельных участков трубопроводов, к которым присоединяется арматура. Создан экспериментальный стенд, на котором испытываются образцы изделий. Шаровой кран одного из производителей, отвечающий усредненным показателям проведения эксперимента и соответствующий минимально выдерживаемой статической нагрузке, авторы рассматривают как твердотельную неделимую единицу (ТНЕ). Отклонения от этой нагрузки в большую сторону для образцов других производителей используются как поправочные коэффициенты. Определяется среднее значение этих коэффициентов, которое и будет взято за единицу коэффициента разрушающего контроля. Кроме того, из справочных данных выбираются дополнительные коэффициенты, отвечающие за надежность изделия. По итогу проведения экспериментальных исследований обрабатываются статистические данные по испытаниям шаровых кранов, вводятся коэффициенты разрушающего контроля и, при необходимости, поправочные коэффициенты. Экспериментальные и справочные коэффициенты формируют пул данных, на основе которого можно перейти к расчету коэффициента сохранения эффективности $K_{эф}$.

Цель работы и постановка задач исследования

Цель проводимых испытаний – сформировать концептуальные методологические подходы разрушающего контроля при статических испытаниях шаровых кранов.

Задачами, решаемыми для достижения цели исследования, являются: определение терминологии для показателей надежности шаровых кранов; проведение анализа экспериментальных данных по результатам испытаний по разработанной авторами методике; определение наиболее значимых коэффициентов и поправок для стандартного, рекомендуемого в качестве базового, коэффициента сохранения эффективности $K_{эф}$.

Научная новизна проводимых исследований

На сегодняшний день не существует в области трубопроводного арматуростроения концептуальных основ определения коэффициента сохранения эффективности $K_{эф}$ на базе экспериментальных данных. Разработанная авторами методология может быть масштабирована вначале на шаровые краны и клапаны большего диаметра, а при удовлетворительном результате масштабирования рекомендована в качестве основной для формирования отдельного стандарта на трубопроводную арматуру по показателям надежности. В этом стандарте будут определены критерии «усиленных» шаровых кранов, сведенные в ряды, а также сформулированы экспериментальные коэффициенты, формирующие коэффициент сохранения эффективности $K_{эф}$, такие, как коэффициент разрушающего контроля $K_{рк}$ и другие.

Теоретическая часть.

Надежность объекта исследования

Согласно ГОСТ [14] основным критерием надежности считается коэффициент сохранения эффективности $K_{эф}$, который характеризует степень влияния отказов элемента объекта на эффективность его применения по назначению. В то же время стандарты [2, 14] определяют $K_{эф}$ как рекомендуемый, а для каждого конкретного случая он может дополняться или модифицироваться, что зависит от технологического оборудования и отрасли, в которой оно применяется.

Надежность объекта исследования связана, прежде всего, с безотказностью его работы. В свою очередь, безотказность шарового крана определяется понятием его «усиленных» возможностей. В известной тестовой методике разрушающего контроля по гидравлическим испытаниям [9], которой пользуются страны Европейского Союза, даются рекомендации по тестовой нагрузке шаровых кранов, применяется формула:

$$P_{test} = 1,5 \times P_{St} \quad (1)$$

где 1,5 – коэффициент превышения давления над допустимым давлением P_{St} при комнатной температуре. Формула (1) применяется для кранов, обозначенных PN. При отсутствии данных по PN вводятся поправки.

Для случая статических испытаний будем ориентироваться на формулу (1), но, поскольку одной из задач исследования является определение коэффициентов

разрушающего контроля и поправочных коэффициентов, то:

$$P_{test} = K_{ТНЕ} \times (P_{St})_{min} \quad (2)$$

где $K_{ТНЕ} = 1,5$ – коэффициент превышения давления над допустимым давлением при комнатной температуре для ТНЕ, а $(P_{St})_{min}$ – среднее значение минимальной выдерживаемой статической нагрузки шаровым краном одного из производителей (ТНЕ), образцы которых участвуют в эксперименте.

Экспериментальная часть

Авторами разработан стенд по исследованию влияния статических нагрузок на изгиб на прочность шаровых кранов (рис. 1 – общий вид; рис. 2 – схема испытаний крана; рис. 3 – алгоритм проведения эксперимента).



Рис. 1. Общий вид экспериментального стенда разрушающего контроля

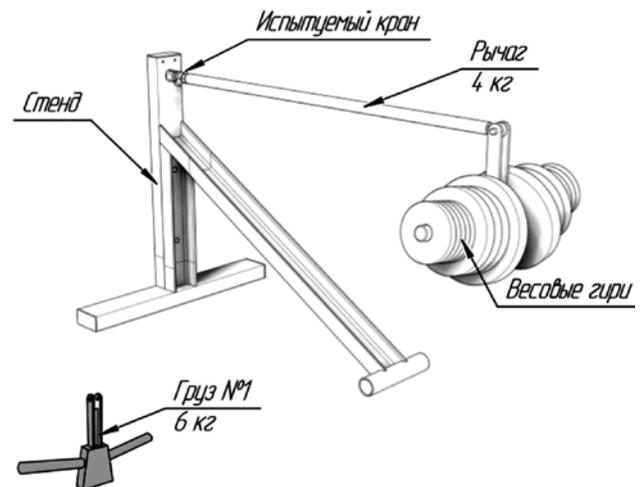


Рис. 2. Схема испытаний крана на экспериментальном стенде

Аналогично проводятся испытания трубопроводов на данном стенде.

Алгоритмы действий разрабатывались с учетом [12], а также частично отдельных статей и глав [13, 14].

Данные, полученные в ходе эксперимента, вносятся в табл. 1.



Рис. 3. Алгоритм проведения эксперимента

Табл. 1. Данные, полученные в ходе экспериментов

	Производитель, нагрузка, кг		
	1 (Китай, латунь с порошковыми добавками)	2 (Китай, латунь)	3 (Россия, латунь)
1	19,5	28,5	34,5
2	20,5	28,5	30,0
3	21,5	25,0	33,5
Среднее	20,5	27,33	32,67

Результаты, сведенные в таблицу 1, изобразим на сводной диаграмме, на которую также нанесем линию статической нагрузки.

Воспользовавшись формулой (2), получим, с учетом того, что $(P_{test})_{min} = 20,5$ кг:

$$P_{test} = K_{THE} \times (P_{test})_{min} = 1,5 \times 20,5 = 30,75 \text{ кг.} \quad (3)$$

На рис. 4 проведем линию статической нагрузки $P_{test} = 30,75$ кг, согласно которой получим, что шаровые краны производителя 3 (Россия, латунь), можно считать «усиленными» согласно результатам данных испытаний.

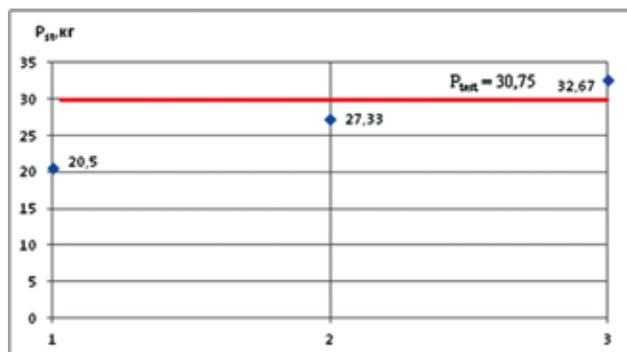


Рис. 4. Сводная диаграмма для определения нагрузок «усиленных» шаровых кранов

Визуализация результатов проведенных испытаний

В итоге проведения экспериментальных работ на испытательном стенде шаровые краны различных производителей разрушались при определенной нагрузке, результаты испытаний для визуализации показаны на рис. 5 и 6.



Рис. 5. Результаты проведенных испытаний на надежность 1 (Китай)



Рис. 6. Результаты проведенных испытаний на надежность 3 (Россия)

Следует отметить, что разрыв шаровых кранов происходил всегда практически в одном и том же сечении.

Коэффициент разрушающего контроля

Определим коэффициент разрушающего контроля, который будет использован в качестве основного коэффициента надежности:

$$K_{pk} = (P_{St})_i / [K_{TNE} \times (P_{St})_{\min}], \quad (4)$$

где K_{pk} – коэффициент разрушающего контроля, а $(P_{St})_i$ – среднее значение выдерживаемой статической нагрузки шаровым краном одного из производителей (i -го производителя), образцы которых участвуют в эксперименте.

Поскольку разрабатываемая методика статических испытаний на изгиб – нестандартная, на формулу гидравлических испытаний на прочность можно только ориентироваться. С учетом рекомендаций по обработке экспериментальных данных:

$$P_{test} = (P_{testA} + P_{testB})/2, \quad (5)$$

где P_{testA} – среднее значение тестовой нагрузки на изгиб шарового крана, P_{testB} – среднее значение тестовой нагрузки на изгиб трубопровода.

Таким образом, в первом приближении «усиленный» шаровой кран малого диаметра будем считать таковым, если он соответствует условиям проведения эксперимента:

$$P_{test} > K_{TNE} \times (P_{test})_{\min}. \quad (6)$$

Определение экспериментальных коэффициентов

Согласно формуле (4) авторы получили экспериментальные коэффициенты и свели их в табл. 2.

Табл. 2. Данные по коэффициентам, полученные в ходе экспериментов

K_{pk}		
1 (Китай, латунь с порошковыми добавками)	2 (Китай, латунь)	3 (Россия, латунь)
0,67	0,89	1,06

По данным испытаний производитель (1) имеет наименьший коэффициент надежности, который авторы определили как коэффициент разрушающего контроля.

Коэффициенты надежности по справочным данным

Согласно [2] необходимо ввести поправочные коэффициенты на готовую продукцию в зависимости от ее характеристик:

1. Шаровый кран принимается как невосстанавливаемый объект систем теплоснабжения, поэтому принимаем коэффициент отказа $K_0 = 0,96$ для всех шаровых кранов различных производителей.

2. Коэффициент сохранения производительности зависит от типа крана. Шаровой кран для систем теплоснабжения использует воду технического назначения, поэтому $K_{сп} = 0,97$.

3. Качество изготовления и материал конструкции оцениваем коэффициентом качества продукции $K_{кп}$. Этот коэффициент предварительно принимаем $K_{кп} = 0,99$ для производителей (2) и (3) и $K_{кп} = 0,97$ для производителя (1).

Коэффициент сохранения эффективности по разработанной методологии

В итоге, воспользовавшись разработанной авторами формулой, получим коэффициент сохранения эффективности:

$$K_{эф} = K_{pk} \times K_0 \times K_{сп} \times K_{кп}, \quad (7)$$

Получим данные по коэффициенту сохранения эффективности, которые сведем в табл. 3.

Табл. 3. Результаты расчета коэффициента сохранения эффективности

$K_{эф}$		
1 (Китай, латунь с порошковыми добавками)	2 (Китай, латунь)	3 (Россия, латунь)
0,61	0,82	0,98

Согласно табл. 3 все коэффициенты оказались меньше 1, следовательно, авторы правильно выбрали начальные условия для проведения эксперимента.

Рекомендации по дальнейшему развитию методологической базы

Авторы статьи подчеркивают, что разработанная методологическая база требует проведения дополнительных испытаний и апробации в условиях эксперимента. Таким образом, минимальная тестовая нагрузка на изгиб $(P_{test})_{\min}$ является определяющей величиной, поэтому требуется значительная выборка в ходе проведения экспериментальных работ. Кроме того, авторы рекомендуют в этом случае шаровой кран с наименьшими показателями по выдерживаемой нагрузке на изгиб из представленных экспериментальных образцов одного диаметра, согласно разрабатываемой методологии, определять как ТНЕ.

Выводы

1. В результате проведения экспериментальных исследований авторы оценили «усиленные» возможности шаровых кранов различных производителей при сравнительном анализе проведенных статических испытаний арматуры на изгиб.

2. Рекомендуется рассматривать ТНЕ без отрыва от совместной работы на трубопровод из определенного материала. Трубопровод также рекомендуется испытать статической нагрузкой.

3. В результате проведения экспериментальных исследований определена ТНЕ, этой единицей оказался шаровой кран производителя (1). Учитывая ТНЕ, найдена минимальная тестовая нагрузка $(P_{test})_{\min} = 20,5$ кг.

4. Экспериментально определены коэффициенты разрушающего контроля для исследуемых образцов шаровых кранов.

5. Определены коэффициенты сохранения эффективности, которые согласно [2] являются базовыми

коэффициентами показателя безотказности – одной из основных характеристик надежности технологического оборудования, машин и изделий.

Библиографический список

1. ГОСТ 24856-2014. Арматура трубопроводная. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2015. 78 с.
2. ГОСТ 27.003-2016. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. М.: Стандартинформ, 2018. 23 с.
3. Технический регламент Таможенного Союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» (ТР ТС 032/2013) от 18 ноября 2013 г. 81 с.
4. Технический регламент Таможенного Союза «О безопасности машин и оборудования» (ТР ТС 010/2011) от 18 октября 2011 г. 66 с.
5. Ball valves types, construction, applications and advantages. URL: <http://www.pipingguide.net> (дата обращения: 01.04.2020).
6. Шаровые краны. URL: <http://www.chsgs.ru> (дата обращения: 01.04.2020).
7. ГОСТ 16504-81. Испытания и контроль качества продукции. М.: Стандартинформ, 2011. 27 с.
8. API Standart 598. Valve Inspection and testing, 2004. 20 p.
9. BS EN 12266-1: 2012. Industrial valves – Testing of metallic valves. Part 1: Pressure tests, test procedures and acceptance criteria – Mandatory requirements. 22 p.
10. BS EN 12266-2: 2002. Industrial valves – Testing of metallic valves. Part 2: Tests, test procedure and acceptance criteria – Supplementary requirements. 16 p.
11. СТ ЦКБА 008-2014. Арматура трубопроводная. Расчет и оценка надежности и безопасности на этапе проектирования. СПб.: Издательство ЗАО «НПФ «ЦКБА». 84 с.

12. СТ ЦКБА 092-2014. Арматура для магистральных трубопроводов. Нормативные нагрузки от трубопровода. Методики расчета и численные значения. СПб.: Издательство ЗАО «НПФ «ЦКБА». 21 с.

13. СТ ЦКБА 008-2014. Арматура трубопроводная. Периодические испытания. Общие требования. СПб.: Издательство ЗАО «НПФ «ЦКБА». 26 с.

14. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. 28 с.

Сведения об авторах

Осинцев Константин Владимирович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет», Российская Федерация, 454080, Челябинск, проспект Ленина, 76, e-mail: osintsev2008@yandex.ru

Кузнецов Никита Александрович – инженер ООО «ЧелябинскСпецГражданСтрой», Российская Федерация, 454010, Челябинск, Енисейская улица, дом 47, e-mail: kna@chsgs.ru

Вклад авторов в статью

Осинцев К.В. Разработал методологическое обоснование проведения экспериментов на стендах разрушающего контроля, предложил применять новые коэффициенты надежности и ряды «усиленных» шаровых кранов.

Кузнецов Н.А. Проводил исследования на стенде разрушающего контроля, занимался обработкой результатов экспериментов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.