

УДК 621.646.1
Код ГРНТИ 55.39.45

doi 10.54708/19926502_2025_29310913

Анализ методов повышения надежности трубопроводной арматуры специального назначения

Г.С. Яковлев*, Ю.Г. Хусаинов, Р.А. Селищев

Уфимский университет науки и технологии, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия

Аннотация. Трубопроводная арматура представлена на рынке широкой номенклатурой и используется в различных отраслях промышленности. Данная статья освещает важность обеспечения безопасной эксплуатации трубопроводной системы и надежности ее элементов. В статье проведен анализ основных видов и типов трубопроводной арматуры, материалов, используемых для их производства, дефектов и наиболее уязвимых мест, появляющихся в процессе эксплуатации. Особое внимание уделено методам защиты от факторов, влияющих на надежность и ресурс, таким как коррозия и износ. Рассмотрен опыт российских и зарубежных ученых в области повышения надежности деталей арматуры путем нанесения защитных покрытий или химико-термической обработки.

Ключевые слова: коррозионная стойкость, износостойкость, надежность, ионно-плазменное азотирование (ИПА), трубопроводная арматура.

*yakovlev.g.s@yandex.ru

Введение

Трубопроводная арматура играет важную роль в системах управления транспортировки жидкостей и газов и применяется в различных отраслях промышленности:

- нефтегазовая (транспортировка нефти, газа, конденсата);
- энергетическая (тепловые и атомные электростанции, котельные установки);
- химическая (производство и переработка химических веществ);
- судостроение и морская техника (системы охлаждения двигателей, балластные системы) и др.

В данной работе проведен анализ основных видов и типов трубопроводной арматуры, материалов, используемых для их производства, дефектов и наиболее уязвимых мест, появляющихся в процессе эксплуатации, а также методов защиты от коррозии и износа. Номенклатура арматуры варьируется от простых запорных клапанов до сложных регуляторов давления. В зависимости от климатического исполнения и условий эксплуатации (см. Табл. 1) арматуру изготавливают из различных марок материалов и наносят различные защитные покрытия.

Таблица 1. Основные климатические исполнения трубопроводной арматуры.



№ п/п	Обозначение	Применение	Расшифровка
1	У1, У2, У3	изделия для эксплуатации в районах с умеренным климатом	У1 – на открытом воздухе
			У2 – под навесом или в помещениях со свободным доступом воздуха
			У3 – в закрытых помещениях с естественной вентиляцией

Продолжение Табл. 1



2	Т1, Т2, Т3	изделия для эксплуатации в районах как с сухим, так и с влажным тропическим климатом	Т1 – на открытом воздухе
			Т2 – под навесом или в помещениях со свободным доступом воздуха
			Т3 – в закрытых помещениях с естественной вентиляцией
3	УХЛ1, УХЛ4	изделия для эксплуатации в районах с умеренным и холодным климатом	УХЛ1 – на открытом воздухе
			УХЛ4 – в помещении с искусственно регулируемые климатическими условиями.
4	УТ1, УТ5	изделия для эксплуатации как в районах с умеренным климатом, так и в районах с сухим или с влажным тропическим климатом	УТ1 – на открытом воздухе
			УТ5 – в помещениях с повышенной влажностью

Трубопроводную арматуру разделяют на следующие виды и типы (см. Табл. 2).

Таблица 2. Виды и типы трубопроводной арматуры [1, 3].

Тип	Функция	Вид	Материал
Запорная арматура 	Полное перекрытие потока рабочей среды	Кран	Ст 20, 09Г2С, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т EN1.4021 EN1.4571
		Задвижка	Ст 20, 09Г2С, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т EN1.4021 EN1.4571
		Дисковый затвор	Ст 20Л, 20ГМЛ, 12Х18Н9ТЛ, 12Х18Н12М3ТЛ EN1.4021 EN1.4571
Обратная арматура 	Предотвращение обратного потока рабочей среды	Подъемные обратные клапаны	Ст 20Л, 20ХНЗЛ, 12Х18Н9ТЛ, 12Х18Н12М3ТЛ EN1.4021 EN1.4571
		Двухстворчатые обратные клапаны	Ст 20Л, 20ХНЗЛ, 12Х18Н9ТЛ, 12Х18Н12М3ТЛ EN1.4021 EN1.4571

Продолжение Табл. 2

<p>Предохранительная арматура</p> 	Защита оборудования или трубопровода от избыточного давления путем сброса давления	Пружинные	Ст 20Л, 20Х5МЛ, 12Х18Н9Т, 12Х18Н12М2Т EN1.4401 EN1.4541
		Мембранные	Ст 20Л, 20Х5МЛ, 12Х18Н9Т, 12Х18Н12М2Т EN1.4401 EN1.4541
<p>Регулирующая арматура</p> 	Регулирование изменение объема потока рабочей среды	Редукционный клапан	Ст 20Л, 12Х18Н9ТЛ, 12Х18Н12М3ТЛ, 20ГЛ EN1.4006
		Смесительный клапан	Ст 20Л, 12Х18Н9ТЛ, 12Х18Н12М3ТЛ, 20ГЛ EN1.4006
		Отсечной клапан	Ст 20Л, 12Х18Н9ТЛ, 12Х18Н12М3ТЛ, 20ГЛ EN1.4006

Выбор материала для производства трубопроводной арматуры зависит от:

1. Заданных условий эксплуатации:

- рабочего давления;
- рабочей температуры стенки (минимальной отрицательной и максимальной расчетной);
- химического состава и свойств рабочей среды (коррозионности; взрывоопасности; примесей, приводящих к эрозионному износу);
- вероятности кавитационного явления (давления, температуры и скорости потока).

2. Свойств материалов для требуемых условий эксплуатации и испытаний:

- пластичности, прочности и плотности;
- химической стойкости к рабочей среде;
- взаимодействия соприкасаемых деталей из материалов с разными электрохимическими потенциалами в коррозионно-активных средах. [2, 3]

Отказ запорной арматуры – выход ее из строя в связи с поломкой одного или целой группы элементов. Отказ может быть частичный, при котором возможна дальнейшая эксплуатация, и полный, в случае которого требуется срочное выполнение ремонтных работ.

Полный отказ имеет следующие последствия:

В запорной арматуре – отсутствие возможности поднять или опустить запорный орган для ее открытия или закрытия. В связи с этим становится невозможной регулировка потока рабочей среды.

В предохранительной арматуре – отказ при повышении или понижении давления до предельных значений. В результате появляется опасность поломки основного оборудования.

В регулирующей арматуре – невозможность выполнения регулировки, соответственно, полная потеря контроля за характеристиками расхода.

Последствия частичного отказа:

В предохранительной и запорной арматуре – частичный пропуск рабочей среды через запорное устройство, который позволяет эксплуатировать оборудование, но приводит к снижению экономичности и качества функционирования.

В регулирующей арматуре – неисправности, приводящие к изменению параметров регулирования. Например, потеря плавности хода и возникновение люфта в местах сочленения становятся причиной снижения экономичности работы.

Трубопроводная арматура – важный элемент трубопроводных системы, отказ которого может обернуться экологическим загрязнением, травмами обслуживающего персонала, выходом из строя основного оборудования, временными остановками производств и экономическими потерями.

Отказы арматуры могут возникать вследствие воздействия на трубопроводную систему различных факторов, которые могут существенно повлиять на ее функциональность и надежность.

Основные проблемы при эксплуатации и факторы их вызывающие:

- износ уплотнительных элементов. Со временем уплотнения теряют свою эластичность и герметичность, что приводит к утечкам;
- коррозионное разрушение. Воздействие агрессивных сред вызывает образование ржавчины и уменьшение толщины стенок арматуры;
- механические повреждения. Удары, вибрации и перегрузки могут привести к трещинам и деформациям;
- заклинивание механизмов. Отложение солей, загрязнений и продуктов коррозии может затруднить работу арматуры;
- неправильная установка и обслуживание. Ошибки при монтаже и недостаточное техническое обслуживание увеличивают риск возникновения дефектов.

Для исключения отказов применяются следующие методы защиты:

- для борьбы с коррозией используется специализированная химическая, химико-термическая обработка и периодичная замена поврежденных элементов. Раннее выявление коррозии позволит избежать ее распространения;
- простой и надежный способ устранения износа – это периодическая замена деталей арматуры, которые вышли из строя, а также напыление различных твердых сплавов на трущиеся поверхности;
- регулярный мониторинг состояния арматуры и ее корректная настройка помогут избежать неполадок. Недостаточное внимание к плановым проверкам приводит к ухудшению состояния системы и выходу ее из строя. [4, 5]

В данной статье будут рассмотрены разработанные методы и способы защиты трубопроводной арматуры, повышающие ее надежность, на основе которых будут предложены новые подходы для решения задачи повышения надежности трубопроводной арматуры.

Методы повышения надежности

Рассмотрим способы и методы защиты от коррозии и износа трубопроводной арматуры, разработанные в разных странах, ключевой задачей которых является обеспечение увеличения долговечности и повышение надежности функционирования трубопроводных систем.

Антикоррозионные покрытия

(гальванические, лакокрасочные материалы и др.)

Специалистами ООО «НИИ Транснефть» разработаны различные технологии нанесения защитных покрытий на трущиеся детали (газотермическое Al-Cr-Ni (рис.1), гальваническое цинковое (рис.2), медное лазерно-плазменное (рис.3)) и лакокрасочного антикоррозионного покрытия (АКП) на внутреннюю поверхность трубопроводной арматуры для повышения надежности. По итогам лабораторных исследований установлено, что при медном лазерно-плазменном покрытии получена большая разнотолщинность покрытия на образцах (до 90 мкм) и выявлены очаги коррозии. На гальваническом и газотермическом покрытиях выявлены следы коррозии, нарушающие декоративные свойства покрытий, очагов коррозии основного материала не выявлено. В камере соляного тумана наилучшую стойкость к коррозии показало гальваническое цинковое покрытие. Испытания АКП подтвердило коррозионную стойкость и стабильность покрытия. [8]

Плюсы:

- дешевизна процесса;
- возможность нанесение на детали сложной формы;
- увеличение срока службы детали.

Минусы:

- малая стойкость к механическим воздействиям;
- низкая экологичность.



(а)



(б)

Рисунок 1. Образец с газотермическим покрытием (Al-Cr-Ni):

(а) исходное состояние, (б) после выдержки в камере влажности в течении 650 ч.



(а)



(б)

Рисунок 2. Образец с цинковым гальваническим покрытием:

(а) исходное состояние, (б) после выдержки в камере влажности в течении 650 ч.

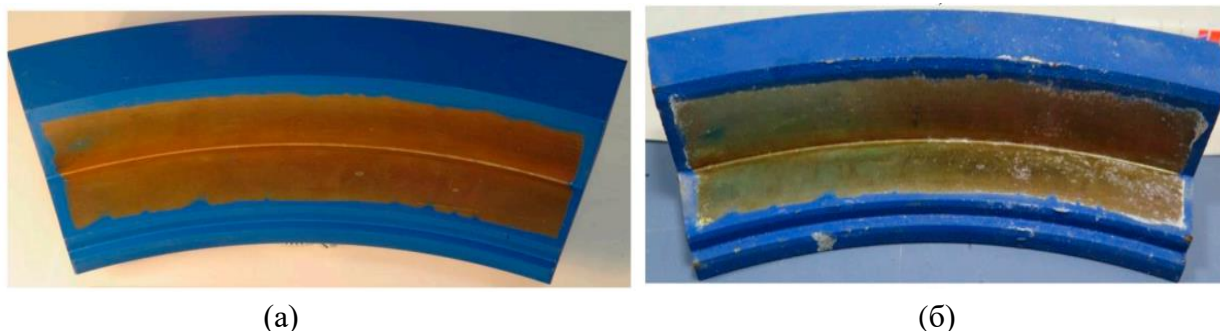


Рисунок 3. Образец с лазерно-плазменным медным покрытием:
(а) исходное состояние, (б) после выдержки в камере влажности в течении 650 ч.

Катодная защита (электрохимические процессы)

Существуют схемы протекторной электрохимической защиты трубопроводов и трубопроводной арматуры, разработанные Уральским отделением РАН. Данный метод защиты не требует внешнего источника тока и основан на работе двух металлов: из-за разности потенциалов между ними возникает электрический ток и частицы ионов металла (анод) переходят к катодным участкам. Анод можно разместить как снаружи, так и внутри трубопровода (Рис. 4, 5). Электрод (анод), в результате окислительно-восстановительной реакции, при распаде образует оксид железа Fe_3O_4 , который покрывает тонкой пленкой стенки и детали трубопровода и арматуры, закупоривает существующие поры, дефекты, микротрещины и препятствует контакту с агрессивной средой (Рис. 6) [7].

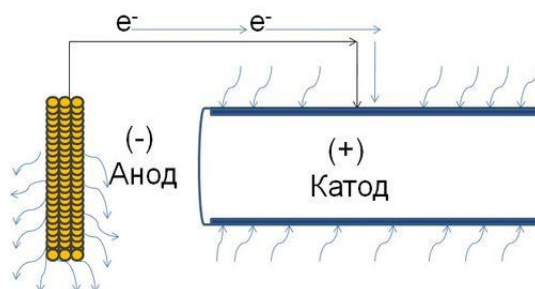


Рисунок 4. Схема наружной протекторной электрохимической защиты.

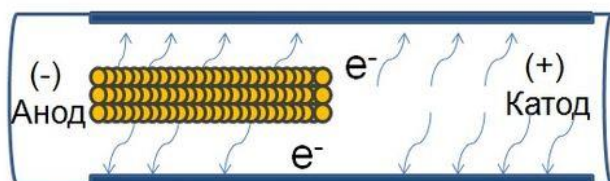


Рисунок 5. Схемы внутренней протекторной электрохимической защиты.

Плюсы:

- увеличение срока службы детали;
- экологичность, не наносит вред окружающей среде.

Минусы:

- малая стойкость к механическим воздействиям;
- ограничение применения технологии из-за конструкции системы (сложность применения в замкнутых системах);
- ограничения применения из-за материалов системы (электрокоррозия незащищенных «соседних» материалов).



Рисунок 6. Визуальный осмотр образцов с электрохимической защитой и без нее.

Защитные покрытия (осаждение покрытий, химико-термическая обработка)

Российскими учеными разработаны наноструктурированные многослойные покрытия, которые повышают коррозионностойкость и износостойкость по сравнению с нержавеющей сталью. Проведены исследования на коррозионную и износостойкость при температуре 400 °С образцов с многокомпонентными покрытиями Ti-Al-N/Ni-Cr-B-Si-Fe, которые показали снижение скорости коррозии и повышение стойкости к износу.

Серьезная проблема – разрушение деталей арматуры, подвергающихся повторяющимся нагревам и охлаждениям при эксплуатации. Учеными разработано наноконпозиционное покрытие на основе карбонитридов титана и молибдена, работающее в температурном диапазоне от 25 °С до 700 °С. Данное покрытие увеличивает стойкость изделия к абразивному износу, воздействию климатических и термоциклических факторов. [6]

В патентах евразийского патентного ведомства № 201300565 «Многослойное защитное покрытие» и № 201300573 «Многослойное защитное покрытие» (Рис. 4) описываются многослойные защитные покрытия, содержащие слой тугоплавких соединений титана, легированный ионами хрома, или циркония, или молибдена. В результате покрытие имеет высокие показатели износо- и коррозионной стойкости, а также стабильно при термоциклическом воздействии (Рис. 7).

На некоторых российских предприятиях, выпускающих шиберные задвижки, были проведены опытные работы по ионной ХТО трущихся деталей из материалов 38Х2МЮА и 20Х13 для замены дорогостоящей технологии наплавки. Результаты работ показали, что детали прошедшие ионную ХТО имеют низкий коэффициент трения и высокую твердость, что дало уменьшение усилия открытия-закрытия, снижение себестоимости, повышение надежности и качества продукции.

Также проводились работы по увеличению эрозионной и кавитационной стойкости деталей трубопроводов из сталей 20, 09Г2С и 13ХФА путем упрочнения поверхностей деталей методами ионного азотирования и карбонитрирования (Рис. 6). Исследования показали, что кавитационный и эрозионный износ в разы ниже на деталях, прошедших ионную ХТО. Установлена зависимость коррозионной стойкости от режимов обработки ионного азотирования: при низкотемпературном ионном ХТО (до 450 °С) коррозионная стойкость сталей повышается, при высокотемпературном – снижается. Важное преимущество ионного азотирования по сравнению с газовым азотированием – возможность обработки высоколегированных и нержавеющей сталей без предварительной подготовки поверхности (депассивации) [9].

В статье Академии румынских ученых утверждается, что твердость является важным механическим свойством для повышения стойкости к кавитационной эрозии. Для проверки данного утверждения проводятся следующие работы: ионное азотирование образцов аустенитной нержавеющей стали X5CrNi18-10 на разных режимах мощности (120 Вт, 180 Вт

и 240 Вт). В результате исследований установлено значительное увеличение стойкости к кавитационной эрозии после всех режимов ионного азотирования по сравнению с закаленной сталью [10].

Ученые из Аргентины сравнили коррозионную стойкость стали AISI 316L при кратковременном ионном азотировании (30 мин) и длительном (в течении 6 часов). Установлено, что образцы, прошедшие обработку в течении 30 минут, имеет гораздо лучшую стойкость к коррозии, чем образцы после 6-ти часовой обработки. Проведен ряд работ по выявлению коррозионной стойкости стали AISI 316L при низкотемпературном и высокотемпературном ионном азотировании. Результаты показали, что стойкость стали к коррозии снижается по мере увеличения температуры азотирования [11].

В статье ученых из Бразилии рассматривается проблема износа нержавеющей сталей UNS S31254, S32205, S41426, S44400, применяемых в деталях, работающих в агрессивных средах. Для повышения надежности и увеличения износостойкости образцы из перечисленных сталей были подвергнуты ионному азотированию при различных режимах. Образцы подверглись имитации работы в тяжелых условиях работы (морские условия). На образцах, обработанных при низких температурах, до 400 °C, получен твердый поверхностный слой, который не ухудшил коррозионную стойкость нержавеющей сталей, при этом повысил износостойкость. При повышении температуры азотирования коррозионная стойкость снижалась [12].

Турецкими учеными проведены эксперименты с увеличением коррозионной стойкости и износостойкости низколегированной стали AISI 4140. После проведения ионного азотирования стали и последующего нанесения PVD-покрытий CrN, TiN, AlTiN износостойкость и коррозионная стойкость увеличилась. Наилучшим образом себя показала ионноазотированная подложка и PVD-покрытие TiN (Рис. 8) [13].

Технологам в промышленности приходится сталкиваться с противоречием при выборе между толщиной азотирования и коррозионной стойкостью. В связи с этим китайские ученые глубоко изучили вопрос азотирования стали AISI 316L, при котором повышается поверхностная твердость, но ухудшается коррозионная стойкость, для того, чтобы понять истинные причины возникновения дефектов. Они обнаружили два вида микротрещин после азотирования. Первые – клиновидные микротрещины в оксидном слое, возникающие из-за микродефектов на поверхности перед ХТО. Эти дефекты служат каналом диффузии и под действием растягивающих напряжений развиваются. Второй тип – сетчатые микротрещины под оксидным слоем, их появление может быть связано с диффузией элементов во время азотирования при высоких температурах в течение длительного времени из-за разности коэффициентов термического расширения азотированного слоя и сердцевины. По результатам исследования даны рекомендации по отработке деталей: проводить полировку деталей перед азотированием, правильно подбирать режим азотирования во избежание сетчатых микротрещин, проводить полировку после азотирования для удаления поверхностных микродефектов [14].

Для увеличения износостойкости стали 20X13 опробовано ионно-плазменное покрытие на основе карбида хрома (Cr-CrC). Покрытие наносилось с использованием установки вакуумного напыления. Выявлено, что покрытие имеет зернистую структуру с характерным размером зерна (50–100 нм), стойкость материала к износу возросла в несколько раз [15].

Плюсы:

- одновременная защита от нескольких воздействий (износ и коррозия);
- улучшение функциональных свойств (повышение поверхностной твердости);
- широкая совместимость материалов.

Минусы:

- требуется тщательная подготовка поверхности;
- невозможно применить на деталях сложной формы (неравномерный слой).

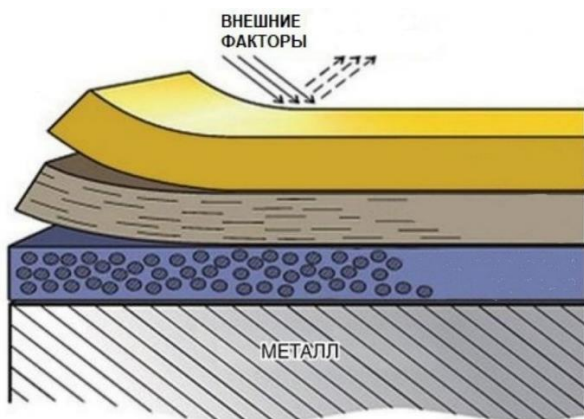


Рисунок 7. Схема многослойных покрытий.

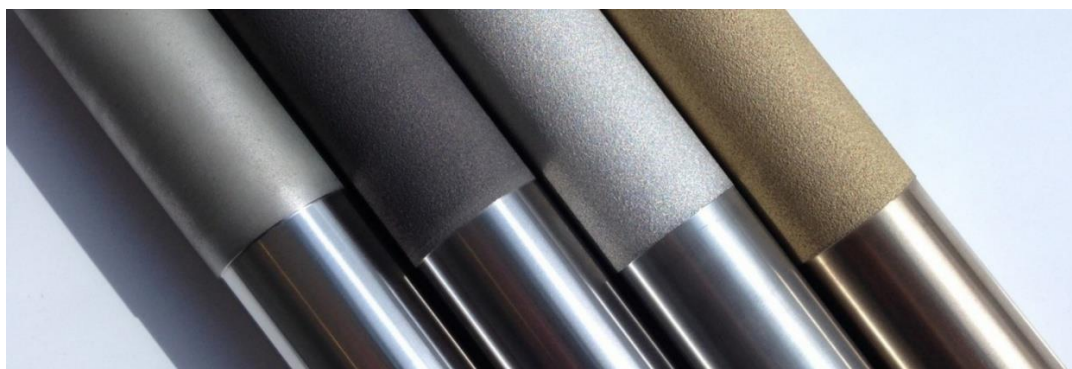


Рисунок 8. Внешний вид PVD-покрытий.



Рисунок 9. Детали после ионно-плазменного азотирования.

Заключение

Трубопроводная арматура играет важную роль в обеспечении безопасности и эффективности работы инженерных систем в различных отраслях промышленности. Правильный выбор типов арматуры, материалов и методов защиты позволяет минимизировать риски воз-

никновения аварийных ситуаций, сократить количество отказов и продлить срок службы трубопроводного оборудования. Таким образом, трубопроводная арматура, являясь незаметной частью трубопроводной системы, значительно влияет на безопасность и стабильную работу инженерной инфраструктуры, становясь важным элементом в мире технологий и экологии.

Специалисты из разных стран мира проводят исследования для подбора состава газа и режимов химико-термической обработки, по созданию новых многокомпонентных покрытий, которые позволят увеличить поверхностную твердость и повысить коррозионную стойкость деталей трубопроводной арматуры. На сегодняшний день на высокотехнологичных предприятиях машиностроения освоены технологии химико-термической обработки и нанесения многокомпонентных покрытий на детали, что обеспечивает поверхностный слой, устойчивый к износу и коррозии. Многолетний успешный опыт эксплуатации таких деталей раскрывает потенциал для расширения сфер применения процессов нанесения покрытий.

Проведенный в статье литературный анализ показал, что одним из наиболее перспективных методов обработки деталей арматуры является ИПА, которое позволяет повысить ресурс и надежность изделия в целом. Несмотря на высокий потенциал и перспективы метода ИПА, на сегодняшний день остаются актуальными задачи разработки оптимальных режимов процесса упрочнения с целью получения комплекса физико-механических и эксплуатационных свойств материала изделия, что требует проведения дополнительных исследований.

Литература:

1. ГОСТ 33260-2015 Металлы, применяемые в арматуростроении. Основные требования к выбору материалов. М.: Стандартинформ, 2015. 68 с. [GOST 33260-2015. Pipeline valves. Metals used in pipeline valves production. Basic requirements for choice of materials. Moscow: Standartinform, 2015. 68 p. (in Russian)].
2. ГОСТ 24856-2014 Арматура трубопроводная. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2015, 78 с. [GOST 24856-2014. Pipeline valves. Terms and definitions. Moscow: Standartinform, 2015. 78 p. (in Russian)].
3. ISO 14313:2007 Petroleum and natural gas industries. Pipeline transportation systems. Pipeline valves. 2nd ed. ISO, 2007.
4. Тарасьев Ю. И., Дунаевский С. Н. Вопросы надежности и безопасности трубопроводной арматуры // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2008. № 9. С. 64–69. [Tarasiev Yu. I., Dunaevsky S. N. Issues of reliability and safety of pipeline valves // Teritoriya "NEFTEGAZ". 2008. No. 9. P. 64–69 (in Russian)].
5. Барышников В.В., Терехов Е.А., Серегин А.А. Кавитация и кавитационный износ регулирующей арматуры // Молодой ученый. 2023. № 37(484). С. 14–15. [Baryshnikov V. V., Terekhov E. A., Seregin A. A. Cavitation and cavitation wear of control valves // Molodoi Uchenyi. 2023. No. 37(484). P. 64–69].
6. Tatarkanov A. A., Alexandrov I. A., Mikhailov M. S., Muranov A. N. Algorithmic approach to the assessment automation of the pipeline shut-off valves tightness // SSRG International Journal of Engineering Trends and Technology. 2021. Vol. 69(12). P. 147–162.
7. Блябляс А. Н. Совершенствование методов и технических средств защиты промышленных трубопроводов от внутренней коррозии [электронный ресурс]. [Blyablyas. A. N. Improving methods and technical means for protecting industrial pipelines from internal corrosion [electronic resource]]. URL: <https://сферанефтьгаз.рф/uran-2016-2>.
8. Казанцева М. Н., Флегентов И. А., Петелин А. Н. Пути повышения надежности запорной арматуры для магистральных трубопроводов (на примере задвижек шиберных) // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 14. № 4. С.75–81. [Kazantsev M. N., Flegentov I. A., Petelin A. N. Ways to improve reliability of stop valves for main pipelines through the example of slide gate valves // Petroleum Engineering. 2016. Vol. 14. No. 4. P. 75–81].
9. Оборин А. В., Богданов В. В. Прогрессивная технология упрочнения ответственных изделий нефтегазовой отрасли. Краткая история. Настоящий момент. Перспективы // Экспозиция Нефть Газ. 2018. № 7(67). С. 48–50. [Oborin A. V., Bogdanov V. V. Advanced technology for

hardening critical components of oil and gas industry. Brief history. Present day. Prospects // Ekspozitsiya Neft' Gaz. 2018. No. 7(67). P. 48–50 (in Russian)].

10. Bordeasu I., Salcianu C. L., Popoviciu M. O., Mitelea I. cavitation erosion resistance of laser beam nitride layers of X5CrNi18-10 stainless steel. // Revista de Chimie (Bucharest). 2019. Vol. 70(2). P. 708–713.

11. Nosei L., Farina S., Avalos L., Nachez L., Gomez B.J., Feugeas J. Corrosion behavior of ion nitrided AISI 316L stainless steel // ScienceDirect. 2008. Vol. 516. P. 1044–1050.

12. Luiz L. A., Schibicheski Kurelo B. C., Souza G. B., Andrade J., Bruno Marino C. E. Effect of nitrogen plasma immersion ion implantation on the corrosion protection mechanisms of different stainless steels // Materials Today Communications. 2021. Vol. 28. P. 1–19.

13. Alkan S., Gok M. S. Influence of plasma nitriding pre-treatment on the corrosion and tribocorrosion behaviours of PVD CrN, TiN and AlTiN coated AISI 4140 steel in seawater // Lubrication Science. 2022. Vol. 34(2). P. 67–83.

14. Guandong Luo, Zhi Zheng, Likui Ning, Zheng Tan, Jian Tong, Enze Liu. Failure analysis of AISI 316L ball valves by salt bath nitriding // Engineering Failure Analysis. 2020. Vol. 111. P. 1–9.

15. Kachalin G. V., Mednikov A. F., Tkhabisimov A. B., Seleznev L. I. Experimental research results of solid particle erosion resistance of blade steel with protective coating // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 891. Art. 012259.

Об авторах:

ХУСАИНОВ Юлдаш Гамирович, д.т.н., директор ИТМ, ФГБОУ ВО «УУНит», uldash990@mail.ru.

ЯКОВЛЕВ Георгий Сергеевич, аспирант, ИТМ, ФГБОУ ВО «УУНит», yakovlev.g.s@yandex.ru.

СЕЛИЩЕВ Роман Алексеевич, магистрант ИТМ, ФГБОУ ВО «УУНит», selishchev.roma@mail.ru.

Metadata:

Title: Analysis of methods for increasing the reliability of special-purpose pipeline fittings.

Author 1: Georgy Sergeevich Yakovlev, Postgraduate Student, Institute of Technology and Materials, Ufa University of Science and Technology, yakovlev.g.s@yandex.ru. ORCID 0009-0006-3027-5648.

Author 2: Yuldash Gamirovich Khusainov, Doctor of Engineering Sciences, Director of the Institute of Technology and Materials, Ufa University of Science and Technology, uldash990@mail.ru, ORCID 0000-0002-0423-8257.

Author 3: Roman Alekseevich Selishchev, Master's Student, Institute of Technology and Materials, Ufa University of Science and Technology, selishchev.roma@mail.ru.

Abstract: Pipeline fittings are presented on the market in a wide range and are used in various industries. This article highlights the importance of ensuring the safe operation of the pipeline system and the reliability of its elements. The article analyzes the main types and kinds of pipeline fittings, materials used for their production, defects and the most vulnerable places that appear during operation. Particular attention is paid to methods of protection against factors affecting reliability and service life, such as corrosion and wear. The experience of Russian and foreign scientists in the field of increasing the reliability of fittings by applying protective coatings or chemical-thermal treatment is considered.

Keywords: corrosion resistance, wear resistance, reliability, ion-plasma nitriding (IPN), pipeline fittings.