

МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

Михалькова Л. А., Щетинин В. А., Ступин А. В., Сарилов М. Ю.
L. A. Mikhalkova, V. S. Shchetinin, A. V. Stupin, M. Yu. Sarilov

**ДИАГНОСТИКА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ НЕФТЕПРОВОДА,
НАХОДЯЩЕГОСЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ**

DIAGNOSTICS OF LINEAR PART OF OIL PIPELINE IN OPERATION

Михалькова Людмила Андреевна – студентка группы 4ОНБ-1 Института компьютерного проектирования машиностроительных технологий и оборудования Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: luda-mikhalkova@mail.ru.

Ms. Ludmila A. Mikhalkova – student group 4 NB-1 Institute of computer-aided design of engineering technologies and equipment of Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: luda-mikhalkova@mail.ru.

Щетинин Владимир Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры машин и аппаратов химических производств Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: schetynin@mail.ru.

Mr. Vladimir S. Shchetinin – Doctor of Engineering, professor of the Department of machines and apparatus of chemical production Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: schetynin@mail.ru.

Ступин Александр Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов химических производств Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: stupin-1959@mail.ru.

Stupin Alexander V. – PhD in Engineering, associate professor of machines and apparatus of chemical production Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: stupin-1959@mail.ru.

Сарилов Михаил Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры машин и аппаратов химических производств Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: sarilov@knastu.ru.

Sarilov Mikhail Urievich – Doctor of Engineering, professor of machines and apparatus of chemical production Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: sarilov@knastu.ru.

Аннотация. Статья посвящена исследованию способов диагностики линейной части нефтепровода, находящейся в эксплуатации. Был выполнен анализ различных вариантов решения поставленной задачи, изучены конструкции дефектоскопов. В данной статье определены технические задачи и намечены пути дальнейшего исследования в этой области.

Summary. The article is devoted to the study of methods for diagnosing the linear part of an oil pipeline in operation. An analysis of various options for solving the problem was performed, and the design of flaw detectors was studied. This article identifies technical challenges and outlines ways for further research in this area.

Ключевые слова: диагностика линейной части нефтепровода, методы диагностики, дефектоскоп, нефтепровод.

Key words: diagnostics of linear part of oil pipeline, methods of diagnosis, flaw detector, pipeline.

УДК 621.6

Нефтеперерабатывающая промышленность является одной из важных составляющих топливно-энергетического сектора экономики Российской Федерации. Нефть и нефтепродукты транспортируются разными способами: железнодорожным, морским, воздушным, автомобильным транспортом или по трубопроводу. Лидирующие позиции занимает трубопроводный транспорт углеводородов – почти 90 % добываемой в настоящее время нефти проходит по трубопроводам [1].

Общая протяжённость трубопроводов в России составляет более 217 тыс. км, причём на долю нефтяных приходится 46,7 тыс. км, газовых – 151 тыс. км [2]. Из общего числа отказов магистральных и промысловых нефтепроводов 28 % приходится на отказы, вызванные коррозионными повреждениями, 27 % – браком строительно-монтажных работ и 23 % – механическими повреждениями [3]. Следовательно, остро стоит вопрос разработки современных методов и средств технической диагностики состояния линейной части трубопровода для выявления и прогнозирования развития различных дефектов труб.

Основными технологическими элементами линейной части магистральных нефтепроводов (МНП) являются трубопроводы с ответвлениями и лупингами, запорная и регулирующая арматура, переходы через естественные и искусственные препятствия, узлы пропуска, пуска и приёма средств очистки и диагностирования (СОД) [4].

Безопасная эксплуатация линейной части МНП должна обеспечиваться периодическим патрулированием трассы нефтепровода; визуальным наблюдением для своевременного обнаружения опасных ситуаций, угрожающих целостности и безопасности нефтепровода и безопасности окружающей среды; комплексным обследованием с использованием средств технического диагностирования (СТД) для определения технического состояния (ТС) всех элементов линейной части МНП. Для оценки ТС линейной части МНП предусмотрены следующие виды технического диагностирования [5]:

- внутритрубное диагностирование (ВТД) в целях выявления дефектов геометрии трубопроводов, дефектов стенки трубы и сварных швов;
- наружное диагностирование методами НК для обследования элементов линейной части МНП, на которых из-за конструктивных особенностей не проводят ВТД;
- электрометрическое диагностирование (ЭД) для оценки состояния изоляционного покрытия, определения коррозионного состояния линейной части МНП, причины и скорости коррозии, оценки состояния средств электрохимической защиты (ЭХЗ).

При невозможности проведения ВТД определение ТС трубопровода осуществляют на следующих основаниях:

- анализа технической документации на трубопровод;
- обследования коррозионного состояния и состояния противокоррозионной защиты трубопровода;
- обследования трубопровода методом акустико-эмиссионного контроля (АЭК);
- проведения дополнительного дефектоскопического контроля (ДДК) на участках трубопроводов с потенциальными дефектами стенки трубы, сварных швов, изоляционного покрытия по результатам АЭК и обследования коррозионного состояния трубопровода;
- проведения визуального и измерительного контроля (ВИК);
- проведения ультразвукового контроля (УЗК);
- проведения ультразвуковой толщинометрии (УТ);
- проведения магнитопорошкового контроля (МК);
- проведения капиллярного контроля.

Внутритрубное диагностирование осуществляется прогоном внутритрубного дефектоскопа по трубопроводу за счёт давления потока жидкости или газа, транспортируемого по нему. Разработчиками внутритрубных инспекционных приборов являются такие компании, как ООО «НПЦ “Внутритрубная диагностика (ВТД)”» [6], АО «Транснефть – Диаскан» [7], ООО «Апродит» [8], ROSEN [9]. Во внутритрубных дефектоскопах реализована магнитная и ультразвуковая дефектоскопия.

Магнитный метод внутритрубной диагностики основан на регистрации магнитных полей рассеяния, образующихся при намагничивании стенки трубопровода. Суть метода в том, что при наличии дефекта в стенке трубопровода часть магнитного потока рассеивается на дефекте, что регистрируется датчиком, расположенным вблизи поверхности трубопровода. Намагничивание стенки трубопровода обеспечивается постоянными магнитами, размещёнными на цилиндрическом ядре, и гибкими металлическими щётками, передающими магнитный поток от магнитов в стенку



трубы. Магнитные дефектоскопы осуществляют продольное (MFL) или поперечное намагничивание (TFI).

Дефектоскопы продольного намагничивания MFL позволяют обнаруживать и регистрировать:

- коррозионные дефекты (общую коррозию, каверны, язвы);
- механические повреждения поперечной ориентации;
- поперечные металлургические дефекты;
- поперечные стресс-коррозионные трещины;
- дефекты кольцевых (монтажных) сварных швов.

Дефектоскопы поперечного намагничивания TFI в отличие от дефектоскопов MFL позволяют обнаруживать и регистрировать продольно ориентированные дефекты. За счёт применения как продольного, так и поперечного намагничивания комбинированные магнитные дефектоскопы (MFL+TFI) позволяют более эффективно и точно обнаруживать различные типы дефектов.

Магнитные внутритрубные интроскопы типа MFL+ способны выявить с фотографической точностью все дефекты любой ориентации на внутренней поверхности стенок труб, включая дефекты геометрии трубопровода. Точность обнаружения дефектов и оценки их размеров на внутренней поверхности труб не зависит от толщины стенок труб.

Диагностический комплекс нового поколения «Дефектоскоп ультразвуковой 28-ДКП.00-00.000» компании АО «Транснефть – Диаскан» [7], предназначенный для многоракурсного исследования стенки трубопроводов диаметром 28"/32", оснащён ультразвуковой измерительной системой, включающей датчики типа CD и WM. В нём впервые применены датчики типа CD, которые имеют несколько углов ввода ультразвукового сигнала в стенку трубы. Использование данных датчиков позволяет получать дополнительную информацию о дефектах в продольном и поперечном направлениях, в том числе и в сварных швах. По сравнению с предыдущими аналогами, в диагностическом комплексе улучшена разрешающая способность измерительной системы WM с 5 мм до 3 мм за счёт увеличения количества датчиков в 1,5 раза.

При внутритрубной диагностике применяют комбинированные магнитно-ультразвуковые дефектоскопы (MFL+WM+CD), позволяющие за один прогон проводить магнитную (MFL) и ультразвуковую (WM и CD) диагностику трубопровода на потери металла и наличие трещин продольной и поперечной ориентации. Это позволяет эффективно сочетать преимущества обоих методов.

Недостаток ультразвуковой дефектоскопии в том, что она требует наличия контактной жидкости для обеспечения акустического контакта между датчиками и контролируемой поверхностью. Это является причиной малой эффективности данных дефектоскопов при инспекции магистральных газопроводов. Данная проблема решается с помощью магнитоакустической внутритрубной диагностики, основанной на электромагнито-акустическом (ЭМА) способе возбуждения и приёма ультразвуковых сдвиговых колебаний в металле контролируемого трубопровода, позволяющем проводить диагностику без применения контактной жидкости.

Магнитоакустические дефектоскопы предназначены:

- для выявления зон различно ориентированных трещин на ранней стадии развития в основном металле и сварных швах;
- регистрации дефектов потери металла и расслоений, оценки их глубины акустическим методом, мониторинга роста коррозионных дефектов;
- определения типа и оценки состояния наружного изоляционного покрытия.

Комбинированные магнитоакустические дефектоскопы серии ДМТ(Б)-А и ДМТП(Б)-А компании ООО «НПЦ “Внутритрубная диагностика (ВТД)”» [6], совмещающие в себе магнитные датчиковые подсистемы сверхвысокого разрешения и многоракурсные ультразвуковые датчиковые подсистемы ЭМА, выдают максимально достоверную информацию о состоянии трубопровода. Отсутствие необходимости в жидкостном контакте ЭМА-преобразователей позволяет равноценно использовать комбинированные магнитоакустические дефектоскопы для контроля нефте- и газопроводов.

На практике часто применяют телескопическую конструкцию трубопроводов (с разными диаметрами). Такие трубопроводы нередко классифицируются как неспособные к поточному кон-

тролю из-за их различного диаметра. Благодаря использованию технологии Multi Diameter Technology компании ROSEN [9], можно значительно сократить расходы и время на проведение внутритрубной инспекции трубопровода. Ключевым элементом технологии ROSEN являются самоцентрирующиеся диагностические снаряды. Различные диаметры приводят к разным перепадам давления и расходам. В этой ситуации условия плавного запуска могут быть достигнуты благодаря технологии управления скоростью компании ROSEN, реализованной в тяговом блоке дефектоскопа (см. рис. 1).

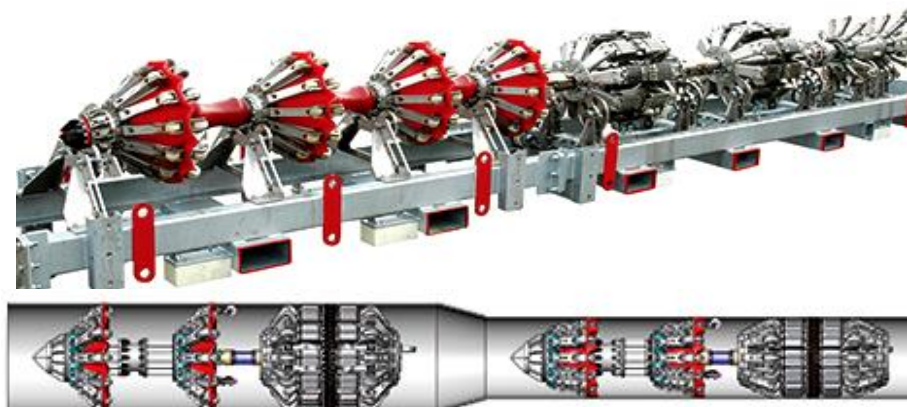


Рис. 1. Внутритрубный дефектоскоп компании ROSEN для контроля телескопических трубопроводов

При внутритрубной диагностике могут возникнуть и другие трудности: невозможность определения места расположения дефекта при испытании сложных, имеющих многослойную структуру изделий; затруднённое прохождение дефектоскопом крутых поворотов трубопровода малого диаметра; недостаточные надёжность и точность в работе; отсутствие стабилизации скорости снаряда и прочие. На практике применяется множество различных конструкций дефектоскопов, поэтому для более глубокого изучения проблем, связанных с работой данных устройств, проводился патентный поиск. В частности, известна конструкция внутритрубного дефектоскопа (см. рис. 2) [10], относящаяся к области контроля технического состояния нефтепроводов и газопроводов. Процесс диагностирования в данном случае осуществляется прогоном данного устройства внутри трубопровода за счёт давления потока нефти или нефтепродуктов, которые транспортируются по трубопроводу. Данное изобретение решает проблему прохождения дефектоскопом крутых поворотов трубопровода малого диаметра благодаря использованию упругого карданного механизма для соединения секций дефектоскопа, а также повышению степени его надёжности в работе по сравнению с аналогами.

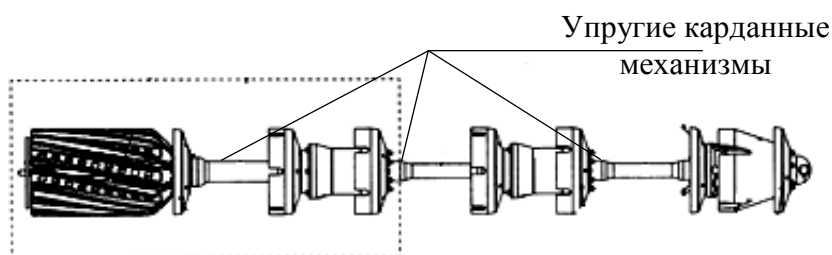


Рис. 2. Эскиз внутритрубного дефектоскопа

Известна конструкция магнитного проходного дефектоскопа (см. рис. 3) [11], относящаяся к области неразрушающего контроля, которая может быть использована для выявления продольных трещин в заглублённых магистральных трубопроводах. Данное изобретение обеспечивает надёжность работы дефектоскопа и достоверность контроля при выявлении продольных трещин на заглублённых в земле трубопроводах, стресс-коррозии на ранней стадии развития, дефектов металлургического производства и коррозионного повреждения.

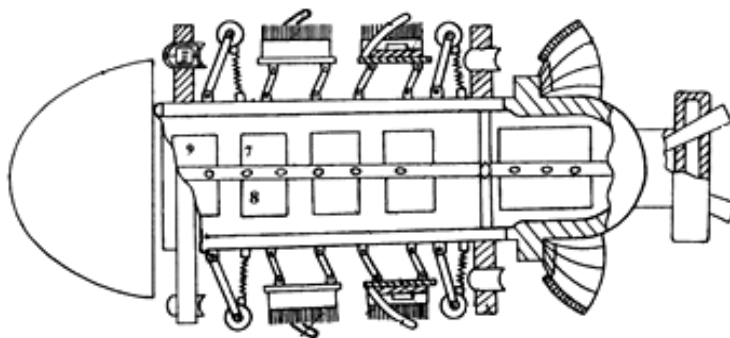


Рис. 3. Эскиз магнитного проходного дефектоскопа

Была также рассмотрена и конструкция внутритрубного прибора-дефектоскопа с изменяемой скоростью движения (см. рис. 4) [12], которая относится к устройствам неразрушающего контроля дефектов стенок магистральных трубопроводов. Изобретение обеспечивает повышение точности дефектоскопии магистральных трубопроводов за счёт повышения точности измерения и стабилизации скорости прибора и упрощения конструкции прибора-дефектоскопа без снижения эффективности перепуска газа.

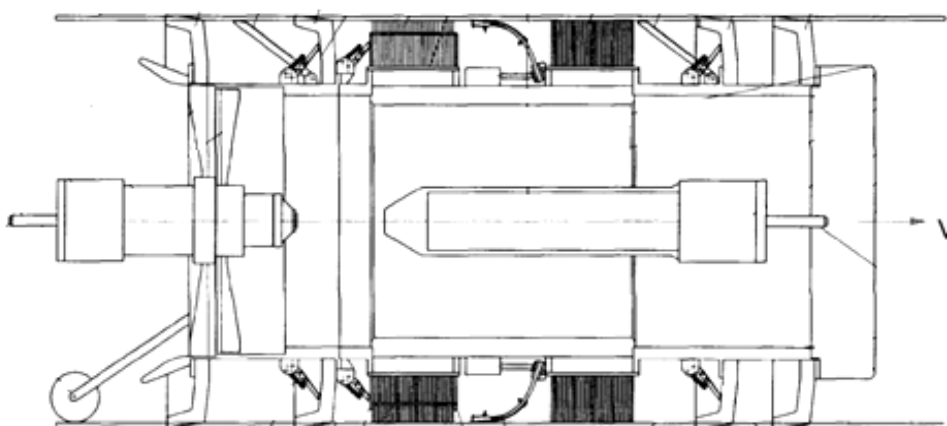


Рис. 4. Эскиз внутритрубного прибора-дефектоскопа с изменяемой скоростью движения

На основе анализа вышеизложенного материала можно заключить, что до сих пор не был разработан дефектоскоп, который смог бы решить сразу весь комплекс диагностики трубопроводов или выявить большую часть дефектов. Данное обстоятельство обуславливает проведение дальнейших исследований для поиска решения данного вопроса.

В настоящее время в КнАГУ проводятся исследования в направлении разработки методов для диагностирования линейной части трубопроводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Транснефть. Способы транспортировки нефти [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://discoverrussia.interfax.ru/wiki/22/>.
2. SYL. Трубопроводный транспорт в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.syl.ru/article/198269/new_truboprovodnyiy-transport-v-rossii.
3. Нефть и газ Сибири. Анализ основных причин аварий, произошедших на магистральных газопроводах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sib-ngs.ru/journals/article/313#modal_w.
4. ГОСТ Р 55435-2013. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Эксплуатация и техническое обслуживание. Основные положения. – Введ. 2013-11-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 49 с.
5. ГОСТ Р 54907-2012. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Техническое диагностирование. Основные положения. – Введ. 2012-05-24. – М.: Стандартинформ, 2012. – 16 с.
6. Научно-производственный центр. Внутритрубная диагностика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.npcvtd.ru/>.
7. АО «Транснефть – Дискан» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://diascan.transneft.ru>.
8. Апродит. Оборудование для очистки и диагностики трубопровода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aprodit.ru>.
9. ROZEN. Empwered by technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.rosen-group.com.
10. Пат. 66479 Российская Федерация, МПК⁷ F17D. Внутритрубный дефектоскоп / И. А. Хитрик, С. Н. Чужинов, Н. Н. Пекарников [и др.]. – заявл. 19.04.07; опубл. 10.09.07 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://poleznayamodel.ru/model/6/66479.html>.
11. Пат. 2144182 Российская Федерация, МПК⁸ G01N27/87. Магнитный проходной дефектоскоп / В. В. Клюев, Г. А. Жукова, Л. А. Хватов; патентообладатель закрытое акционерное общество «МНПО «Спектр»»; заявл. 08.10.98; опубл. 10.01.00.
12. Пат. 2361198 Российская Федерация, МПК⁸ G01N27/87. Внутритрубный снаряд-дефектоскоп с изменяемой скоростью движения / Ю. В. Чеботаревский, А. И. Синев, П. К. Плотников [и др.]; патентообладатель Саратовский государственный технический университет (СГТУ), закрытое акционерное общество «Газприборавтоматикасервис» (ГПАС). – № 2008101340/28; заявл. 09.01.08; опубл. 10.07.09. Бюл. № 19. – 20 с.