

МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ, ВЕЩЕСТВ И ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ / METHODS AND DEVICES FOR CONTROL AND DIAGNOSTICS OF MATERIALS, PRODUCTS, SUBSTANCES AND THE NATURAL ENVIRONMENT

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.128>

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ВЫЯВЛЯЕМОСТИ ПРОДОЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ ПРИ МАГНИТНОМ МЕТОДЕ КОНТРОЛЯ

Научная статья

Шлеенков А.С.¹, Пастухов А.Б.^{2,*}, Губанов Я.В.³

¹ORCID : 0000-0002-6135-1504;

^{1,2} Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, Российская Федерация

³ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (pastukhov[at]imp.uran.ru)

Аннотация

Задача повышения выявляемости продольных внутренних дефектов при магнитной дефектоскопии труб нефтяного сортамента является очень актуальной и до сих пор не получила практического решения. Особенно это касается проблемы выявления дефектов, глубина которых составляет не более 5% от номинальной толщины стенки трубы. Наиболее перспективный способ неразрушающего контроля для решения данной проблемы – метод магнитной дефектоскопии с применением анизотропных магниторезистивных датчиков. На их основе была создана автоматизированная установка, позволяющая считывать топографию магнитных полей рассеяния от продольных внутренних и поверхностных дефектов насосно-компрессорных труб (НКТ) при плавном автоматизированном перемещении матричных преобразователей вдоль образующей трубы со стандартными дефектами, глубиной 3, 5 и 10% от номинальной толщиной стенки. В статье приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие эффективность предложенных рекомендаций.

Ключевые слова: магнитный контроль (MFL), матричный преобразователь, дефекты, отбраковка, рекомендации для повышения выявляемости продольных дефектов внутренней поверхности труб НКТ.

RECOMMENDATIONS TO IMPROVE THE DETECTABILITY OF LONGITUDINAL DEFECTS IN THE INTERNAL SURFACE OF PIPES USING MAGNETIC ANALYSIS INSPECTION

Research article

Shleenkov A.S.¹, Pastukhov A.B.^{2,*}, Gubanov Y.V.³

¹ORCID : 0000-0002-6135-1504;

^{1,2} M. N. Miheev Institute of Metal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation

³ Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation

* Corresponding author (pastukhov[at]imp.uran.ru)

Abstract

The problem of increasing the detectability of longitudinal internal defects during magnetic defectoscopy of oil pipes is very urgent and has not yet received a practical solution. Especially it concerns the problem of detection of defects, the depth of which is not more than 5% of the nominal thickness of the pipe wall. The most promising method of non-destructive testing to solve this problem is the method of magnetic defectoscopy using anisotropic magnetoresistive sensors. On their basis there was created an automated installation allowing to read topography of magnetic scattering fields from longitudinal internal and surface defects of tubing joint (TJ) at smooth automated movement of matrix transducers along the tubing formation with standard defects with depth of 3, 5 and 10% of nominal wall thickness. The article presents the results of experimental studies confirming the effectiveness of the proposed recommendations.

Keywords: magnetic flux leakage (MFL), matrix translator, defects, rejection, recommendations to improve detection of longitudinal defects in the inner surface of tubing joint.

Введение

Известно, что в промышленности наиболее широко распространены системы контроля бесшовных стальных труб диаметром (60-426) мм и толщиной стенки (5–16) мм, основанные на ультразвуковом методе (УЗК) [1], [2]. Однако существуют дефекты, которые выявить ультразвуковым методом затруднительно (например, дефекты внутренней поверхности типа задиры, закат, рванины и другие следы от инструмента, а также внутренние продольные узкие поверхностные трещины глубиной менее 25% от толщины стенки и подповерхностные трещины на малых глубинах) [3]. Это обстоятельство требует встраивания в линию контроля дополнительного дефектоскопа, основанного на другом физическом принципе. Применение в одной связке двух дефектоскопов, основанных на разных физических принципах работы (например, УЗК и метода рассеяния магнитного потока MFL [4], [5], [6]), значительно повышает надежность контроля.

Но при этом часто возникает проблема повышения выявляемости продольных внутренних дефектов при магнитной дефектоскопии горячекатанных и электросварных нефтегазопроводных труб, которая является очень

актуальной [7], [8] и до сих пор не получила удовлетворительного практического решения. Особенно это касается выявления дефектов, глубина которых составляет не более 5% от номинальной толщины стенки трубы. Учитывая, что применяемые в российских компаниях установки фирмы «TuboscopeVetco» [9] эксплуатируются уже не один десяток лет и основные их потребители (НК «Лукойл», ОАО «Сургутнефтегаз», ОАО «Роснефть» и др.) намерены обновить парк средств магнитного НК, целесообразно в рамках проекта по импорт замещению наладить серийный выпуск отечественных высокопроизводительных дефектоскопических комплексов для магнитного контроля качества и разбраковки труб нефтегазового сортамента. Технологическая направленность проекта заключается в повышении производительности и надежности систем контроля качества труб, бывших в эксплуатации, а также контроля насосно-компрессорных труб (НКТ), выпускаемых по ГОСТ 31446–2017(ISO11960:2014) [10] и др. в процессе их изготовления. Для практической реализации данной программы потребовалось провести ряд экспериментальных исследований, результаты которых и приводятся в данной статье.

Образцы для исследований

Образцы для исследований представляют собой патрубки трубы НКТ диаметром 73 мм, толщиной стенки 5,5 и 10 мм соответственно, общий вид образцов представлен на рисунке 1. На одном из образцов (см. рисунок 1а) сделано технологическое отверстие, через которое электроэрозионным методом (EDM) нанесены внутренние продольные дефекты глубиной 0,4 мм (верхний предел чувствительности для внутренних несовершенств, выявляемых методом MFL) и 1,0 мм. Эти дефекты и стали объектами исследования.



Рисунок 1 - Внешний вид образцов труб НКТ и дефектов для исследований:

а – патрубок трубы НКТ диаметром 73 мм с технологическим отверстием, предназначенным для нанесения дефектов внутренней поверхности; б – внешний вид дефекта глубиной 0,4 мм, нанесенного электроэрозионным способом на внутренней поверхности трубы НКТ толщиной стенки 5,5 мм

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.128.1>

Достоинством такой технологии в отличие от изготовления дефектов методом фрезерования является получение искусственных дефектов заданных размеров с прямоугольными границами, повторяющими фактическую геометрию естественных дефектов, что обуславливает повышение их выявляемости при магнитной дефектоскопии реальных труб.

Методика эксперимента и оборудование

Другим способом повышения выявляемости внутренних дефектов является использование разработанных и синтезированных в ИФМ УрО РАН новых однокристалльных тонкопленочных матричных преобразователей [11], [12], основанных на явлении анизотропии магниторезистивного эффекта в тонких ферромагнитных пленках (датчиков типа АМРД с повышенной чувствительностью к продольно ориентированным дефектам). В результате их правильного геометрического расположения, использования дифференциального включения датчиков и оптимальной обработки сигнала с использованием алгоритма, изложенного в работе [12], была успешно решена задача надежного выявления всех недопустимых для труб НКТ дефектов (согласно требованиям НТД).

На этой основе создана автоматизированная установка, позволяющая считывать топографию магнитных полей рассеяния от продольных внутренних и поверхностных дефектов насосно-компрессорных труб при плавном перемещении матричных преобразователей вдоль образующей трубы со стандартными дефектами с помощью «роботизированной» системы.

Установка состоит из оригинального намагничивающего устройства в виде электромагнита с накладными полюсными наконечниками и измерительной позиции, в состав которой входит: «роботизированная» система (линейный двигатель и его блок управления), кассета с магниторезистивными тонкопленочными матричными преобразователями, источники питания, блок предварительного усиления, коммутации и фильтрации сигнала, аналого-цифровой преобразователь и компьютер, оснащенный специализированным программным обеспечением. На данной установке путем совершенствования конструкции магнитного датчика, осуществления оптимальной фильтрации сигнала, а также применения разработанных алгоритмов удалось обеспечить выявление внутреннего дефекта глубиной 5% от толщины стенки трубы с соотношением сигнал/шум не менее 3.

Измерения проводились на образцах труб НКТ диаметром 73 мм, толщиной стенки 5,5 и 10 мм соответственно при плавном автоматизированном перемещении матричных преобразователей вдоль образующей трубы со стандартными продольными внутренними и поверхностными дефектами, глубиной 3; 5 и 10% от номинальной толщиной стенки. Образец при этом был установлен между полюсами электромагнита постоянного тока с поперечным расположением дефектов относительно намагничивающего поля.

Экспериментальные результаты и обсуждение

В работе достигнуты положительные результаты решения проблемы надежного выявления продольных дефектов, нанесенных на внутренней поверхности труб НКТ. Свидетельством этому служит рисунок 2, на котором приведена дефектограмма, подтверждающая факт возможности обнаружения искусственного внутреннего дефекта, показанного на рисунке 16.

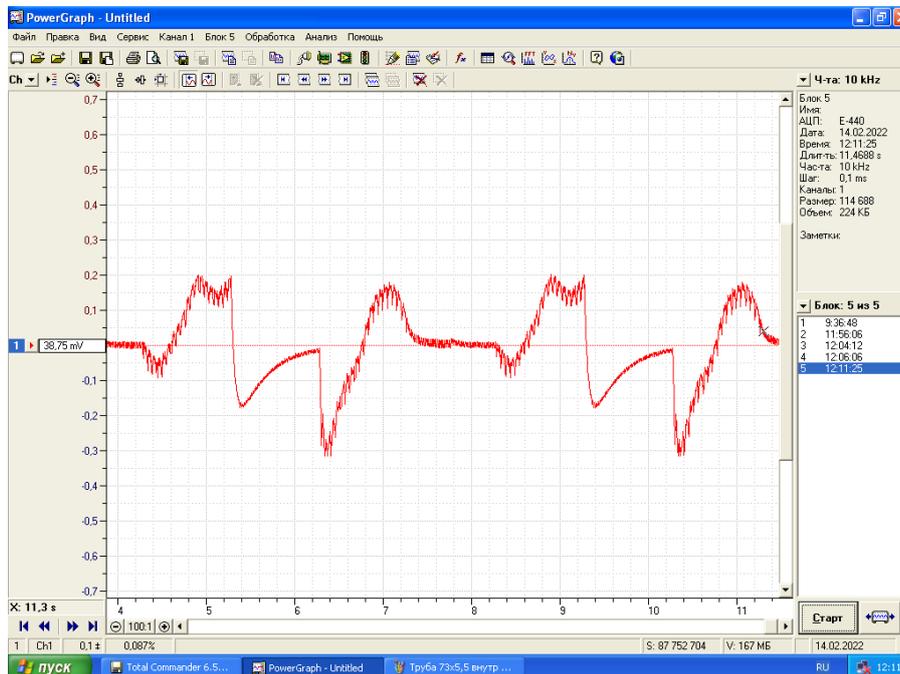


Рисунок 2 - Диаграмма сигнала от дефекта глубиной 0,4 мм, нанесенного электроэрозионным способом на внутренней поверхности патрубка трубы НКТ диаметром 73 толщиной стенки 5,5 мм при многократном автоматизированном сканировании дефектной области дифференциальным магниторезистивным датчиком
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.128.2>

На рисунке 3 приведена дефектограмма сигнала, подтверждающая успешное выявление продольного искусственного внутреннего дефекта глубиной 1,0 мм.

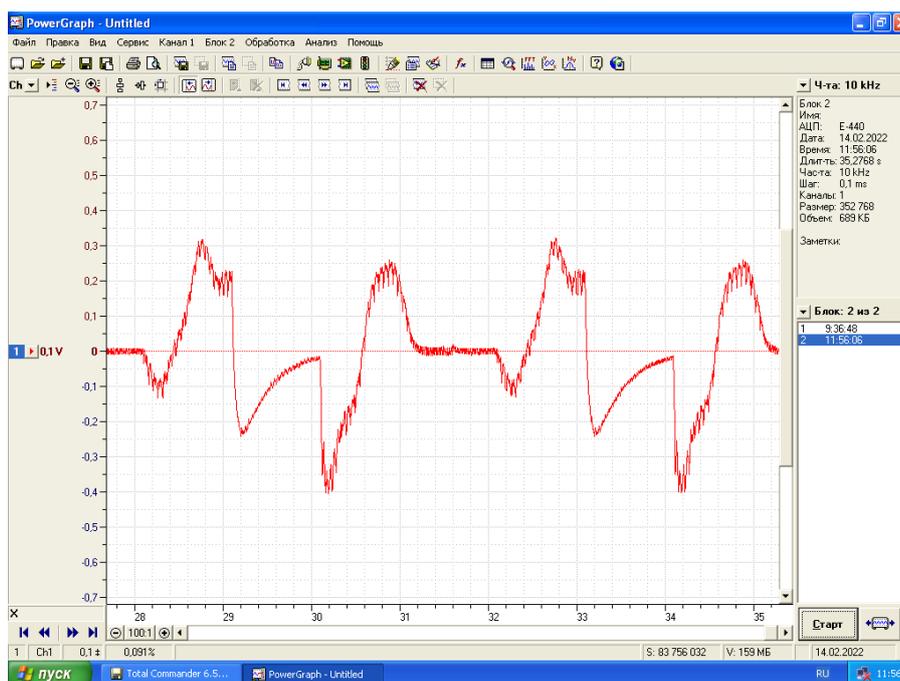


Рисунок 3 - Диаграмма сигнала от дефекта глубиной 1,0 мм, нанесенного электроэрозионным способом на внутренней поверхности патрубка трубы НКТ диаметром 73 мм, толщиной стенки 5,5 мм при многократном автоматизированном сканировании дефектной области дифференциальным магниторезистивным датчиком
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.128.3>

Кроме того, в процессе исследований был изучен вопрос о выявляемости поверхностных стандартных дефектов, нанесенных на внешней поверхности трубы НКТ диаметром 73 мм, толщиной стенки 10 мм. На рисунке 4 приведена дефектограмма, от поверхностного дефекта глубиной 0,5 мм. Из рисунков 2-4 следует вывод о надежном выявлении указанных дефектов магнитным методом. При этом следует подчеркнуть факт возможности обнаружения поверхностных дефектов глубина которых составляет всего лишь 3% от номинальной толщины стенки трубы.

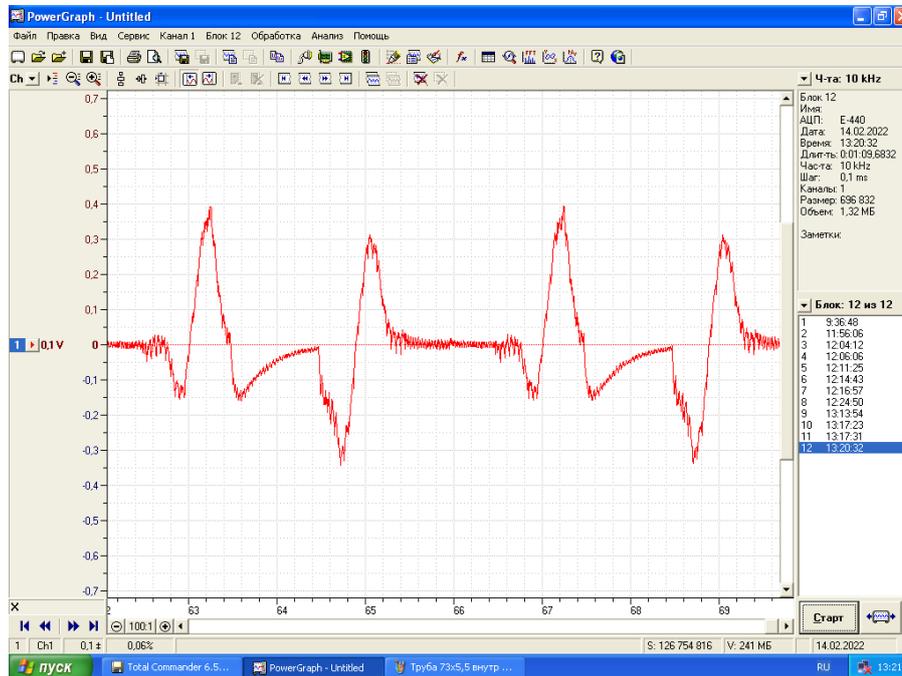


Рисунок 4 - Диаграмма сигнала от поверхностного дефекта глубиной 0,5мм, нанесенного на трубе НКТ диаметром 73 мм, толщиной стенки 10 мм при многократном автоматизированном сканировании дефектной области дифференциальным магниторезистивным датчиком
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.128.4>

Заключение

В статье проанализированы результаты экспериментальных исследований, проведенных на образцах труб НКТ диаметром 73 мм, толщиной стенки 5,5 и 10 мм соответственно, с целью изучения возможности обнаружения продольных внутренних и поверхностных дефектов магнитным методом НК. По результатам проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Рекомендуется использовать электроэрозионный метод изготовления стандартных образцов. В этом случае удастся через технологическое отверстие нанести внутренние продольные дефекты требуемых ГОСТ 31446 – 2017 (ISO 11960:2014) размеров. Достоинством такой технологии в отличие от изготовления дефектов методом фрезерования является получение искусственных дефектов заданных размеров с прямоугольными границами, повторяющими фактическую геометрию естественных дефектов, что обуславливает повышение их выявляемости при магнитной дефектоскопии реальных труб.

2. Поставленная цель может быть также достигнута за счет применения, разработанных и синтезированных в ИФМ УрО РАН новых однокристалльных тонкопленочных матричных преобразователей на основе анизотропных магниторезистивных датчиков типа АМРД [11] с повышенной чувствительностью к продольно ориентированным дефектам.

3. На основе разработанных технологии и алгоритмов созданы макет установки для магнитной дефектоскопии труб нефтяного сортамента, а также программное обеспечение, позволившие успешно выявлять внутренние продольные дефекты, глубина которых составляет не более 5% от номинальной толщины стенки трубы.

4. Результаты экспериментальных исследований, подтверждают эффективность предложенных рекомендаций. При этом следует подчеркнуть факт возможности обнаружения поверхностных дефектов глубина которых составляет всего лишь 3% от номинальной толщины стенки трубы.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания МИНОБНАУКИ России (тема «Диагностика», номер госрегистрации 122021000030-1).

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The work was performed within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (topic "Diagnostics", state registration number 122021000030-1).

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Автоматизированный контроль труб малого и среднего диаметра. — URL: [http:// www.ultrakraft.ru](http://www.ultrakraft.ru) (дата обращения: 07.04.2018)
2. Krautkramer. — URL: <http://www.GEInspectionTechnologies.com> (accessed: 07.06.2022)
3. Шлеенков А.С. Установка УМД-121 для автоматизированного магнитного контроля качества сварного шва прямошовных электросварных труб диаметром (168-530) мм / А.С. Шлеенков [и др.] // Дефектоскопия. — 2013. — № 5. — С. 3–14.
4. Ферстер Ф. Неразрушающий контроль методом магнитных полей рассеяния. Теоретические и экспериментальные основы выявленных поверхностей дефектов конечной и бесконечной глубины / Ф. Ферстер // Дефектоскопия. — 1982. — № 11. — С. 3–25.
5. Foerster Russland АО. — URL: <http://www.foerster.ru> (дата обращения: 22.05.2018).
6. Magnetic Analysis Corporation. — URL: www.mac-ndt.com (accessed: 02.05.2018)
7. Кудояров Р. У. Повышение выявляемости дефектов сварных швов нефте-газопроводных труб в условиях заводов-изготовителей / Р. У. Кудояров, А. С. Багин, Л. Ю. Могильнер // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. — 2016. — № 4. — С. 78–83.
8. Булычев О.А. Установка УМД-104М для контроля насосно-компрессорных труб повторного применения / О.А. Булычев [и др.] // Дефектоскопия. — 2015. — Т. 11. — С. 3– 13.
9. NOV Tuboscope. — URL: www.nov.com/tuboscope (accessed: 22.05.2018).
10. ГОСТ 31446 – 2017 (ISO 11960:2014). Трубы стальные обсадные и насосно-компрессорные для нефтяной и газовой промышленности. Общитехнические условия. — Москва: Стандартинформ, 2017. — 256 с.
11. Shleenkov A. S. Features and Advantages of Applying Anisotropic Magnetoresistive Field Sensors to Testing the Full Volume of Small- and Medium-Diameter Pipes / A. S. Shleenkov, O. A. Bulychev, S. A. Shleenkov [et al.] // Russian Journal of Nondestructive Testing. — 2020. — V. 56. — P. 417–425.
12. Булычев О.А. Многоканальная магниторезистивная система магнитного контроля бесшовных толстостенных труб / О.А. Булычев, С.А. Шлеенков, А.С. Шлеенков // Дефектоскопия. — 2018. — Т. 10. — С. 58–63.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Avtomatizirovannyj kontrol' trub malogo i srednego diametra [Automated control of small and medium diameter pipes]. — URL: [http:// www.ultrakraft.ru](http://www.ultrakraft.ru) (accessed: 07.04.2018) [in Russian]
2. Krautkramer. — URL: <http://www.GEInspectionTechnologies.com> (accessed: 07.06.2022)
3. Shleenkov A.S. Ustanovka UMD-121 dlja avtomatizirovannogo magnitnogo kontrolja kachestva svarnogo shva prjamoshovnyh jelektrosvarnyh trub diametrom (168-530) mm [Installation of UMD-121 for automated magnetic quality control of the weld of straight-seam electric welded pipes with a diameter (168-530) mm] / A.S. Shleenkov [et al.] // Defektoskopija [Flaw detection]. — 2013. — No. 5. — pp. 3-14. [in Russian]
4. Foerster F. Nerazrushajushhij kontrol' metodom magnitnyh polej rassejanija. Teoreticheskie i jeksperimental'nye osnovy vyjavlennyh poverhnostej defektov konechnoj i beskonechnoj glubiny [Non-destructive testing by the method of magnetic scattering fields. Theoretical and experimental foundations of the revealed surfaces of defects of finite and infinite depth] / F. Foerster // Defektoskopija [Flaw detection]. — 1982. — No. 11. — pp. 3-25. [in Russian]
5. Foerster Russland АО. — URL: <http://www.foerster.ru> (accessed: 22.05.2018). [in Russian]
6. Magnetic Analysis Corporation. — URL: www.mac-ndt.com (accessed: 02.05.2018)
7. Kudoyarov R. U. Povyshenie vyjavljaemosti defektov svarnykh shvov nefte-gazoprovodnyh trub v uslovijah zavodov-izgotovitelej [Increasing the detection of defects in welds of oil and gas pipeline pipes in the conditions of manufacturing plants] / R. U. Kudoyarov, A. S. Bagin, L. Yu. Mogilner // Nauka i tehnologii truboprovodnogo transporta nefiti i nefteproduktov [Science and technology of pipeline transport of oil and petroleum products]. — 2016. — No. 4. — pp. 78-83. [in Russian]
8. Bulychev O.A. Ustanovka UMD-104M dlja kontrolja nasosno-kompressornyh trub povtornogo primenenija [Installation of UMD-104M for control of re-use tubing] / O.A. Bulychev [et al.] // Defektoskopija [Flaw detection]. — 2015. — Vol. 11. — p. 3-13. [in Russian]
9. NOV Tuboscope. — URL: www.nov.com/tuboscope (accessed: 22.05.2018).

10. GOST 31446 – 2017 (ISO 11960:2014). Truby stal'nye obsadnye i nasosno-kompressornye dlja neftjanoj i gazovoj promyshlennosti. Obshhietehnicheskieslovija [Steel casing and tubing pipes for the oil and gas industry. General technical conditions]. — Moscow: Standartinform, 2017. — 256 p. [in Russian]
11. Shleenkov A. S. Features and Advantages of Applying Anisotropic Magnetoresistive Field Sensors to Testing the Full Volume of Small- and Medium-Diameter Pipes / A. S. Shleenkov, O. A. Bulychev, S. A. Shleenkov [et al.] // Russian Journal of Nondestructive Testing. — 2020. — V. 56. — P. 417–425.
12. Bulychev O.A. Mnogokanal'naja magnitorezistivnaja sistema magnitnogo kontrolja besshovnyh tolstostennyh trub [Multichannel magnetoresistive magnetic control system for seamless thick-walled pipes] / O.A. Bulychev, S.A. Shleenkov, A.S. Shleenkov // Defektoskopija [Flaw detection]. — 2018. — vol. 10. — p. 58-63. [in Russian]