

Сухой магнитный дефектоскоп для сканирования труб СМД-Т «САТУРН»

С.В. Юдин¹, И.Н. Багаутдинов², В.А. Грязин², Д.М. Ласточкин²

¹ООО «Антенор», г.Йошкар-Ола

²Поволжский государственный технологический университет

Аннотация: В статье представлено описание выполненной НИР, в рамках которой был исследован сухой магнитный дефектоскоп для сканирования труб СМД-Т «САТУРН», предназначенный для неразрушающего контроля основного и вспомогательного оборудования нефтегазодобывающих комплексов. В результате производственных испытаний опытного образца сухого магнитного дефектоскопа «СМД-Т «САТУРН» были определены его основные технические характеристики и уникальные свойства.

Ключевые слова: трубопровод, диагностика, магнитный дефектоскоп, вспомогательное оборудование, газонефтепровод, опытный образец, испытания, сканирование, магнитное поле.

Магнитный метод контроля основан на регистрации магнитных полей рассеяния, возникающих над дефектами, или на определении магнитных свойств контролируемых изделий [1-3].

Магнитный вид контроля применяется для обнаружения нарушений сплошности (трещин, немагнитных включений и др. дефектов) в поверхностных слоях деталей из ферромагнитных материалов и выявления ферромагнитных включений в деталях из неферромагнитных материалов [4].

Методы, основанные на исследовании магнитных полей рассеяния после их намагничивания получили широкое распространение для обнаружения нарушений сплошности материала основного металла труб и сварных соединений основного и вспомогательного оборудования нефтегазодобывающих комплексов [1-5]. В местах нарушения сплошности происходит перераспределение магнитного потока и резкое изменение характера магнитного поля рассеяния. Характер магнитного поля рассеяния определяется величиной и формой дефекта, глубиной его залегания, а также его ориентацией относительно направления магнитного потока (Инструкция по оценке дефектов труб и соединительных деталей при ремонте и

диагностировании магистральных газопроводов (ОАО «Газпром») и РД 23.040.00-КТН-090-07). Поверхностные дефекты типа трещин, ориентированные перпендикулярно магнитному потоку, вызывают появление наиболее резко выраженных магнитных полей рассеяния. Дефекты, ориентированные вдоль магнитного потока, практически не вызывают появления полей рассеяния.

Операция намагничивания основного металла труб и сварных соединений основного и вспомогательного оборудования нефтегазодобывающих комплексов при этом виде контроля является обязательной. Съём информации может быть осуществлен с полного сечения образца либо с его поверхности. В зависимости от конкретных задач неразрушающего контроля, марки контролируемого материала, требуемой производительности метода могут использоваться те или иные первичные информативные параметры. К числу наиболее распространенных относятся следующие информативные параметры: коэрцитивная сила, намагниченность, индукция (остаточная индукция), магнитная проницаемость, напряженность.

Обзор и анализ существующих наружных магнитных сканеров - дефектоскопов показал [6-14], что при исследовании труб вспомогательного оборудования на наличие продольных и поперечных дефектов следует иметь, как минимум пять моделей сканеров – три для продольного исследования и два для поперечного.

Большинство из них не предназначены для использования на небольших участках труб основного и вспомогательного оборудования нефтегазодобывающих комплексов, так как обладают значительными массо-габаритными размерами и требуют снятия изоляции с тела трубы. По этим же причинам затруднительно их использовать и на отводах (что необходимо для исследования трубопроводов вспомогательного оборудования

нефтегазодобывающих комплексов). Из недостатков также следует отметить необходимость использования кабеля для передачи информации и обеспечения электропитания, что не дает возможность мобильного применения в полевых условиях.

В результате накопленного опыта предприятием ООО "Антенор", г.Йошкар-Ола были инициированы научно-исследовательские работы по разработке конкурентоспособного продукта, обеспечивающего высокую эксплуатационную эффективность основного и вспомогательного оборудования нефтегазодобывающих комплексов на основе неразрушающих технологий мониторинга технического состояния трубопроводного транспорта. Для этого был разработан опытный образец сухого магнитного дефектоскопа (далее СМД) из серии приборов неразрушающего контроля для магнитной дефектоскопии металлургических, строительных и эксплуатационных дефектов в материале элемента трубопроводов, изготовленных из стали, ее сплавов и других ферромагнитных материалов.

Для разработки сухого магнитного дефектоскопа для сканирования труб основного и вспомогательного оборудования нефтегазодобывающих комплексов «СМД-Т «САТУРН», были решены следующие задачи:

1. Разработан комплект конструкторской документации на опытный образец сухого магнитного дефектоскопа для сканирования труб.
 2. Разработана конструкторская документация на стенд для калибровки и испытания опытного образца сухого магнитного дефектоскопа для сканирования труб.
 3. Изготовлен стенд для калибровки и испытания опытного образца сухого магнитного дефектоскопа для сканирования труб.
 4. Изготовлен опытный образец сухого магнитного дефектоскопа для сканирования труб.
-

5. Проведены испытания опытного образца сухого магнитного дефектоскопа для сканирования труб.

6. Доработана конструкторская документация на опытный образец сухого магнитного дефектоскопа для сканирования труб по результатам испытаний.

С учетом особенностей магнитного контроля нарушений сплошности в поверхностных слоях деталей из ферромагнитных материалов основной задачей при конструировании СМД-Т «САТУРН» было обеспечение достаточно мощного магнитного поля, способного не только намагнитить тело трубы, но и обеспечить достаточную силу для удержания сканера на объекте исследования.

Технически были выполнены поисковое конструирование корпуса СМД-Т «САТУРН» и магнитопроводов, а также вспомогательного оборудования для решения поставленной задачи. Ограничительным фактором данной задачи являлось минимальная масса магнитного дефектоскопа и наличие не демонтируемой изоляции на теле трубы.

В результате поискового конструирования корпуса сухого магнитного дефектоскопа для сканирования труб основного и вспомогательного оборудования нефтегазодобывающих комплексов была предложена оптимизированная модель А.020.00.00.00 СМД-Т «САТУРН» представленная на рис. 1 и 2.



Рис. 1. – Вид общий на компьютерную модель А.020.00.00.00 СМД-Т «САТУРН»

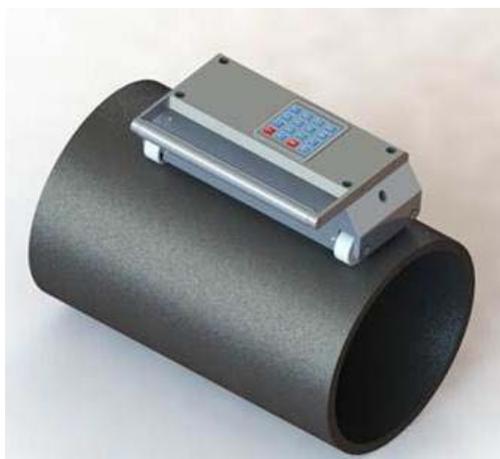


Рис. 2. – Пример расположения модели А.020.00.00.00 СМД-Т «САТУРН» на трубе

Для проведения производственных испытаний, был изготовлен опытный образец сухого магнитного дефектоскопа для сканирования труб.

Конструкция опытного образца модели А.020.00.00.00 представлена на рис. 3.



Рис. 3. – Опытный образец модели А.020.00.00.00 СМД-Т «САТУРН»

Разработанная модель А.020.00.00.00 имеет блочно-модульную конструкцию, позволяющую обеспечить высокую степень ремонтпригодности в полевых условиях, что особенно важно для использования дефектоскопа на объектах трубопроводного транспорта нефти и газа.

Корпус прибора выполнен из ударостойкого материала, обеспечивающего высокую прочность конструкции. На лицевой части корпуса располагается блок ввода кода для сохранения отсканированного участка трубопровода.

Непосредственно на самой плате установлен гироскоп, обеспечивающий контроль положения дефектоскопа на теле трубы. Предварительно апробированные решения с использованием энкодеров были признаны неудачными, вследствие частых проскальзываний колес по изоляции тела трубы. Гироскоп обладает большей эксплуатационной надежностью.

Блок датчиков Холла расположен на выносном подпружиненном основании и закрыт декоративно-защитной крышкой (на рис. 4 показана уже снятая крышка черного цвета).

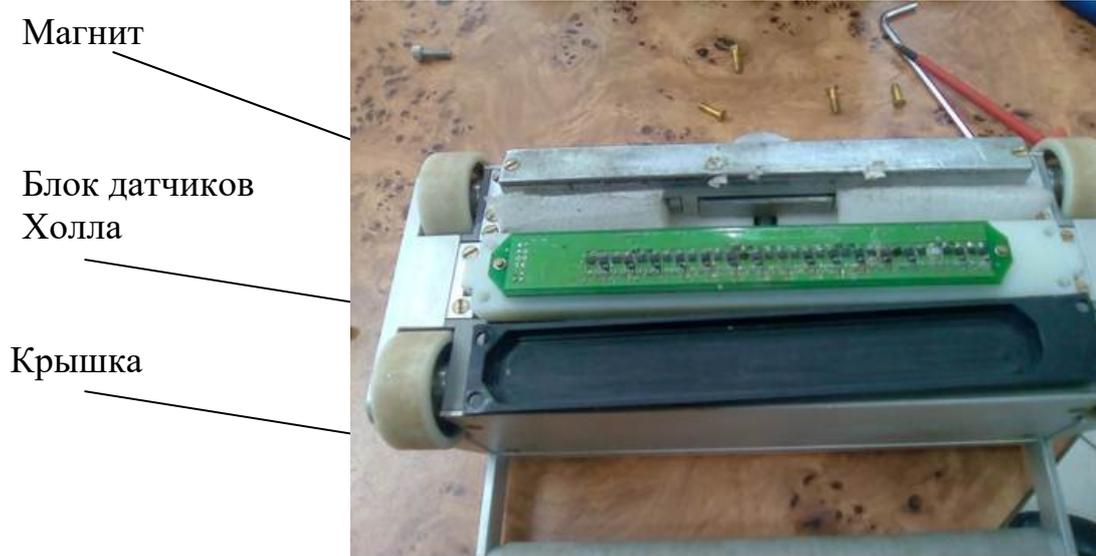


Рис. 4. – Рабочая часть модели А.020.00.00.00

Все ответственные элементы модели А.020.00.00.00 выполнены легкоъемными с возможностью быстрой замены в случае выхода из строя.

Магнит обеспечивает самоудержание прибора на теле трубы, в том числе под слоем изоляционного материала, см. рис. 5.



Рис. 5. – Пример самофиксации прибора на теле трубы из ферромагнитного материала

Для работы сканер СМД-Т «САТУРН» устанавливают на тело исследуемой трубы (без снятия изоляции) и осуществляют прокатывание оператором вручную. Измеряющие датчики измеряют магнитное поле рассеяния над поверхностью исследуемого объекта и передают результаты исследования в блок электроники.

Испытания опытного образца сухого магнитного дефектоскопа для сканирования труб основного и вспомогательного оборудования нефтегазодобывающего комплекса «СМД-Т «САТУРН» проводилось на предприятии ООО «Антенор», г.Йошкар-Ола по специально-разработанной "Программе–методике производственных испытаний".

В процессе испытаний выполнены следующие процедуры:

- Проверка самоудержания дефектоскопа на трубе в нижнем положении на стендах из труб различного диаметра, с нанесенной и без нанесенной изоляцией;
- Определения разрешающей способности и погрешности при измерении величины перемещения дефектоскопа по поверхности труб с нанесенной и без нанесенной изоляции;
- Определения чувствительности дефектоскопа при различной глубине дефектов на внутренней и внешней поверхности трубы с нанесенной и без нанесенной изоляции;
- Определения чувствительности дефектоскопа при различной пространственной ориентации и различной глубине дефектов на внутренней и внешней поверхности трубы с нанесенной и без нанесенной изоляции.

Оценка чувствительности проводилась с фиксацией изменения показателей датчиков Холла, см. рис. 6 – 8.

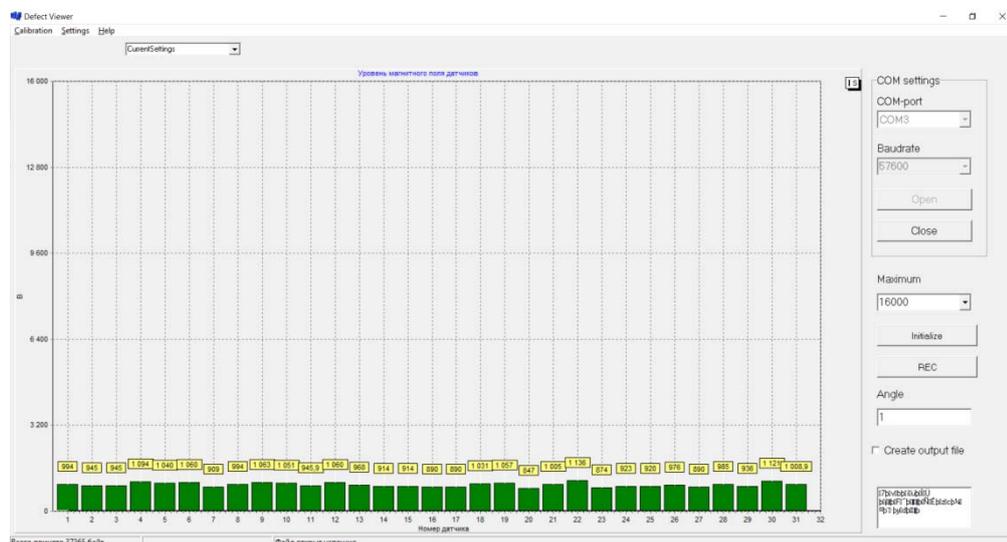


Рис. 6. – Рабочий экран диагностического ПО. Визуализация фиксируемого датчиками магнитного поля без дефектов

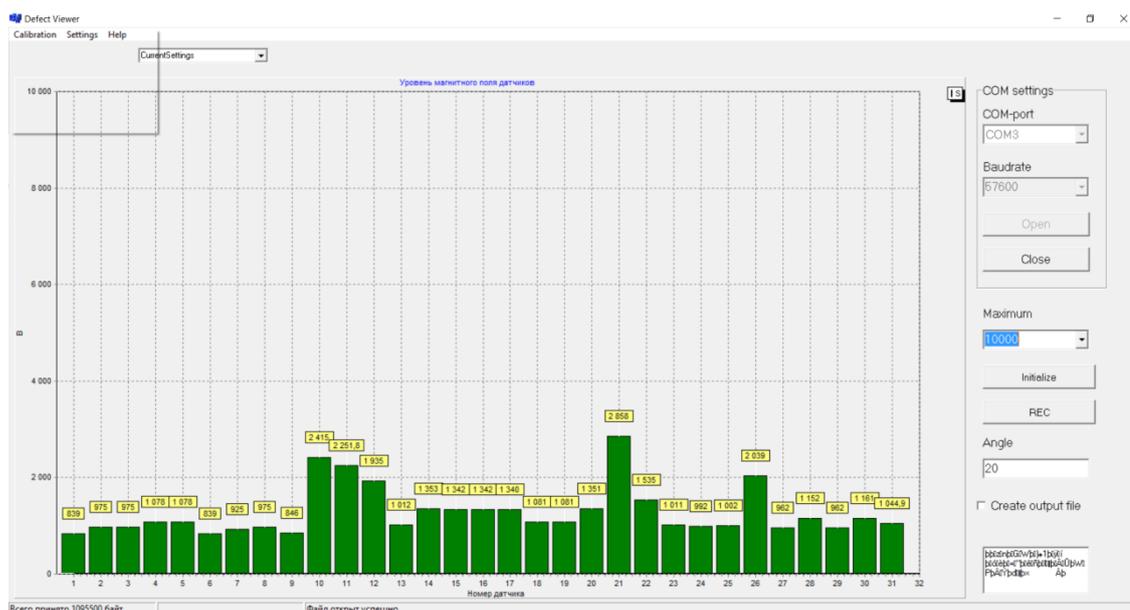


Рис. 7. – Рабочий экран диагностического ПО. Визуализация фиксируемого датчиками магнитного поля с дефектами

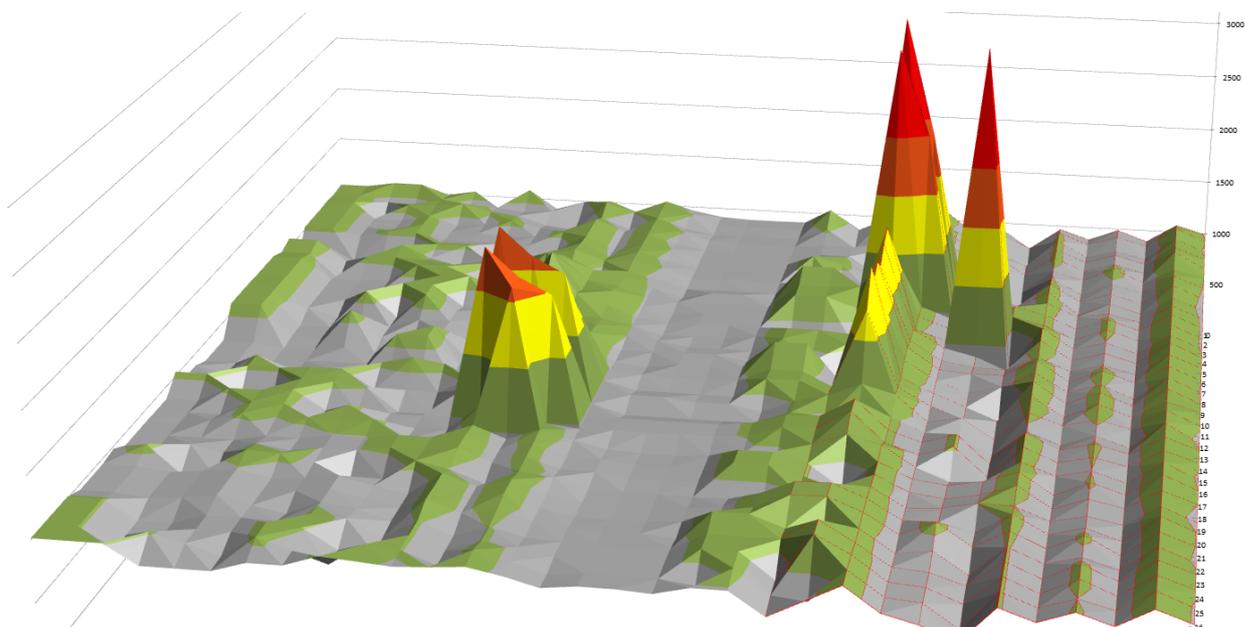


Рис. 8. – Объемная развертка результатов магнитного сканирования

По результатам испытаний было признано, что модель А.020.00.00.00 полностью соответствует заявляемым техническим характеристикам (Таблица 1).

При этом особенно отмечается, что полученная конструкция обладает высокой эксплуатационной надежностью, а достигнутая масса дефектоскопа 3 кг – лучшим показателем для приборов данного типа.

Таблица №1

Результаты производственных испытаний опытного образца сухого магнитного дефектоскопа «СМД-Т «САТУРН»

№ п/п	Требование (характеристика)	Заявленное значение	Значение, полученное в ходе испытаний.
1	Самоудержание дефектоскопа на трубе в нижнем положении на стендах из труб различного диаметра, с нанесенной и без нанесенной изоляцией.	Должен самоудерживаться	Самоудерживается
2	Разрешающая способность при измерении величины перемещения дефектоскопа по поверхности труб без нанесенной изоляции.	$\pm 1^\circ$	$\pm 1^\circ$
3	Погрешность при измерении величины перемещения дефектоскопа по поверхности труб без нанесенной изоляции.	$\pm 15\%$	$\pm 15\%$
4	Разрешающая способность при измерении величины перемещения дефектоскопа по поверхности труб с нанесенной изоляцией.	$\pm 1^\circ$	$\pm (0,5^\circ - 1^\circ)$
5	Погрешность при измерении величины перемещения дефектоскопа по поверхности труб с нанесенной изоляцией.	$\pm 15\%$	$\pm 13\%$
6	Чувствительность дефектоскопа при различной глубине дефектов на внешней поверхности трубы без нанесенной изоляции.	Глубина дефекта не более 30%, от толщины стенки трубы.	Глубина дефекта 20%, от толщины стенки трубы.
7	Чувствительность дефектоскопа при различной глубине дефектов на внутренней поверхности трубы без нанесенной изоляции.	Глубина дефекта не более 30%, от толщины стенки трубы.	Глубина дефекта 30%, от толщины стенки трубы.
8	Чувствительность дефектоскопа при различной глубине дефектов на внешней поверхности трубы с нанесенной изоляцией.	Глубина дефекта не более 30%, от толщины стенки трубы.	Глубина дефекта 35%, от толщины стенки трубы.
9	Чувствительность дефектоскопа при	Глубина дефекта	Глубина дефекта

№ п/п	Требование (характеристика)	Заявленное значение	Значение, полученное в ходе испытаний.
	различной глубине дефектов на внутренней поверхности трубы с нанесенной изоляцией.	не более 30%, от толщины стенки трубы.	45%, от толщины стенки трубы.
10	Чувствительность дефектоскопа при различной пространственной ориентации и глубине дефектов-трещин на внешней поверхности трубы без нанесенной изоляции.	Ориентация 90° или 45°, глубина дефекта не более 30%, от толщины стенки трубы.	Ориентация 90° или 45°, глубина дефекта 20 - 25%, от толщины стенки трубы.
11	Чувствительность дефектоскопа при различной пространственной ориентации и глубине дефектов-трещин на внутренней поверхности трубы без нанесенной изоляции.	Ориентация 90° или 45°, глубина дефекта не более 30%, от толщины стенки трубы.	Ориентация 90° или 45°, глубина дефекта 25 - 30%, от толщины стенки трубы.
12	Чувствительность дефектоскопа при различной пространственной ориентации и глубине дефектов-трещин на внешней поверхности трубы с нанесенной изоляцией.	Ориентация 90° или 45°, глубина дефекта не более 30%, от толщины стенки трубы.	Ориентация 90° или 45°, глубина дефекта 35 - 40%, от толщины стенки трубы.
13	Чувствительность дефектоскопа при различной пространственной ориентации и глубине дефектов-трещин на внутренней поверхности трубы с нанесенной изоляцией.	Ориентация 90° или 45°, глубина дефекта не более 30%, от толщины стенки трубы.	Ориентация 90° или 45°, глубина дефекта 45% и более %, от толщины стенки трубы.

Доработки конструкторской документации на опытный образец СМД-Т «САТУРН» модели А.020.00.00.00 по результатам испытаний не требуется.

Сухой магнитный дефектоскоп «СМД-Т «САТУРН» обладает следующими уникальными свойствами:

- обеспечивает сбор и хранение информации по обнаруженным дефектам на дистанции до 40 км трассы;
- позволяет выполнять обработку собранной информации и уведомление оператора об обнаружении потенциально опасных дефектов в режиме реального времени;
- сохраняет данные по обнаруженным дефектам с привязкой к участку их расположения;

- имеет минимальную массу и габариты в приборах неразрушающего контроля данного класса;
- конструктивно предполагает наличие ручного привода передвижения;
- встроенные магниты обеспечивают самофиксацию СМД-Т «САТУРН» на поверхности трубы под слоем изоляции;
- встроенная система фиксации углового положения СМД-Т «САТУРН» относительно начальной точки трассы и/или вертикальной оси трубы обеспечивают точное определение дефектного участка;
- в качестве дополнительной опции, конструкция СМД-Т «САТУРН» позволяет устанавливать устройство для автоматической маркировки дефектных мест.

Результаты работы рекомендованы к применению в ООО «АНТЕНОР», а также для организаций реального сектора экономики (в том числе Маринет), специализирующихся на изготовлении приборов и оборудования неразрушающего контроля.

Литература

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ.ред. Клюева В.В. Т. 6: В 3 кн.Кн. 1: Клюев В.В., Мужичкий В.Ф., Горкунов Э.С., Щербинин В.Е. Магнитные методы контроля. Кн. 2: Филинов В.Н., Кеткович А.А., Филинов М.В. Оптический контроль. Кн. 3: Матвеев В.И. Радиоволновой контроль. 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. 832 с.
2. Фиговский О.Л., Кудрявцев Н.П., Ольховик Е.О. Устройство для измерения магнитных характеристик ферромагнитных материалов при объемном напряженном состоянии // Инженерный вестник Дона. 2016. №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2016/3740.
3. Голубев А.А., Игнатьев В.К. Измерение тензорных величин магнитного поля в микроструктурном анализе ферромагнитных материалов//



Инженерный вестник Дона, 2011, №3 URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/473.

4. Ключев В.В., Соснин Ф.Р., Филипов В.Н. и др. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник [под ред. В.В. Ключева]. М.: Машиностроение, 2003. 657 с.

5. Герасимова Л.П. Контроль качества сварных и паяных соединений: справ, изд.М.: Интернет Инжиниринг, 2007. 376 с.

6. Синев А.И., Морозов А.К., Братчиков Д.Ю. Дефектоскопия магистральных трубопроводов в реальном времени// Территория Нефтегаз. 2010. №11. С. 34-35.

7. Митрохин М.Ю., Велиюлин И.И., Касьянов А.Н., Городниченко В.И., Королев М.И. Анализ средств и технологий технического диагностирования и отбраковки труб при проведении капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов ОАО "Газпром" // Территория Нефтегаз. 2010.№12. С. 57-60.

8. Коваленко А.Н. Анализ факторов, влияющих на достоверность контроля трубопроводов магнитными дефектоскопами// Контроль. Диагностика. 2013.№8. С. 30-37.

9. Загидулин Р.В., Мужичкий В.Ф. Оценка величины остаточного магнитного поля внутри трубопровода после контроля магнитным дефектоскопом // Дефектоскопия. 2003.7. С. 65-69.

10. Коваленко А.Н. Анализ факторов, влияющих на достоверность контроля трубопроводов магнитными дефектоскопами// Контроль. Диагностика. 2013. № 8. С. 30-37.

11. Елисеев В.Н. Магнитный модуль комбинированного дефектоскопа// Трубопроводный транспорт нефти. 2008. №S6. С. 26-27.

12. Лисин Ю.В., Мирошник А.Д., Краснов А.А. Комбинированный магнитный дефектоскоп// Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2011.№2. С. 90-92.

13. Zhong, X., Zhang, X. Non-destructive testing of steel wire rope using magnetic flux leakage: Principle, sensor design and signal wavelet analysis. [International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology] Volume 17, Issue 26, 2016, 8 p.

14. Bae, S., Lee, H. Quantitative analysis of a steel billet surface flaw detection system by means of a finite element method. [Journal of Electrical Engineering and Technology] Volume 11, Issue 6, November 2016, pp. 1729-1734.

References

1. Nerazrushayushchij kontrol': Spravochnik: V 8 t. Pod obshch.red. Klyueva V.V. T. 6: V 3 kn.Kn. 1: Klyuev V.V., Muzhickij V.F., Gorkunov E.H., Sherbinin V.E. Magnitnye metody kontrolya [Magnetic methods of control]. Kn. 2: Filinov V.N., Ketkovich A.A., Filinov M.V. Opticheskij kontrol' [Optical control]. Kn. 3: Matveev V.I. Radiovolnovoj kontrol'. 2-e izd., ispr. M.: Mashinostroenie, 2006. 832 p.

2. Figovskij O.L., Kudryavcev N.P., Ol'hovik E.O. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2016. №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2016/3740.

3. Golubev A.A., Ignat'ev V.K. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/473.

4. Klyuev V.V., Sosnin F.R., Filipov V.N. i dr. Nerazrushayushchij kontrol' i diagnostika [Non-destructive testing and diagnostics]: Spravochnik [pod red. V.V. Klyueva]. M.:Mashinostroenie, 2003. 657 p.

5. Gerasimova L.P. Kontrol' kachestva svarnyh i payanyh soedinenij [Quality control of welded and soldered joints]: sprav, izd.M.: Internet Inzhiniring, 2007. S376 p.



6. Sinev A.I., Morozov A.K., Bratchikov D.YU. Territoriya Neftegaz. 2010. №11. pp. 34-35.
7. Mitrohin M.YU., Veliyulin I.I., Kas'yanov A.N., Gorodnichenko V.I., Korolev M.I. Territoriya Neftegaz. 2010.№12. pp. 57-60.
8. Kovalenko A.N. Kontrol'. Diagnostika. 2013.№8. pp. 30-37.
9. Zagidulin R.V., Muzhickij V.F. Defektoskopiya. 2003.7. pp. 65-69.
10. Kovalenko A.N. Kontrol'. Diagnostika. 2013. № 8. pp. 30-37.
11. Eliseev V.N. Truboprovodnyj transport nefti. 2008.№S6. pp. 26-27.
12. Lisin YU.V., Miroshnik A.D., Krasnov A.A. Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov. 2011.№2. pp. 90-92.
13. Zhong, X., Zhang, X. Non-destructive testing of steel wire rope using magnetic flux leakage: Principle, sensor design and signal wavelet analysis. [International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology]. Volume 17, Issue 26, 2016, 8 p.
14. Bae, S., Lee, H. Quantitative analysis of a steel billet surface flaw detection system by means of a finite element method. [Journal of Electrical Engineering and Technology]. Volume 11, Issue 6, November 2016, pp. 1729-1734.