

УДК 620.198  
DOI: 10.14489/td.2023.04.pp.038-047

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ШАРОВОЙ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ ТРУБОПРОВОДОВ



**К. В. Гоголинский,**  
д-р техн. наук,  
Санкт-Петербургский  
горный университет,  
Санкт-Петербург, Россия.  
E-mail: nanoscan@yandex.ru



**В. В. Алехнович,**  
Санкт-Петербургский  
горный университет,  
Санкт-Петербург, Россия.  
E-mail: varvara.alekh  
novich@gmail.com



**А. Е. Ивкин,**  
канд. техн. наук,  
Санкт-Петербургский  
горный университет,  
Санкт-Петербург, Россия.  
E-mail: 6406707@gmail.com



**А. С. Уманский,**  
канд. техн. наук,  
Санкт-Петербургский  
горный университет,  
Санкт-Петербург, Россия.  
E-mail: refresherm@gmail.com



**П. В. Соломенчук,**  
канд. техн. наук,  
ООО «КОНСТАНТА»,  
Санкт-Петербург, Россия.  
E-mail: pavel257@mail.ru



Статья поступила в редакцию 05.12.2022

Received 05.12.2022

## Введение

В России транспортировка газа от места добычи до потребителей осуществляется по магистральным газопроводам и распределительным сетям, непременным атрибутом которых является шаровая запорная арматура [1 – 5]. Изделия запорной

описаны методы и средства контроля толщины и твердости покрытий элементов шаровой запорной арматуры (шаровых пробок), являющейся одним из основных элементов магистральных трубопроводов и распределительных сетей. Проанализированы свойства никель-фосфорных (ENP) покрытий, чаще всего применяемых для защиты шаровых пробок от коррозии и абразивного износа. В процессе экспериментальных исследований проведены измерения толщины покрытий магнитоиндукционным и вихретоковым методами неразрушающего контроля, а также методом шарового истирания. Значения твердости измеряли методами микровиккерса и ультразвукового контактного импеданса. Выявлены основные источники ошибок при проведении измерений. Сделаны выводы по каждому из используемых методов входного контроля покрытий.

**Ключевые слова:** шаровая запорная арматура, никель-фосфорное покрытие, толщинометрия, твердометрия.

K. V. Gogolinskiy, V. V. Alekhovich, A. E. Ivkin, A. S. Umanskiy  
(Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia);  
P. V. Solomenchuk  
(LLC “CONSTANTA”, St. Petersburg, Russia)

## STUDY OF METHODS OF INCOMING INSPECTION OF METAL COATINGS OF SHUT-OFF VALVES OF PIPELINES

The article describes methods and tools for inspection of thickness and hardness of coatings of elements of ball shut-off valves (ball plugs), which are one of the main elements of main pipelines and distribution networks. Properties of nickel-phosphorus (ENP) coatings most frequently used to protect ball plugs from corrosion and abrasion are analyzed. Various methods and means of control are considered. In the process of experimental studies, the thickness of coatings was measured by magnetic induction and eddy current methods of nondestructive control, as well as by ball abrasion method. Hardness values were measured by microvickers and ultrasonic contact impedance methods. The main sources of measurement errors were identified. Conclusions are drawn for each of the methods used in the incoming inspection of coatings.

**Keywords:** ball shut-off valves, nickel-phosphorus coating, thickness gauging, hardness gauging.

арматуры относятся к специальному типу изделий трубопроводных магистралей и распределительных сетей, предназначенных для оперативного регулирования потока рабочего носителя, предполагающего достаточно интенсивное использование на протяжении срока эксплуатации не менее тридцати

лет [6, 7]. Разнообразная запорная арматура, в частности шаровые краны, должна обеспечивать требуемую герметичность затвора, исключение недопустимых соударений привода крана с ограничителями хода при открытии и закрытии, требуемые показатели диэлектрических свойств защитного покрытия, надежность функционирования, прочность корпуса, в том числе при перепадах давления, отсутствие утечек во внешнюю среду. Однако статистика показывает, что наибольшие потери газа происходят в запирающих устройствах [8].

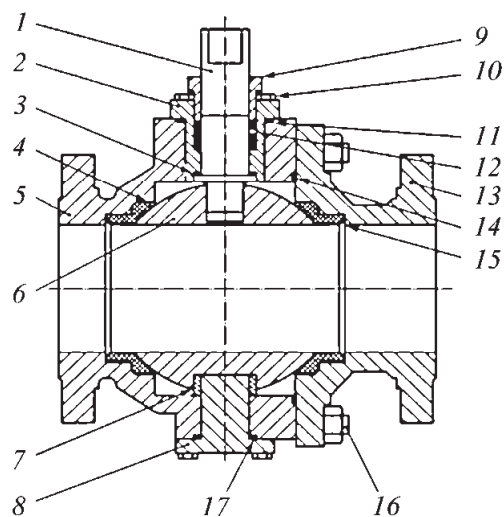
В современном промышленном производстве шаровой запорной арматуры широко используются металлические покрытия в целях защиты стальной шаровой задвижки от агрессивной среды для обеспечения ее герметичности и износостойкости. На предприятиях газовой отрасли Российской Федерации регламентированы требования к толщине и твердости таких покрытий, в связи с чем возникла необходимость проведения входного контроля этих параметров. Поэтому была поставлена задача исследования методов и средств входного неразрушающего контроля покрытий запорной арматуры газопроводов.

### Шаровая запорная арматура

#### Конструкция шаровых кранов

Наиболее распространенным типом запорной арматуры в магистральных газопроводах и в распределительных являются шаровые краны номинальным диаметром от 10 до 2200 мм. Технические характеристики во многом определяются материалами, из которых они изготовлены. Например, пластиковая запорная арматура устойчива к воздействию агрессивных сред, но достаточно быстро разрушается под воздействием механических примесей рабочей среды. Краны из нержавеющей стали выдерживают высокие рабочие давления и температуры [9], однако сложны в изготовлении и имеют высокую стоимость. Наиболее распространенный тип – шаровая пробка из стали марок 16ГС, 09Г2С с функциональным металлическим покрытием, которое должно обеспечивать защиту от абразивного износа.

Шаровыми кранами называются конструкции арматуры с затвором в форме тела вращения, поворачивающиеся вокруг своей оси, перпендикулярной оси потока среды. На рис. 1 приведена типовая



**Рис. 1. Типовая конструкция крана с неметаллическим уплотнением в седле, с шаровой пробкой в опоре, с разъемным корпусом:**

1 – шпindelь; 2 – крышка; 3 – упорное кольцо; 4 – седло; 5 – корпус крана; 6 – шаровая пробка; 7 – подшипник опоры; 8 – опора шара; 9 – втулка сальника; 10 – крепеж крышки; 11 – уплотнение крышки; 12 – уплотнение шпинделя (сальниковая набивка); 13 – фланец; 14 – уплотнение корпуса; 15 – пружина седла; 16 – крепеж корпуса; 17 – уплотнение опоры

конструкция крана с шаровой пробкой в опоре, с неметаллическим уплотнением в седле, с разъемным корпусом.<sup>1</sup>

#### Требования к защитным покрытиям шаровых пробок

Транспортируемый природный газ содержит в различном количестве примеси: сероводород, углекислый газ, продукты коррозии оборудования, песок. Возникает необходимость защиты запирающих элементов для предотвращения их повреждения и последующей разгерметизации транспортной инфраструктуры газопровода, в частности шаровой запорной арматуры [10]. Одним из методов комплексной защиты металлических изделий считаются химическое никелирование и хромирование, все шире применяющиеся при производстве запорной арматуры.

Для покрытий элементов шаровых кранов установлены требования по таким параметрам, как толщина и твердость покрытия [11, 12]. В требованиях [11] прописано, что пробка и седла должны иметь износостойкое покрытие, нанесенное негальваническим способом, толщиной от 150 до 500 мкм.

<sup>1</sup> ГОСТ 34293–2017. Арматура трубопроводная. Краны шаровые стальные для нефтяной, нефтехимической и смежных отраслей промышленности. Общие технические условия (с Поправкой). Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2018.

В СТО [12] указано, что толщина износостойкого покрытия должна составлять не менее 25 мкм для неагрессивной среды и 75 мкм – для агрессивной среды. Второй нормируемой характеристикой антикоррозионного покрытия металлических изделий является их твердость. Твердость покрытия должна составлять не ниже 900 HV [11] или 1100 HV [12].

### Особенности электромагнитных и физико-механических свойств покрытий элементов шаровых кранов

Зависимость электромагнитных свойств от материалов покрытия и технологии нанесения

Покрытия из сплава никель-фосфор (Ni-P), также называемые в литературе *Electroless Nickel-Phosphorus* (ENP), нанесенные на стальные поверхности, обеспечивают высокую степень защиты от коррозии [13]. Особенностью ENP-покрытий является зависимость их электромагнитных и физико-механических свойств от химического состава покрытия и технологических режимов при их нанесении.

Магнитные свойства нанесенного ENP-покрытия способны изменяться в зависимости от процентного содержания фосфора и параметров термической обработки. К данным свойствам относятся: намагниченность насыщения, магнитная проницаемость, остаточная намагниченность, прямоугольность петли гистерезиса и коэрцитивная сила. С возрастанием количества фосфора значения коэрцитивной силы и максимальной магнитной индукции снижаются, и при массовом содержании фосфора 7...9 % падают до 1...2 Э, а свыше 10...12 % коэрцитивная сила резко падает, покрытия становятся практически немагнитными (рис. 2) [14].

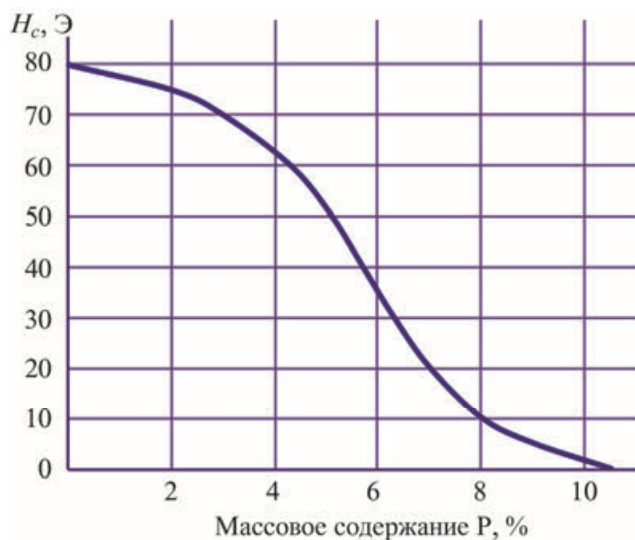


Рис. 2. Спад коэрцитивной силы материала сплава при увеличении массового содержания в нем фосфора [14]

### Зависимость механических свойств от материалов покрытия и технологии нанесения

Величина микротвердости, как и другие механические свойства (пластичность, хрупкость), зависят от содержания фосфора (рис. 3, кривая 1): при увеличении массового содержания фосфора от 4 до 10 % микротвердость снижается на 10...20 %. После термической обработки микротвердость значительно возрастает (рис. 3, кривая 2), достигая в некоторых случаях 11 000 и даже 12 000 МПа (11...12 ГПа) после часового отжига при 400...500 °С.

При более высоких температурах и более длительном нагреве микротвердость вновь уменьшается (рис. 4), за исключением высокофосфорных покрытий, твердость которых может увеличиваться при 600 °С [14].

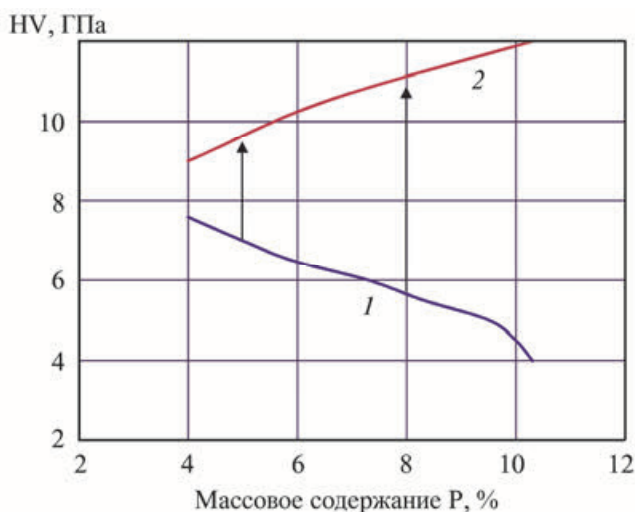


Рис. 3. Микротвердость (по Виккерсу) покрытий Ni-P непосредственно после осаждения (1) и термической обработки в оптимальных условиях (2) в зависимости от содержания фосфора в покрытии. Стрелки показывают возрастание микротвердости при термообработке [14]

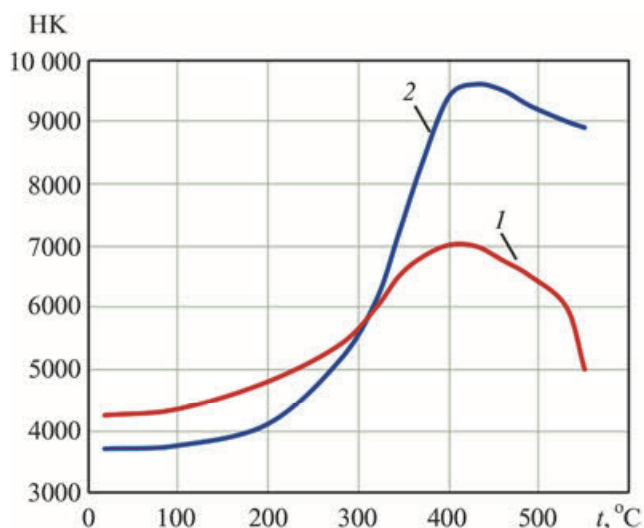


Рис. 4. Измерение твердости (по Кнупу) после термической обработки при разных значениях температуры в течение 1 ч. Массовое содержание фосфора в покрытии: 1 – 4%; 2 – 9% [14]

## Методы и средства контроля нормируемых параметров покрытий

### Контроль толщины покрытий

Контроль геометрических параметров покрытий, в частности толщины, подразделяется на два вида – неразрушающий и разрушающий. К группе неразрушающих методов контроля относят методы, которые можно применить без нарушения целостности покрытия. Такими методами контроля являются магнитоиндукционные [15, 16], вихретоковые [15 – 19] и радиационные [20, 21]. К группе разрушающих методов относится метод шарового истирания.

*Магнитоиндукционный метод* измерения толщины покрытий основан на изменении взаимной индукции между возбуждающей (первичной) и приемной (вторичной) обмотками первичного измерительного преобразователя в зависимости от толщины немагнитного покрытия на ферромагнитном основании (либо толщины ферромагнитного покрытия на неферромагнитном основании) [15, 17, 22].

Главной проблемой применения магнитоиндукционного метода при измерении толщины ENP-покрытия является приобретение ENP-покрытием после термообработки ферромагнитных свойств, подобных свойствам основания, которые приводят к недопустимому искажению показаний средств измерений, реализующих магнитоиндукционный метод.

*Вихретоковые методы* измерения толщины покрытия основаны на анализе взаимодействия собственного электромагнитного поля вихретокового преобразователя с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в контролируемом объекте и зависящих от электрофизических и геометрических параметров основного металла и покрытия [15, 16]. *Вихретоковый фазовый метод* позволяет проводить измерение толщины ферро- и неферромагнитных электропроводных покрытий на шаровых пробках из черных металлов по предварительно снимаемым и записываемым в память преобразователя градуировочным характеристикам для заданных параметров покрытие/основание [19].

На результаты измерения толщины покрытия, получаемые вихретоковым методом, оказывают непосредственное воздействие изменения электропроводности и магнитной проницаемости покрытия, в то время как такие изменения практически не играют никакой роли при использовании магнитоиндукционного метода.

*Радиационные методы контроля* толщины покрытия подразделяются на рентгенофлуоресцентный метод и метод  $\beta$ -отражения. *Рентгенофлуорес-*

*центный анализ* (РФА) дает информацию о химическом составе в некотором слое вещества. При этом интенсивности аналитических линий вторичного рентгеновского спектра не зависят от толщины образца  $d$ , если она больше  $d_n$  толщины насыщенного, или толстого, излучающего слоя [23]. На основе данного метода реализован ГЭТ 168–2015 Государственный первичный эталон единиц поверхностной плотности и массовой доли элементов в покрытиях [24].

Результаты измерений приборов, основанных на магнитоиндукционном и вихретоковом методах, зависят от нескольких групп параметров: электрофизических (удельной электропроводности материалов покрытия  $\sigma_n$  и основания  $\sigma_{осн}$ , а также комплексной относительной магнитной проницаемости материала основания  $\bar{\mu}_{осн}$ ) и геометрических (толщины покрытия, шероховатости, радиуса кривизны поверхности и др.) [15 – 19].

В качестве методики измерений для получения опорного значения толщины покрытия был выбран *метод шарового истирания*. Измерение основано на определении геометрических размеров сферы («сферического микрошлифа»), образованной при абразивном истирании покрытия и частично основания стальным вращающимся шаром при добавлении в зону контакта абразивной суспензии. При аттестации данной методики измерений [25] была обеспечена прослеживаемость результатов измерений к ГЭТ 168. Результаты измерений, получаемые этим методом, не зависят от свойств покрытий. Его недостатками являются разрушение целостности покрытия объекта контроля и невозможность дальнейшей эксплуатации запорного элемента.

### Контроль механических параметров (твердости)

Классические методы определения основных механических параметров твердых тел на основе экспериментальной зависимости напряжение–деформация неприменимы для покрытий и упрочненных приповерхностных слоев, так как требуют изготовления специальных образцов для испытаний. Для контроля локальных механических свойств поверхности материалов и изделий традиционно применяются статические методы измерения твердости (Бринелля, Виккерса и Роквелла), которые в силу своих особенностей неприменимы при измерении свойств покрытий и приповерхностных слоев в труднодоступных местах, на поверхности крупногабаритных деталей и деталей сложной геометрии. Эти ограничения привели к распространению различных портативных твердомеров [26].

## 1. Технические характеристики образцов

№ образца	Образец	Диаметр, мм	Материал основания	Материал покрытия	Параметры по документации	
					Толщина, мкм	Твердость покрытия
1	AD-136 2"	84	LF2 <sup>1</sup>	ENP <sup>2</sup>	76...79	910 HV0,1
2	AD-136 4"	170	LF2	ENP	76...79	910 HV0,1

<sup>1</sup> LF2 по ASTM A350.

<sup>2</sup> Electroless Nickel-Phosphorus.

Однако результат измерений наиболее распространенных портативных твердомеров (ультразвуковых и твердомеров Либа) зависит от соотношения пластических и упругих свойств (предела текучести и модуля Юнга), что не позволяет напрямую связать их со значениями статических шкал твердости, в частности шкалы Виккерса [27]. Для получения достоверных результатов с помощью портативных твердомеров необходима их калибровка на мерах, упругие свойства которых близки к свойствам контролируемых объектов.

В мировой научной практике для измерения механических свойств тонких покрытий высокой твердости используется метод инструментального индентирования [28]. В силу того что использовать данный метод не представляется возможным для контроля готовой продукции, были применены измерение твердости – микротвердость по Виккерсу и метод ультразвукового контактного импеданса.

В связи с тем что толщина контролируемого химически осажденного никелевого покрытия не превышает 100 мкм, для измерения показателей твердости применяют микротвердомеры Виккерса. В данной работе использовался микротвердомер ПМТ-3 [29]. В силу конструктивных ограничений ПМТ-3 габариты образца для измерения твердости покрытий весьма ограничены. Образцы были подготовлены путем вырезки секторов из шаровых запорных элементов, которые могли разместиться на предметном столике прибора (рис. 5).

Для измерения твердости без разрушения шаровой пробки был выбран портативный *ультразвуковой твердомер (УЗТ)*, реализующий метод ультразвукового контактного импеданса. Этот метод основан на эффекте изменения резонансной частоты упругого элемента (стержня) в результате вне-

дрения закрепленного на нем индентора (алмазная пирамида Виккерса) в поверхность испытуемого образца при приложении к нему нагрузки [26]. Выбор этого прибора по сравнению с твердомером Либа объясняется существенно меньшими нагрузками и, соответственно, глубиной внедрения индентора [30].

## Описание исследуемых образцов

Для проведения исследований были выбраны шаровые пробки с ENP-покрытием, применяемые в газопроводах, производства КНР. Характеристики, указанные в сопроводительной документации производителя, приведены в табл. 1.

Для проведения измерений и градуировки образец № 1 был распилен на две равные части, № 2 – на четыре равные части. Изображение образца приведено на рис. 5.

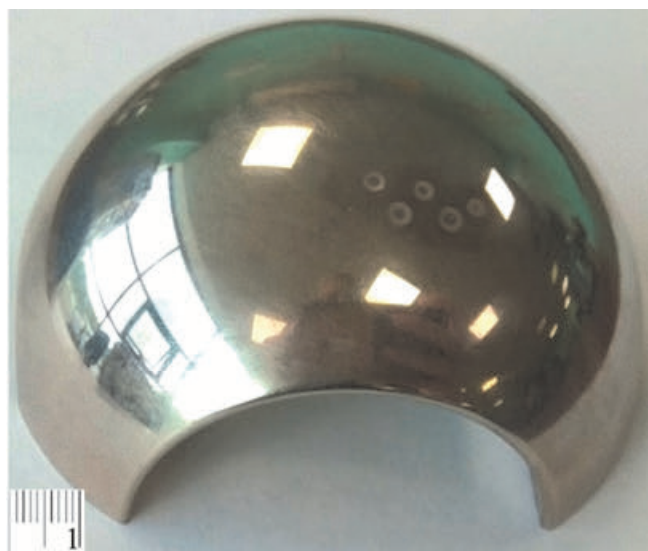


Рис. 5. Образец № 1 AD-136 2" для проведения измерений и градуировки

## 2. Методы измерения и используемое оборудование

№	Измеряемый параметр/ Метод измерения	Оборудование	Метрологические характеристики	
			Характеристика	Значение
1	Толщина покрытия/ Метод шарового истирания	Установка шарового истирания «Константа Ш2», оптический микроскоп <sup>1</sup>	Показатель точности (границы погрешности при $P = 0,95$ ), $\pm\delta$	6,0 %
2	Толщина покрытия/ Магнитоиндукционный метод	Прибор измерения геометрических параметров «Константа К6ц» с преобразователем ИД1-0,3 <sup>2</sup>	Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений толщины покрытий при температуре окружающего воздуха $20 \pm 5$ °С, мм	$\pm(0,01h + 0,001)$
3	Толщина покрытия/ Вихретоковый фазовый метод	Прибор измерения геометрических параметров «Константа К6ц» с преобразователем ФД1 <sup>2</sup>	Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений толщины покрытий при температуре окружающего воздуха $20 \pm 5$ °С, мм	$\pm(0,02h + 0,001)$
4	Твердость HV/ Статический метод (Микротвердость по Виккерсу)	Микротвердомер ПМТ-3М	Предел допускаемой погрешности нагрузок в диапазонах основном/дополнительном, не более	$\pm 2$ %
5	Твердость HV/Метод ультразвукового контактного импеданса	Твердомер «Константа КТ» с преобразователем U-10N <sup>3</sup>	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений твердости, единицы измерений	$\pm 20$ HV

<sup>1</sup> [https://constanta.ru/catalog/mekhanicheskie\\_tolshchinomery\\_zashchitnykh\\_pokrytiy/](https://constanta.ru/catalog/mekhanicheskie_tolshchinomery_zashchitnykh_pokrytiy/)<sup>2</sup> [https://constanta.ru/catalog/pribory/konstanta\\_k6ts\\_tft/?ysclid=l8lh65u5w1482204469](https://constanta.ru/catalog/pribory/konstanta_k6ts_tft/?ysclid=l8lh65u5w1482204469)<sup>3</sup> [https://constanta.ru/catalog/izmeritelnye\\_preobrazovateli\\_po\\_metodu\\_uci\\_dlya\\_tverdomera\\_konstanta\\_kt/u\\_10n/?ysclid=l8lh8gpt4141249665](https://constanta.ru/catalog/izmeritelnye_preobrazovateli_po_metodu_uci_dlya_tverdomera_konstanta_kt/u_10n/?ysclid=l8lh8gpt4141249665)**Используемое оборудование**

Выбор оборудования для измерения толщины покрытий проводили с учетом электромагнитных свойств покрытия и основания.

Информация об используемом оборудовании представлена в табл. 2. Средства измерений и методики внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений и имеют установленные метрологические характеристики.

**Результаты эксперимента****Измерение толщины покрытий**

Для проведения измерений толщины покрытий методом шарового истирания был использован прибор «Константа Ш2», оптический микроскоп «Альтаи МВ0670Д» и мера штриховая ОМО [25]. Образование выемки износа и дальнейшие измере-

ния проводили с помощью стального шара диаметром 20 мм. Результаты измерений представлены в табл. 3.

Неразрушающие измерения толщины покрытия выполняли двумя преобразователями, реализующими вихретоковый фазовый (ФД1) и магнитоиндукционный (ИД1-0,3) методы измерений.

Поскольку градуировка вихретокового преобразователя ФД1 проводилась на покрытии образца № 1, измеренные им значения толщины соответствуют полученным методом шарового истирания. В то же время результаты измерения толщины покрытия образца № 2 преобразователем ФД1 по градуировочной характеристике ENP, полученной на образце № 1, отличаются от результатов, полученных разрушающим методом. Это вызвано существенной разностью электромагнитных свойств в покрытиях.

### 3. Результаты измерения толщин покрытий (среднее по пяти измерениям)

№ образца	Образец	Толщина, измеренная приборами, мкм			
		Заявленная	«Константа Ш2»	«Константа Кбц», ФД1	«Константа Кбц», ИД1-0,3
1	AD-136 2"	76 ± 4	153,0 ± 1,3	147 ± 3	36 ± 1
2	AD-136 4"	76 ± 4	70,0 ± 1,1	45 ± 1	70 ± 2

#### Испытания на твердость

Испытания на микротвердость были проведены с помощью микротвердомера ПМТ-3М. Для испытаний на образце использовали нагрузки 0,1 кгс (1 Н) и 0,5 кгс (5 Н). Результатами проведенных измерений приняты средние значения по результатам не менее пяти измерений.

Измерения твердости покрытия проводили ультразвуковым твердомером (УЗТ) «Константа КТ» с преобразователем U-10N. Для решения поставленной задачи был использован преобразователь с нагрузкой 1 кг, оставляющий отпечаток малого размера и глубины, что позволяет проводить измерения относительно тонких покрытий. Данное значение нагрузки является минимальным для этого класса приборов, при этом оно значительно превышает нагрузки, характерные для измерения микротвердости с использованием ПМТ-3. Для сравнения использовали значения микротвердости, полученные при нагрузке 500 г. Результаты проведенных измерений представлены в табл. 4.

#### Анализ полученных результатов

Результаты измерений толщины покрытия (см. табл. 3) индукционным преобразователем ИД1 на образце № 1 (AD-136 2") не соответствуют фактической толщине покрытия, полученной методом шарового истирания. Это свидетельствует о том, что покрытие обладает ферромагнитными свойствами, приобретаемыми в процессе термической обработки. Наличие термической обработки также подтверждается высокой твердостью покрытия.

Результаты измерений толщины покрытия преобразователем ИД1 на образце № 2 (AD-136 4") соответствуют измерениям толщины покрытия методом шарового истирания. Это свидетельствует об

отсутствии ферромагнитных свойств у покрытия, что в свою очередь говорит об отсутствии операции термической обработки покрытия. Об этом также говорит низкая твердость покрытия (см. табл. 4) [14]. Следует учитывать, что изменение электромагнитных параметров покрытия (удельной электропроводности и относительной магнитной проницаемости) является естественным следствием колебания параметров технологического процесса нанесения покрытия. При этом даже колебания этих параметров, удовлетворяющие технологическим допускам, приводят к существенному колебанию электромагнитных параметров покрытия, что не позволяет использовать вихрековый фазовый метод для измерения толщины покрытия. Магнитоиндукционный метод измерения толщины нечувствителен к удельной электропроводности покрытия, а для уменьшения относительной магнитной проницаемости материала покрытия возможно использование приема намагничивания покрытия до насыщения внешним постоянным магнитным полем.

При измерении твердости методом ультразвукового контактного импеданса критическим параметром, влияющим на показания прибора, является модуль упругости материала контролируемого образца [26]. Достоверные значения твердости при заданной градуировке метод УЗТ позволяет получать на образцах с одинаковым модулем упругости. Результаты измерения твердости покрытия образца № 1 с помощью УЗТ (см. табл. 4) сопоставимы с результатами измерения микротвердости по Виккерсу с нагрузкой 0,5 кгс (5 Н). Исходя из этого можно предположить, что модуль упругости твердого покрытия близок к модулю упругости нелегированной стали, по которой проводилась градуировка прибора. Результаты измерения твердости покрытия образца № 2 с помощью УЗТ радикально

### 4. Результаты измерения толщин покрытий (среднее по пяти измерениям)

№ образца	Образец	Твердость HV			
		Заявленная	ПМТ-3		УЗТ
			0,1 кгс (1 Н)	0,5 кгс (5 Н)	
1	AD-136 2"	910 ± 20	908 ± 18	751 ± 18	740 ± 20
2	AD-136 4"	910 ± 20	441 ± 18	520 ± 18	780 ± 20

отличаются от результатов измерения микротвердости по Виккерсу (780 и 550 HV соответственно). Это свидетельствует о том, что модуль упругости покрытия без термической обработки существенно меньше, чем у отожженного термоупрочненного покрытия.

### Выводы

В рамках представленной работы проведено исследование параметров покрытий на шаровых пробках, включающее контроль толщины покрытия и его твердости. По результатам испытаний выявлены отклонения фактических параметров покрытий от требований технологической документации.

Обработка образца AD-136 4" была проведена, по-видимому, с нарушением технологии, что привело к его низкой твердости. Магнитные свойства такого покрытия позволяют измерять его толщину магнитоиндукционным методом.

Можно предположить, что покрытие на образце AD-136 2" было обработано в соответствии с предписанной технологией, при этом достигнута требуемая твердость. Магнитные свойства такого покрытия позволяют проводить измерения толщины только вихретоковым фазовым методом. Однако толщина покрытия на образце AD-136 2" превышает требуемую в 2 раза, что приводит к его повышенной хрупкости, наблюдаемой при индентировании.

Ошибочные результаты измерения твердости, полученные УЗТ на образце AD-136 4", по-видимому, связаны с низким значением модуля упругости покрытия.

Основной результат исследования состоит в том, что с помощью серийно производимых (присутствующих на рынке) приборов и методов неразрушающего контроля толщины и твердости покрытий невозможно осуществить достоверный входной контроль шаровых кранов с хромовыми и никелевыми покрытиями. Это связано с критическим изменением электромагнитных и механических свойств таких покрытий в зависимости от их химического состава и технологии изготовления и влиянием этих свойств на показания приборов. Для решения этой задачи необходимо создание методов и средств измерений, позволяющих компенсировать либо измерять влияющие (мешающие) параметры. В частности, для устранения влияния магнитных свойств при измерении толщины магнитоиндукционным методом может быть применено намагничивание покрытия до технического насыщения [31]. Для достоверного измерения механических свойств перспективным представляется применение метода инструментального индентирования, позволяющего одновременно измерять контактную твердость и модуль упругости.

### Библиографический список

1. **Любчик А. Н., Крапивский Е. И., Большунова О. М.** Прогнозирование технического состояния магистральных трубопроводов на основе анализа аварийных ситуаций // Записки Горного института. 2011. Т. 192. С. 153 – 156. URL: <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/6341>
2. **Джемилев Э. Р., Шаммазов И. А., Сидоркин Д. И. и др.** Разработка технологии и устройства для ремонта магистральных трубопроводов с вырезанием их дефектных участков // Нефтяное хозяйство. 2022. № 10. С. 78 – 82. DOI: 10.24887/0028-2448-2022-10-78-82. EDN KCHEON.
3. **Ямилев М. З., Пшенин В. В., Матвеев Д. С. и др.** Использование компактных инспекционных приборов для контроля технического состояния трубопроводов в защитных футлярах // Нефтяное хозяйство. 2022. № 2. С. 106 – 111. DOI: 10.24887/0028-2448-2022-2-106-110. EDN WKUNPY.
4. **Кризский В. Н., Викторов С. В., Лунтовская Я. А.** Моделирование переходного сопротивления изоляции магистрального трубопровода по данным измерений модуля вектора магнитной индукции // Математическое моделирование. 2022. Т. 34, № 9. С. 107 – 122. DOI: 10.20948/mm-2022-09-07. – EDN PWWRKI.
5. **Пшенин В. В., Джемилев Э. Р., Розанова Л. Р., Комаровский М. С.** Результаты анализа показателей аварийности систем газораспределения // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. № 4(138). С. 89 – 101. DOI: 10.17122/ntj-oil-2022-4-89-101. EDN VUIACC.
6. **Васин С. А., Плахотникова Е. В.** Методика расчета величины крутящего момента настройки электропривода в системе электроприводной запорной арматуры с прямолинейным перемещением запорного органа // Записки Горного института. 2018. Т. 232. С. 407 – 412. URL: <https://doi.org/10.31897/pmi.2018.4.407>
7. **Донг В. Х.** Шаровые краны для газопроводов // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 50-летию ТИИ-ТюмГНГУ, Тюмень, 1 января 2013 г. Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2013. С. 357 – 359. EDN TCPWLZ.
8. **Пиксайкин Р. В., Степаненко О. А.** Контроль утечки газа и жидкостей в шаровых кранах магистральных трубопроводов // Сварка и диагностика. 2012. № 3. С. 51–52. EDN OZJBFF.
9. **Виды и назначение** запорной арматуры: электронный ресурс. URL: <https://pkfdetal.ru/info/11-vidy-i-naznachenie-zapornoj-armatury> (дата обращения: 02.07.2022).
10. **Chemaa K., Kezrane M., Hassani S., et al.** Austenite Stainless Steel Multilayers Coatings on Ball Valves for Tribological Behavior Improvement // Appl. Phys. A. 2022. V. 128, No. 7. P. 616. URL: <https://doi.org/10.1007/s00339-022-05770-z>
11. **МУ.10.36.** Единые технические требования на поставку кранов шаровых: методические указания / ООО «Иркутская нефтяная компания». Иркутск, 2019. С. 15, п. 5.10 – 5.12.
12. **СТО Газпром 2-4.1-1108–2017.** Арматура трубопроводная. Краны шаровые специальные. Общие технические условия / ПАО «Газпром»; ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ» и др. СПб.: Газпром экспо, 2018. 46 с. (Документы нормативные для проектирования, строительства и эксплуатации объектов ПАО «Газпром»).
13. **Singh D. D. N., Ghosh R.** Electroless nickel–phosphorus coatings to protect steel reinforcement bars from chloride induced corrosion // Surface and Coatings Technology. 2006. V. 201, Is. 1–2. P. 90 – 101. URL: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.10.045>



14. Гамбург Ю. Д. Химическое никелирование (получение никель-фосфорных покрытий путем электрокаталитического восстановления гипофосфитом). М.: РАН, 2020. 82 с.

15. Потапов А. И., Сясько В. А. Неразрушающие методы и средства контроля толщины покрытий и изделий: научное, методическое, справочное пособие. СПб.: Гуманистика, 2009. 904 с.

16. Сясько В. А. Методы и приборы измерения толщины гальванических покрытий. Вопросы применения и обеспечения достоверности результатов измерений // Гальванотехника и обработка поверхности. 2011. Т. 19, № 3. С. 42 – 52.

17. Костин В. Н., Смородинский Я. Г. Многоцелевые аппаратно-программные системы активного электромагнитного контроля как тенденция // Дефектоскопия. 2017. № 7. С. 23 – 34.

18. Сясько В. А. Измерение толщины напыляемых никелевых покрытий на крупногабаритных чугунных изделиях // Записки Горного института. 2016. Т. 221. С. 712 – 716. URL: <https://doi.org/10.18454/pmi.2016.5.712>

19. Сясько В. А., Голубев С. С., Смородинский Я. Г. и др. Измерение электромагнитных параметров мер толщины металлических покрытий. // Дефектоскопия. 2018. № 10. С. 25 – 36. DOI: 10.1134/S0130308218100044

20. Salmi M., Magrini A., Gigante G. E., Barra O. A. Coating Thickness Measurement by Means of the Radioisotope X-Ray Fluorescence Technique // Isotopenpraxis. Isotopes in Environmental and Health Studies. 1978. V. 14, No. 11. P. 380–381. DOI: 10.1080/10256017808544250

21. Машин Н. И., Леонтьева А. А., Туманова А. Н., Ершов А. А. Рентгенофлуоресцентный метод определения толщины алюминиевого покрытия на стали // Журнал прикладной спектроскопии. 2011. Т. 78, № 3. С. 454 – 459. EDN NQXVER.

22. Сясько В. А., Васильев А. Ю. Импульсный магнитный контроль толщины металлических покрытий // Дефектоскопия. 2021. № 9. С. 63 – 70. DOI: 10.31857/S0130308221090074

23. Игнатова Ю. А., Еритенко А. Н., Ревенко А. Г., Цветянский А. Л. Рентгенофлуоресцентный анализ твердых пленок и покрытий // Аналитика и контроль. 2011. Т. 15, № 2. С. 126 – 140. EDN NUCXSN.

24. Казанцев В. В., Медведевских С. В., Васильев А. С. Государственный первичный эталон единиц поверхностной плотности и массовой доли элементов в покрытиях ГЭТ 168-2015 // Измерительная техника. 2018. № 9. С. 17 – 19. DOI: 10.32446/0368-1025it-2018-9-17-19. EDN YLFNUL.

25. Гоголинский К. В., Ивкин А. Е., Алехнович В. В. и др. Оценка показателей точности определения толщины покрытий методом шаровой истирания // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2020. Т. 86, № 7. С. 39 – 44. DOI: [doi.org/10.26896/1028-6861-2020-86-7-39-44](https://doi.org/10.26896/1028-6861-2020-86-7-39-44)

26. Gogolinskii K., Syasko V., Umanskii A., et al. Mechanical properties measurements with portable hardness testers: advantages, limitations // prospects Journal of Physics. Conf. Ser. 2019. V. 1384. P. 012012.

27. Гоголинский К. В., Сясько В. А. Метрологическое обеспечение динамических методов измерения твердости в Российской Федерации: существующие проблемы и пути их решения // В мире неразрушающего контроля. 2014. № 1(63). С. 69 – 75. EDN RYXGSV.

28. Усеинов А., Гоголинский К. Механические свойства сверхтонких углеродных алмазоподобных покрытий // Наноиндустрия. 2010. № 5. С. 54 – 57. EDN OBQUFD.

29. Овчинников Е. В., Чекан Н. М., Эйсымонт Е. И. и др. Высокотемпературные коррозионностойкие плазмохимические покрытия для технологической оснастки // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Сер. 6. Техника. 2019. Т. 9, № 1. С. 6 – 17. EDN PPTBRH.

30. Аширова А. Д., Гоголинский К. В., Никазов А. А. Возможности применения портативных твердомеров для неразрушающего контроля механических свойств покрытий // XXII Всерос. конф. по неразрушающему контролю и технической диагностике: сб. тр. Москва, 3 – 5 марта 2020 г. М.: Изд. дом «Спектр», 2020. С. 181 – 184.

31. Syasko V., Solomenchuk P., Ivkin A., Vasilev A. Thickness Inspection of Magnetic Nickel Coatings on Ball Valve Mechanisms // BINDT NDT 2021 Webinar Week [2A5]. Thickness Inspection of Magnetic Nickel Coatings on Ball Valve Mechanisms (bindt.org). Telford, 2021.

## References

1. Lyubchik A. N., Krapivskiy E. I., Bol'shunova O. M. (2011). Forecasting the technical condition of trunk pipelines Pipelines based on analysis of emergency situations. *Zapiski Gornogo instituta, Vol. 192*, pp. 153 – 156. Available at: <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/6341> [in Russian language]

2. Dzhemilev E. R., Shammazov I. A., Sidorkin D. I. et al. (2022). Development of technology and devices for repair of trunk pipelines with cutting out their defective sections. *Neftyanoe hozyaystvo*, (10), pp. 78 – 82. [in Russian language] DOI: 10.24887/0028-2448-2022-10-78-82. EDN KCHEOH.

3. Yamilev M. Z., Pshenin V. V., Matveev D. S. et al. (2022). Use of compact inspection devices to monitor the technical condition of pipelines in protective casings. *Neftyanoe hozyaystvo*, (2), pp. 106 – 111. [in Russian language] DOI: 10.24887/0028-2448-2022-2-106-110. EDN WKUHPY.

4. Krizskiy V. N., Viktorov S. V., Luntovskaya Ya. A. (2022). Transient resistance modeling of trunk pipeline insulation based on magnetic induction modulus measurements. *Matematicheskoe modelirovanie, Vol. 34* (9), pp. 107 – 122. [in Russian language] DOI: 10.20948/mm-2022-09-07. – EDN PWWRKI.

5. Pshenin V. V., Dzhemilev E. R., Rozanova L. R., Komarovskiy M. S. (2022). Results of the analysis of accident rates of gas distribution systems. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov, 138*(4), pp. 89 – 101. [in Russian language] DOI: 10.17122/ntj-oil-2022-4-89-101. EDN VUIACC.

6. Vasin S. A., Plahotnikova E. V. (2018). Methodology for calculating the torque value of electric actuator setting in the system of electric actuated shut-off valves with rectilinear movement of the shut-off valve. *Zapiski Gornogo instituta, Vol. 232*, pp. 407 – 412. Available at: <https://doi.org/10.31897/pmi.2018.4.407> [in Russian language]

7. Dong V. H. (2013). *Ball valves for gas pipelines*. New technologies to the oil and gas region: materials of the All-Russian scientific-practical conference of students, post-graduates and young scientists, dedicated to the 50th anniversary of TИ-TymGNGU, pp. 357 – 359. Tyumen': Tyumenskii gosudarstvennii neftegazoviy universitet. [in Russian language] EDN TCPWLZ.

8. Piksaykin R. V., Stepanenko O. A. (2012). Control of gas and liquid leakage in ball valves of main pipelines. *Svarka i diagnostika*, (3), pp. 51–52. [in Russian language] EDN OZJBFF.

9. *Types and purpose of stop valves: electronic resource*. Available at: <https://pkfdetal.ru/info/11-vidy-i-naznachenie-zapornoj-armatury> (Accessed: 02.07.2022). [in Russian language]

10. Chema K., Kezrane M., Hassani S., et al. (2022). Austenite Stainless Steel Multilayers Coatings on Ball Valves for Tribological Behavior Improvement. *Applied Physics A, Vol. 128*

- (7). Available at: <https://doi.org/10.1007/s00339-022-05770-z> [in Russian language]
11. Unified technical requirements for the supply of ball valves: guidelines. (2019). *Methodological guidelines No. MU.10.36*. Irkutsk: OOO «Irkutskaya neftyanaya kompaniya». [in Russian language]
  12. Pipeline valves. Special ball valves. General specifications. PJSC Gazprom; Research Institute of Natural Gases and Gas Technologies - Gazprom VNIIGAZ, etc. (2018). *Standard of the organization No. STO Gazprom 2-4.1-1108-2017*. Saint-Petersburg: Gazprom ekspoz. [in Russian language]
  13. Singh D. D. N., Ghosh R. (2006). Electroless nickel-phosphorus coatings to protect steel reinforcement bars from chloride induced corrosion. *Surface and Coatings Technology, Vol. 201* (1–2), pp. 90 – 101. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.10.045>
  14. Gamburg Yu. D. (2020). *Chemical nickel plating (obtaining nickel-phosphorus coatings by electrocatalytic reduction with hypophosphite)*. Moscow: RAN. [in Russian language]
  15. Potapov A. I., Syas'ko V. A. (2009). *Non-destructive methods and means of thickness control of coatings and products: a scientific, methodological, reference manual*. Saint-Petersburg: Gumanistika. [in Russian language]
  16. Syas'ko V. A. (2011). Methods and instruments for measuring the thickness of galvanic coatings. Issues of application and ensuring the reliability of measurement results. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti, Vol. 19* (3), pp. 42 – 52. [in Russian language]
  17. Kostin V. N., Smorodinskiy Ya. G. (2017). Multipurpose hardware and software systems of active electromagnetic control as a trend. *Defektoskopiya, (7)*, pp. 23 – 34. [in Russian language]
  18. Syas'ko V. A. (2016). Measuring the thickness of sprayed nickel coatings on large cast iron products. *Zapiski Gornogo instituta, Vol. 221*, pp. 712 – 716. Available at: <https://doi.org/10.18454/zpmi.2016.5.712> [in Russian language]
  19. Syas'ko V. A., Golubev S. S., Smorodinskiy Ya. G. et al. (2018). Measurement of electromagnetic parameters of thickness measures of metal coatings. *Defektoskopiya, (10)*, pp. 25 – 36. [in Russian language] DOI: 10.1134/S0130308218100044
  20. Salmi M., Magrini A., Gigante G. E., Barra O. A. (1978). *Coating Thickness Measurement by Means of the Radioisotope X-Ray Fluorescence Technique. Isotopenpraxis*. Isotopes in Environmental and Health Studies, Vol. 14 (11), pp. 380 – 381. DOI: 10.1080/10256017808544250
  21. Mashin N. I., Leont'eva A. A., Tumanova A. N., Ershov A. A. (2011). X-ray fluorescence method for determining the thickness of aluminum coating on steel. *Zhurnal prikladnoy spektroskopii, Vol. 78* (3), pp. 454 – 459. [in Russian language] EDN NQXVER.
  22. Syas'ko V. A., Vasil'ev A. Yu. (2021). Pulse magnetic thickness control of metal coatings. *Defektoskopiya, (9)*, pp. 63 – 70. [in Russian language] DOI: 10.31857/S0130308221090074
  23. Ignatova Yu. A., Eritenko A. N., Revenko A. G., Tsvetyanskiy A. L. (2011). X-ray Fluorescence Analysis of Solid State Films and Coatings. *Analitika i kontrol', Vol. 15* (2), pp. 126 – 140. [in Russian language] EDN NUCXSN.
  24. Kazantsev V. V., Medvedevskikh S. V., Vasil'ev A. S. (2018). State primary reference units of surface density and mass fraction of elements in coatings GET 168-2015. *Izmeritel'naya tekhnika, (9)*, pp. 17 – 19. [in Russian language] DOI: 10.32446/0368-1025it-2018-9-17-19. EDN YLFNUL.
  25. Gogolinskiy K. V., Ivkin A. E., Alekhnovich V. V. et al. (2020). Evaluation of accuracy indicators for determining the thickness of coatings by ball abrasion method. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov, Vol. 86* (7), pp. 39 – 44. [in Russian language] DOI: [doi.org/10.26896/1028-6861-2020-86-7-39-44](https://doi.org/10.26896/1028-6861-2020-86-7-39-44)
  26. Gogolinskiy K., Syas'ko V., Umanskiy A. et al. (2019). Mechanical properties measurements with portable hardness testers: advantages, limitations prospects. *Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1384*.
  27. Gogolinskiy K. V., Syas'ko V. A. (2014). Metrological support for dynamic hardness measurement methods in the Russian Federation: existing problems and ways to solve them. *V mire nerazrushayushchego kontrolya, 63*(1), pp. 69 – 75. [in Russian language] EDN RYXGSV.
  28. Useinov A., Gogolinskiy K. (2010). Mechanical properties of ultrafine carbon diamond-like coatings. *Nanoindustriya, (5)*, pp. 54 – 57. [in Russian language] EDN OBQUFD.
  29. Ovchinnikov E. V., Chekan N. M., Eysymont E. I. et al. (2019). High-temperature corrosion-resistant plasma-chemical coatings for tooling. *Vestnik Grodnenskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Yanki Kupaly, Seriya: 6. Tekhnika, Vol. 9, (1)*, pp. 6 – 17. [in Russian language] EDN PPTBRH.
  30. Ashirova A. D., Gogolinskiy K. V., Nikazov A. A. (2020). *Possibilities of application of portable hardness meters for nondestructive control of mechanical properties of coatings*. XXII All-Russian Conference on Non-Destructive Testing and Technical Diagnostics proceedings, pp. 181 – 184. Moscow: Izdatel'skiy dom «Spektr». [in Russian language]
  31. Syas'ko V., Solomenchuk P., Ivkin A., Vasilev A. (2021). *Thickness Inspection of Magnetic Nickel Coatings on Ball Valve Mechanisms*. BINDT NDT 2021 Webinar Week [2A5]. Thickness Inspection of Magnetic Nickel Coatings on Ball Valve Mechanisms (bindt.org). Telford.

#### Для цитирования статьи:

Гоголинский К. В., Алехнович В. В., Ивкин А. Е., Уманский А. С., Соломенчук П. В. Исследование методов входного контроля металлических покрытий шаровой запорной арматуры трубопроводов // Контроль. Диагностика. 2023. Т. 26, № 4. С. 38 – 47. DOI: 10.14489/td.2023.04.pp.038-047

Gogolinskiy K. V., Alekhnovich V. V., Ivkin A. E., Umanskiy A. S., Solomenchuk P. V. (2023). Study of methods of incoming inspection of metal coatings of shut-off valves of pipelines. *Kontrol'. Diagnostika, Vol. 26* (4), pp. 38 – 47. [in Russian language]. DOI: 10.14489/td.2023.04.pp.038-047