

Создание доступной технологии внутритрубной диагностики промышленных трубопроводов малых диаметров



Абакумов А.А.
к.т.н., доцент,
заместитель
генерального
директора ООО
«ИНТРОН ПЛЮС»



Максимов Г.Л.
начальник управления
эксплуатации
трубопроводных
систем Департамента
добычи нефти и газа
ПАО «Газпром нефть»



Носов Ф.В.
руководитель направления по
контролю качества и диагностике
Управления эксплуатации
трубопроводных систем
Управления добычи нефти и газа
Департамента добычи нефти и
газа ПАО «Газпром нефть»



Шушаков А.А.
начальник
Департамента
добычи нефти и
газа Дирекции по
добыче БРД ПАО
«Газпром нефть»

В публикации рассмотрена проблематика внедрения технологии внутритрубной диагностики на промышленных трубопроводах малых диаметров. Обоснована необходимость создания оптимизированных средств внутритрубной диагностики для нефтегазодобывающих компаний. Дано описание концепции создания внутритрубных индикаторов дефектов (ВИД), основанной на использовании электромагнитных и гальваномагнитных преобразователей с намагничиванием постоянным магнитным полем. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований достигнута основная цель работы: созданы средства контроля, позволяющие осуществлять внутритрубное диагностирование трубопроводов малого диаметра, в том числе 114 мм и 159 мм, использующие гальваномагнитные и вихретоковые датчики для регистрации дефектов, созданы системы намагничивания без использования «щеток», а также с применением специальных «магнитных концентраторов». Представлены итоги и масштабы реализации оригинальных технологий, не имеющих аналогов в России.

Ключевые слова/ Keywords

- Внутритрубная диагностика, промышленный трубопровод, магнитный метод контроля, намагничивание, намагничивающее устройство, дефект, патент, датчик, безопасность, аттестация и сертификация, испытания, программное обеспечение, интерпретация
- In-line inspection, oilfield pipeline, magnetic flux leakage method, magnetization, magnetizing device, defect, patent, sensor, security, certification, testing, software, interpretation

Введение

В качестве инструментов снижения уровня аварийности промышленных трубопроводов в органах государственного управления [1] и общественных организациях рассматривается ужесточение законодательных актов экологического плана и интенсивное обновление парка трубопроводов.

Опыт ПАО «Газпром нефть» показывает, что замена высокоаварийных трубопроводов способна быстро остановить системный поток отказов, исчерпавших свой ресурс объектов. Но по мере решения проблемы обеспечения безаварийности, достигаемой за счет регламентной эксплуатации трубопроводов, обо-

стрядется борьба с единичными хатическими отказами внешне благополучного фонда трубопроводов. В качестве одного из наиболее действенных инструментов предотвращения отказов после интенсивного обновления трубопроводного парка рассматривается внутритрубная диагностика (ВТД).

Актуальность

Рынок услуг по ВТД промышленных трубопроводов сформирован зарубежными фирмами или их российскими посредниками. Российские производители средств ВТД ориентированы на работу в сегменте магистрального трубопроводного транспорта и пока не заинтересованы в создании приборов для диагностирования трубопроводов малых диаметров. В тоже время, именно объекты диаметром 114–219 мм дают 64% потока отказов трубопроводов в дочерних обществах ПАО «Газпром нефть».

В настоящее время для диагностического обследования магистральных и промышленных трубопроводов традиционно используются магнитные внутритрубные инспекционные приборы (ВИП). Наряду с хорошей информативностью их применение характеризуется высокой стоимостью обследования. Ориентировочная цена составляет порядка 3–4 тыс. ам. долларов за обследование 1 км трассы трубопровода. Такие цены приемлемы для периодического диагностирования магистральных трубопроводов, транспортирующих малоагрессивные продукты.

Однако другая ситуация складывается при эксплуатации и диагностировании промышленных трубопроводов.

Поддержание их работоспособности и безопасности требует сокращения времени между повторными обследованиями в 2–3 раза. Но при этом осуществлению более частой диагностики, например, совмещенной с операциями пропуска очистных устройств (один или более раз в год), препятствует высокая цена диагностического обследования, а основные затраты связаны с неизменной стоимостью мобилизации при наличии сотен объектов контроля. При низкой цене на нефть «традиционная» внутритрубная диагностика промышленных трубопроводов становится во многих случаях нерентабельной, а ее отсутствие ведет к повышению риска аварий и убытков. В масштабах государства по официальной статистике [2] за 2014 г. вследствие утечек при транзите нефти, газа, нефтепродуктов было нарушено естественное состояние 604,3 га земель, а водным объектам РФ нанесен ущерб в 5 млрд. рублей. Расчетом ущерба от загрязнения земель согласно методике [3] по обозначенному [2] числу отказов в отрасли можно определить, что ущерб единичного среднестатистического отказа на промышленных трубопроводах может составлять около 1,9 млн. рублей. Доступность технологии ВТД определяется ее ценовым балансом с вероятным ущербом

разгерметизации трубопроводов, связанным с их удельной аварийностью и протяженностью.

Постановка задачи

Для повышения доступности ВТД участков трубопроводов малого диаметра и малой протяженности предложено использование оптимизированных средств внутритрубной диагностики и их постоянное базирование в районах нефтедобычи. Для этой цели в рамках НИОКР 2012–2016 года разработаны, так называемые, внутритрубные индикаторы дефектов (ВИД). ВИД обеспечивают выявление критических дефектов, а их низкая стоимость применения позволяет обследовать трубопроводы не один раз в несколько лет, а ежегодно или даже по несколько раз в год.

Целью завершаемых в 2016 году последовательных НИР и ОКР (именуемой далее «проект ВИД») являлось создание внутритрубных индикаторов дефектов для диагностического обследования трубопроводов малого диаметра с возможностью осуществления операций пуска-приема из малогабаритных камер.

Достижение поставленной цели предполагало решение следующих основных задач:



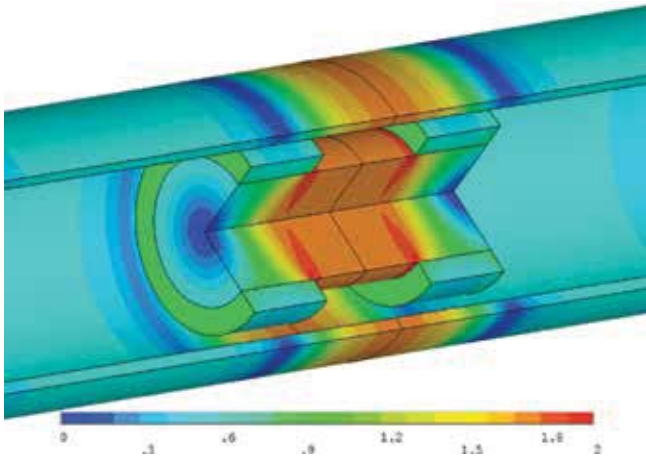


Рис. 1. Распределение модуля магнитной индукции в объеме модели

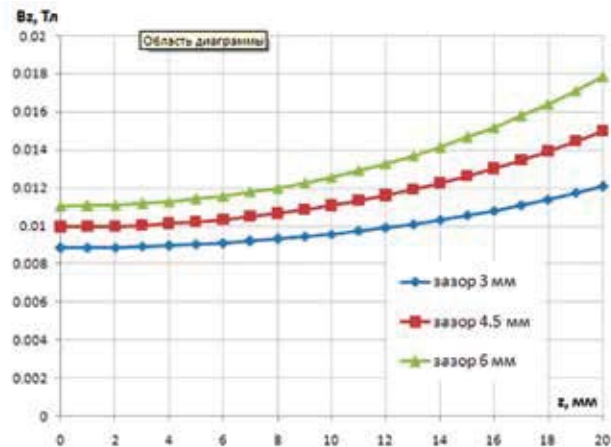


Рис. 2. Анализ распределения осевой компоненты индукции магнитного поля в зоне расположения датчиков

1. Анализ технологий внутритрубной диагностики. Выбор принципа построения ВИД. Формирование технического задания (ТЗ) на разработку ВИД.

2. Выбор технических решений. Обоснование и экспериментальное подтверждение их адекватности. Расчет и конструирование узлов ВИД. Оформление конструкторской и эксплуатационной документации.

3. Изготовление опытных образцов ВИД, их стендовые и промышленные испытания. Оценка параметров ВИД на соответствие ТЗ.

4. Метрологическая сертификация и аттестация взрывобезопасности ВИД.

5. Публикация и патентование результатов работы.

Анализ путей достижения поставленной цели

Перед началом ОКР осуществлен обзор существующих технических решений по внутритрубному диагностическому обследованию промышленных трубопроводов малого диаметра, а также возможных перспективных средств внутритрубной диагностики. Проведенный патентный поиск по отечественным и зарубежным патентным базам показал следующие наиболее рациональные технологии, используемые для разработки ВИД:

- Электромагнитные
- Регистрации утечки магнитного потока (MFL)
- Вихретоковые

Проведенные в рамках договора НИР теоретические и экспериментальные исследования позволили выбрать наиболее предпочтитель-

ный принцип построения ВИД, основанный на применении MFL метода в комбинации с вихретоковым. При этом было обосновано приоритетное использование комплекса гальваномагнитных и вихретоковых датчиков.

В результате проведенной НИР сформулировано ТЗ на разработку ВИД, в котором учтены особенности диагностического обследования промышленных трубопроводов ПАО «Газпром нефть», а также объектов других нефтяных и газовых компаний.

Техническая реализация

В соответствии с ТЗ на разработку осуществлен выбор концепции создания ВИД, основанный на использовании электромагнитных и гальваномагнитных преобразователей с намагничиванием объекта постоянным магнитным полем, разработаны и реализованы частные технические задания на узлы ВИД и ПО, в том числе, измерительную и магнитную систему, бортовую электронику, батарейную секцию, подсистемы навигации, управления и телеметрии, а также программное обеспечение сбора и интерпретации диагностических данных.

Учитывая заданные в ТЗ габаритные требования и условия прохождения узлов ВИД, выбран тип намагничивания и рассчитана магнитная система. Принята наиболее оптимальная в заданных условиях конфигурация намагничивающей системы бесщеточного типа. Компьютерное моделирование узлов ВИД подтвердило возможность создания ВИД с заданными габаритами. На рисунке 1 приведено распределение модуля

магнитной индукции в объеме модели магнитопровода. При этом в числе прочих исследований проведен анализ распределения осевой компоненты индукции магнитного поля в зоне расположения датчиков (рисунок 2), подтверждающий заданный уровень намагничивания трубопровода.

Расчеты и анализ влияния дефектов на распределение магнитного поля осуществлены с использованием типовой модели, приведенной на рисунке 3. Получаемый при этом характерный вид сигнала при фиксации осевой компоненты поля рассеяния, показанный на рисунке 4, подтверждает достаточный для его регистрации уровень.

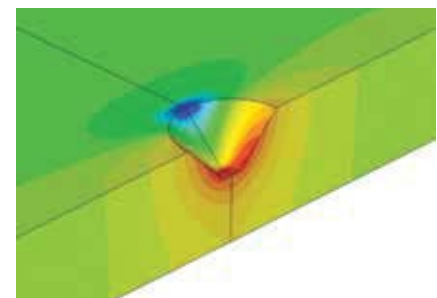


Рис. 3. Расчеты и анализ влияния дефектов на распределение магнитного поля осуществлено с использованием типовой модели

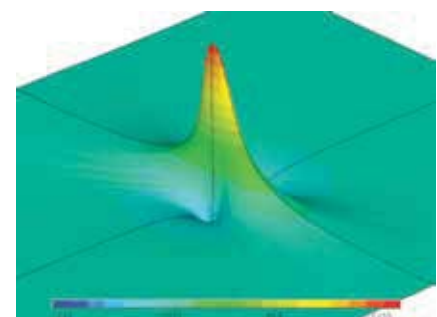


Рис. 4. Вид сигнала при фиксации осевой компоненты поля рассеяния

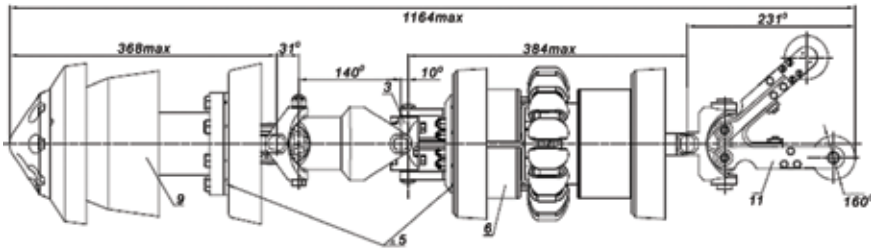


Рис. 5. Чертеж прибора ВИД219

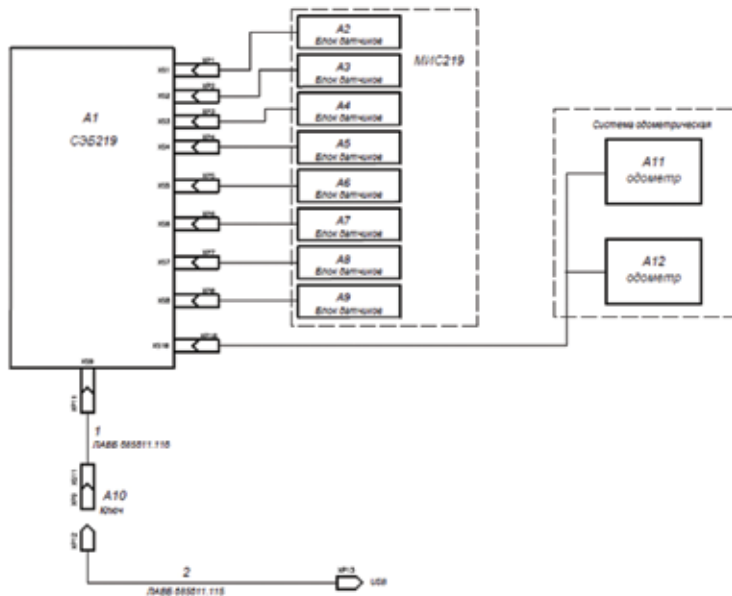


Рис. 6. Фрагмент КД с блок-схемой ВИД219

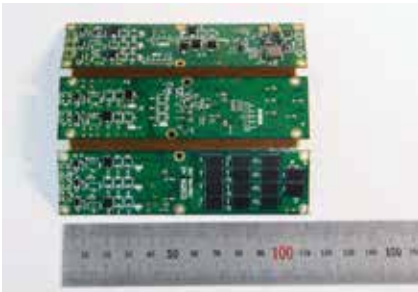


Рис. 7. Бортовая электроника



Рис. 8. ВИД219



Рис. 9. Образцы труб с искусственными дефектами

товленных и аттестованных образцов труб с искусственными дефектами (рисунок 9), подтверждающие работоспособность приборов в реальных промышленных условиях.

На объектах ПАО «Газпром нефть» осуществлена опытно-промышленная эксплуатация. В общей сложности осуществлено более 20 пропусков ВИД, в результате которых были подтверждены их заданные эксплуатационные возможности.

По результатам разработки и испытания приборов для подтверждения новизны научной идеи и установления приоритета подготовлены и поданы две заявки на патенты.

Аттестация ВИД

Для подтверждения метрологических характеристик и безопасности ВИД осуществлена их сертификация и аттестация на соответствие требованиям Таможенного союза. Для этого были специально изготовлены аттестованные образцы трубопроводов с эталонными дефектами и проведены взрывотехнические испытания на соответствие приборов наивысшему уровню безопасности «0». Все испытания признаны успешными, сертификационные документы получены.

Научная и практическая ценность

При выполнении НИОКР разработаны и научно обоснованы следующие оригинальные технологии, не имеющие аналогов в России:

Согласно ТЗ разработан комплект конструкторской и эксплуатационной документации (КД и ЭД) на линейку ВИД, предназначенных для диагностического обследования трубопроводов номинальным диаметром 114, 159, 168 и 219 мм. На рисунке 5 приведен чертеж прибора ВИД219. Фрагмент КД с блок-схемой ВИД219 дан на рисунке 6. Бортовая электроника (рисунок 7) размещена в одном конструктивном модуле в компактном исполнении вместе с источником питания и выполнена на современном технологическом уровне.

В соответствии с КД были разработаны опытные образцы ВИД и осу-

ществлены их стендовые и промышленные испытания. Фотография ВИД219 показана на рисунке 8.

Экспериментальная база

Для осуществления экспериментальных исследований, отработки на практике принятых технических решений, а также проверки параметров отдельных блоков и всего ВИД в целом использованы стенд «сухой протяжки» (ССП) и опытная экспериментальная база исполнителя проекта ООО «ИНТРОН ПЛЮС» и ПАО «Газпром нефть». На базе SSP осуществлены тестовые пропуски ВИД с использованием специально подго-



1. Приборы, позволяющие осуществлять внутритрубное диагностирование трубопроводов малого диаметра, в том числе, 114 мм и 159 мм, использующие гальваномагнитные и вихретоковые датчики для регистрации дефектов;

2. Системы намагничивания без использования «щеток», а также с применением специальных «магнитных концентраторов»;

3. Программное обеспечение, позволяющее осуществлять автоматический поиск, идентификацию и оценку дефектов трубопровода.

Достоверность полученных результатов обеспечена корректно проведенными расчетами с использованием методов теории электрических цепей и электромагнитного поля, применением методов конечно-элементного моделирования, экспериментальных методов подтверждения результатов теоретических исследований, опытом практического использования разработанных ВИД на объектах.

В рамках проекта ВИД впервые созданы и прошли опытно-промышленные испытания внутритрубные приборы для диагностического об-

следования трубопроводов малого диаметра от 114 до 219 мм, позволяющие осуществлять обследование трубопроводов с отводами до 1,5D, осуществлена метрологическая аттестация линейки ВИД и получены сертификаты соответствия Технологическому регламенту Таможенного союза по безопасности.

Начато коммерческое использование разработки. Выполненные работы уже показывают высокую эффективность и полезность.

1. О проблемах обеспечения экологической безопасности при пользовании недрами на территории Российской Федерации и ее континентальном шельфе. Доклад Министра природных ресурсов и экологии РФ С. Донского на заседании Комиссии по вопросам стратегии развития топливно-энергетического комплекса и экологической документации 25.02.2014 г. <http://www.mnr.gov.ru/mnr/minister/statement/detail.php?ID=133886>
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 году», http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/b27/gosdoklad_2015.pdf
3. Приказ Минприроды РФ от 08.07.2010 N 238 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды». Зарегистрировано в Минюсте РФ 07.09.2010 N 18364.
4. Носов Ф.В. ВИД на трубу // журнал «Сибирская нефть», 2016 г., №128, С. 36-39.

Выводы

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований достигнута основная цель работы - созданы внутритрубные индикаторы дефектов (ВИД) для диагностического обследования трубопроводов малого диаметра [4].

1. В процессе достижения поставленной цели проекта ВИД были решены не только указанные выше научные, но и практические задачи по оценке технического состояния трубопроводов. А именно получены кондиционные технические отчеты с дефектными ведомостями по 8-ми нефтесборным объектам, включая трубопроводы, оборудованные малогабаритными камерами. Еще 20 объектов будет обследовано уже в текущем году.
2. Объекты нового строительства теперь будут проектироваться и оборудоваться камерами пуска-приема с учетом габаритов и возможностей пропуска ВИД.
3. Масштаб внедрения внутритрубной диагностики определяется на начало 2016 года наличием 97 объектов диаметром 114-219 мм, обеспеченных камерами пуска средств очистки и диагностики.
4. Социальная ответственность ПАО «Газпром нефть» определяет отсутствие ее намерений монополизировать результаты своей НИОКР по проекту ВИД. Результаты работы будут доступны для всех нефтегазодобывающих компаний.
5. В целом, экономическая доступность технологии ВТД для промысловых трубопроводов обеспечивается не только необходимой и достаточной простотой дефектоскопа ВИД, большим пулом контролепригодных объектов, но и уменьшением площадей землеотвода под укороченные камеры меньшей металлоемкости.
6. Владельцы промысловых трубопроводов, учитывая уровень цен ВТД, вынуждены заказывать единичные обследования, в то время как рынок ВТД промысловых трубопроводов России огромен и давно требует оптовых цен. Проект ВИД позволяет сфокусировать действия управлений эксплуатации трубопроводных систем дочерних обществ ПАО «Газпром нефть» на упреждающем точечном ремонте трубопроводов. В настоящее время идет подготовка кадров для эксплуатации приборов серии ВИД собственными силами. Следует отметить что ПАО «Газпром нефть» не планирует проектов по расширению линейки типоразмерного ряда ВИД более 219 мм, сохраняя приверженность к традиционной практике приобретения услуг ВТД у любого из участников рынка, стремящегося к снижению цены.