

УДК 620.192

П.В. Бурков, С.П. Буркова, В.Ю. Тимофеев, А.А. Ащеурова, Д.А. Захаров

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ДЕФЕКТОСКОПА С ТРУБОПРОВОДОМ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Одной из серьезных проблем в современном газопроводном транспорте это наличие скрытых дефектов стенок трубопроводов, не обнаруженных при проведении диагностических работ. Последствия таких дефектов совершенно непредсказуемые и могут привести к техногенным катастрофам, поэтому все больше развиваются методы диагностики трубопроводов, в том числе и внутритрубная диагностика с применением дефектоскопов.

В настоящее время для внутритрубной диагностики газопроводов используются, в основном, магнитные дефектоскопы (магнисканы) (рис. 1).



*Rис. 1. Магнитный дефектоскоп (магнискан)*

Однако существует ряд технических проблем, связанных с применением данного метода, такие как: при большой скорости движения магнискана невозможно записать показания датчиков с достаточной дискретностью, кроме того, происходит «отскок» датчиков от стенки трубы из-за ударов о сварные швы и другие неровности, также, одна из существенных проблем, это остановка магнискана внутри трубопровода при движении. Основными препятствиями при движении магнискана при внутритрубной диагностики трубопроводов являются сварныестыки, выполненные на подкладных кольцах или внахлест. Причем эти препятствия практически невозможно ликвидировать без демонтажа трубопровода [1]. В то же время невозможность внутритрубной диагностики не может служить достаточным основанием для демонтажа трубопровода, поскольку аварийность на многих из них не выше средних показателей системы в целом, поэтому вероятность пропуска опасного дефекта сильно возрастает на тех участках трубы, где на внутренней полости имеются препятствия и где скорость движения магнискана превышает максимальную допустимую данной технологией

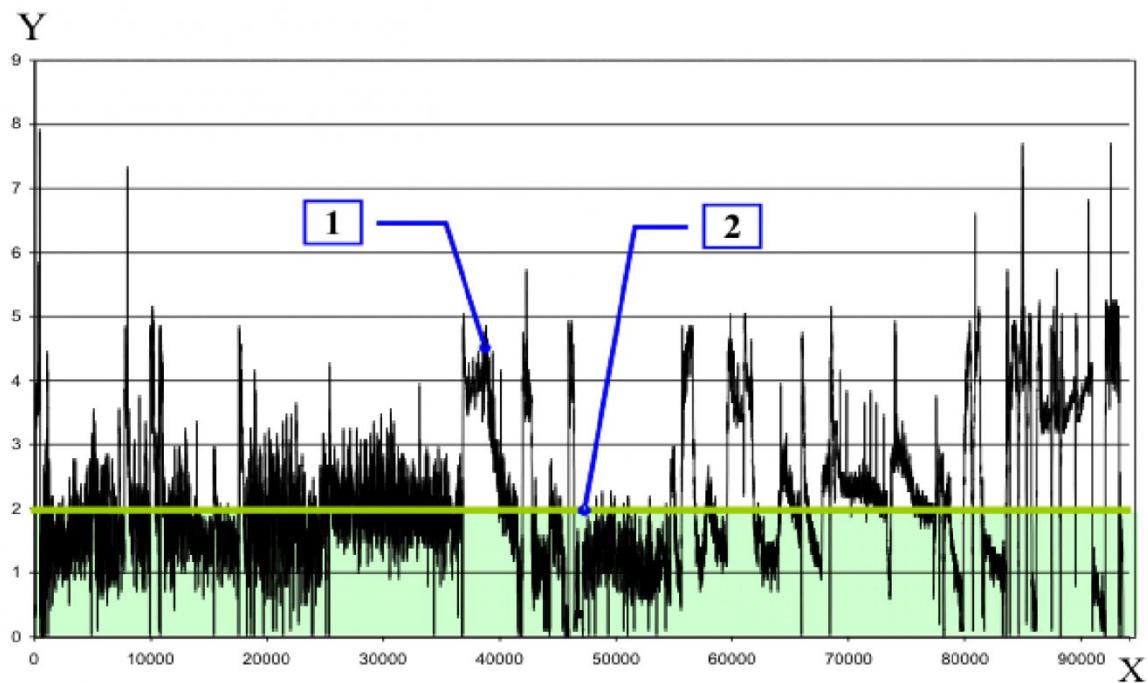
скорость [2]. Неравномерность движения и остановки магнискана, также, являются основной причиной неудовлетворительных результатов обнаружения дефектов при внутритрубной диагностике газопроводов. В результате чего большие участки газопровода диагностические снаряды проходят со скоростью, значительно превышающей скорость надежной регистрации дефектов стенок трубы.

Диагностика газопроводов низкого и среднего давления вызывает серьезные технологические трудности, основная причина которых это невозможность обеспечить плавное движение очистных и диагностических внутритрубных снарядов в сжимаемой газовой среде. Следовательно, эта проблема особенно актуальна для газоотводов, менее актуальна для магистральных газопроводов и практически отсутствует на нефтепроводах, т.к. чем меньше сжимаемость и больше плотность перекачиваемого продукта, тем менее вероятны пульсации движения.

На рис.2 представлен график колебания скорости движения внутритрубного диагностического дефектоскопа, где можно отметить, что при движении магнискана в газопроводе с малым давлением и расходом газа происходит пульсация скорости движения. Детальный анализ показывает, что остановки происходят в местах сужения трубопровода [1, 3].

Причиной остановок снаряда являются даже незначительные сужения вызванные кольцевыми сварными швами. В местах сужения происходит контакт датчиков с внутренней поверхностью трубопровода, при этом возрастает сила трения. Чтобы снаряд начал снова движение после остановки, за ним должно возрасти давление, которое даст силу для преодоления этой трения на участках контакта магнискана и трубопровода. После сграживания снаряда весь запас потенциальной энергии сжатого газа переходит в кинетическую энергию снаряда. Снаряд набирает значительную скорость и только через какое-то время начинает замедляться. В результате большие участки газопровода диагностические снаряды проходят со скоростью, значительно превышающей скорость надежной регистрации дефектов стенок трубы.

В снарядах-поршнях традиционной конструкции реализация плавного продвижения через сужения трубопровода, также, практически невозможна. Резкие изменения скорости приводят к потере диагностических данных на многих участках газопровода [4]. В связи с этим внутритрубная диагностика газоотводов среднего давления если и

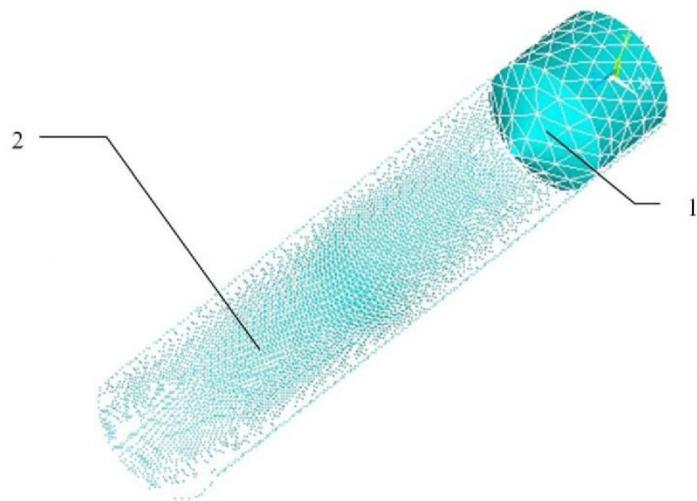


1 – реальная скорость движения магнискана по записи от бортовых одометров (экстремумы графика до 7,5 м/с и выше); 2 – максимально возможная скорость, при которой происходит надежная диагностика дефектов ( $V_{max}=2$  м/с); ось X – пройденная диагностическим снарядом дистанция в метрах; ось Y – скорость движения снаряда в м/с.

*Рис. 2. График скорости движения диагностического дефектоскопа в газоотводе*

проводится снарядами–поршнями традиционной конструкции, то полученные данные не могут обеспечить надежную оценку прочности газопровода. Это обстоятельство существенно повышает вероятность аварий на газоотводах, т.к. именно полнота данных собираемых при внутритрубной диагностике является необходимым условием безопасности эксплуатации по состоянию газоотвода, и именно такой подход к эксплуатации трубопроводной системы официально принят в России и других странах.

В настоящее время один из способов изучения процесса взаимодействия диагностического дефектоскопа это моделирование в программных системах конечно-элементного анализа. Современные компьютерные программы при помощи метода конечных элементов (МКЭ) позволяют выполнять расчеты систем, имеющих сложную геометрическую конфигурацию и нерегулярную физическую структуру. МКЭ является одним из численных методов, реализованный в программном комплексе ANSYS [5].



1 – модель магнискана; 2 – модель трубы.

*Рис. 3. Модель взаимодействия дефектоскопа при внутритрубной дефектоскопии*

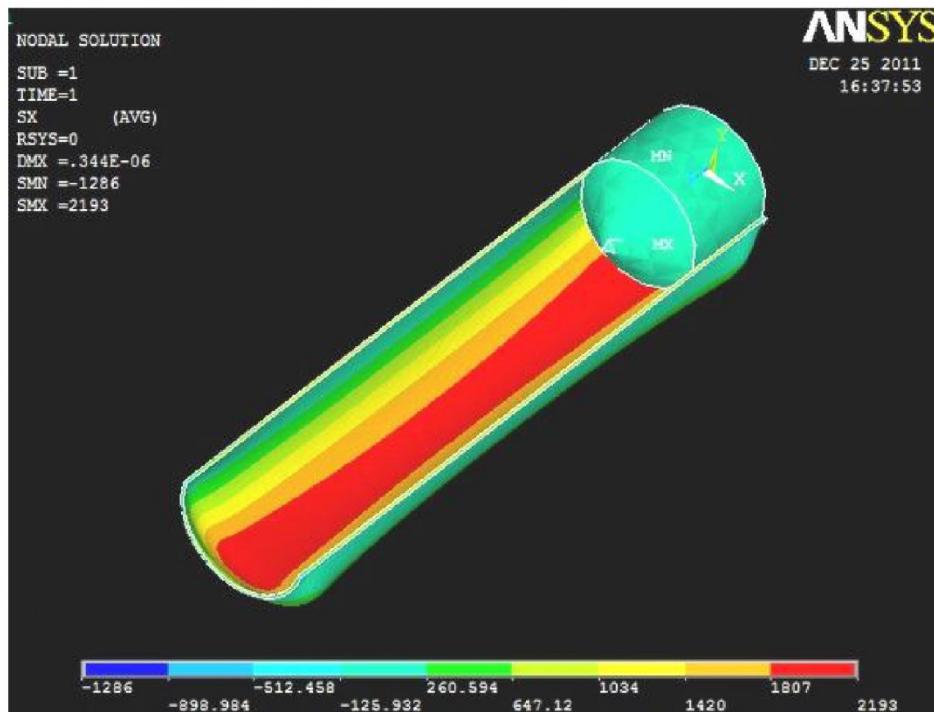


Рис. 4. Эпюра эквивалентных напряжений по Мизесу в стенках трубопровода

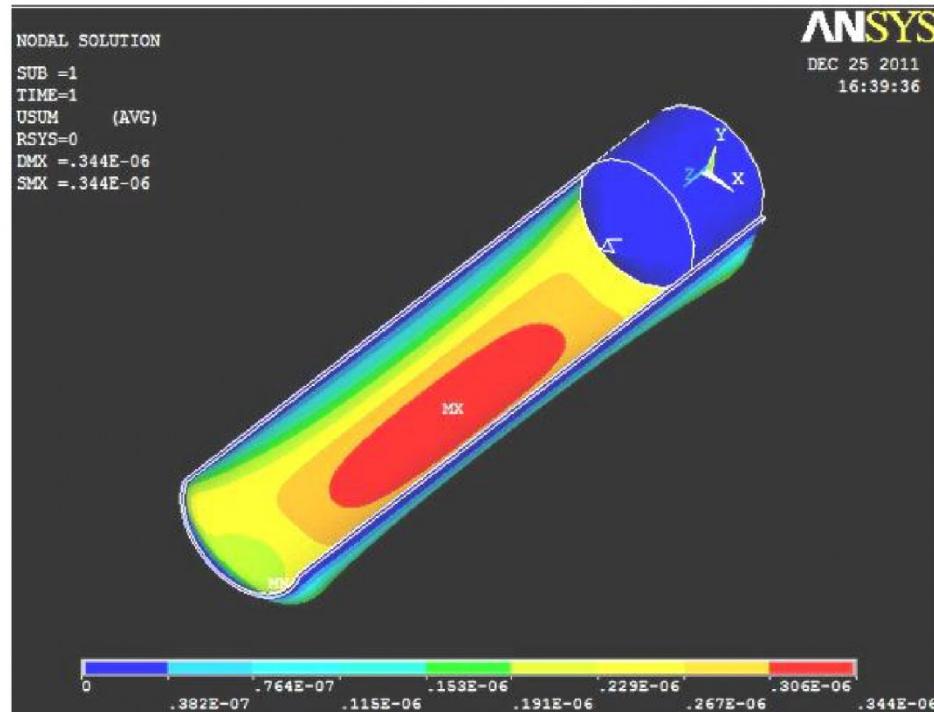


Рис. 5. Эпюра эквивалентных перемещений в стенках трубопровода

Для решения конкретной научно-практической задачи в среде ANSYS построена модель участка газоотвода длиной  $L=2,5$  м, диаметром условным  $D_y=300$  мм, толщиной стенки  $\delta=10$  мм. Трубопровод – класс прочности К34 по ГОСТ Р 52079–2003, временное сопротивление  $\sigma_b=335$  Н/мм<sup>2</sup>, предел текучести  $\sigma_t=205$  Н/мм<sup>2</sup>, относительное удлинение  $\delta_5=24\%$ . Давление газа внутри трубы 4 атм. Средство внутритрубной де-

фектоскопии представлено твердотельным цилиндром длиной 0,5 м (рис.3).

При моделировании рассмотрена ситуация остановки внутритрубного дефектоскопа в полости газопровода. По условию моделирования, в полости трубы за дефектоскопом (по ходу его движения) кратковременно повышается давления газа до 6 атм, что ведет повышению напряжения в стенках труб. На рисунке 4 представлены эпюры

возникающих при этом эквивалентных напряжений по Мизесу. Из эпюры видно, что максимальное напряжение в стенках трубопровода не превышает 2193 Па, и является несущественным, т.к. составляет менее 1% от предела текучести материала трубопровода. На рисунке 5 представлена эпюра эквивалентных перемещений в стенках трубопровода. Из эпюры видно, что эквивалентные перемещения стенок трубопровода также несущественны, и не превышают  $0,344 \cdot 10^{-6}$  м, что составляет менее 1% от диаметрального размера трубы.

Моделирование процесса движения внутритрубного дефектоскопа в полости газопровода показало что пульсация давления, вызванная периодическими остановками дефектоскопа не влечет за собой существенных нагрузок на стенки трубопровода, а эквивалентные перемещения в стенках трубопровода несущественны и не создают предпосылок для возможности «проталкивания» дефектоскопа вперед.

Одним из технических решений решающих данную проблему это применение снарядов с управляемым байпасным отверстием. В таких снарядах имеется канал с регулируемыми эле-

троникой заслонками. Через этот канал осуществляется перетекание газа в случае, если накопленное за снарядом давление заставляет его двигаться со скоростью, делающей диагностику невозможной. Однако у данной схемы есть существенные недостатки, которые уменьшают эффективность, т.к. при прохождении сужения такому снаряду необходим тот же перепад давления, что и снарядупоршню традиционной конструкции. Иначе несущие манжеты (или другие упругие элементы несущие вес снаряда) не смогут пройти сужение. При выходе из сужения накопленный перепад давления неизбежно разгонит такой диагностический снаряд. Даже если электроника, управляющая заслонками, при увеличении скорости срабатывает мгновенно, на механическое перемещение самих заслонок и на «стравливание» газа через открывающееся отверстие уйдет время, за которое снаряд разгонится [1].

Опыт диагностики трубопроводов показал также, что нормативная база и приборная часть требуют дальнейшего совершенствования с учетом особенностей газораспределительных сетей [1, 6].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О методах повышения качества диагностики газотводов [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – [Коломна?] – Режим доступа: [http://www.aprodit.ru/Aprodit-Article4-ru\\_Gaz\\_Pipeline\\_Diagnostic\\_Problems.html](http://www.aprodit.ru/Aprodit-Article4-ru_Gaz_Pipeline_Diagnostic_Problems.html), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
2. Шмаков В.А., Смирнов Ю.Н., Гиззатуллин Р.Р. Планирование ремонта магистральных трубопроводов по результатам внутритрубной диагностики // Роль науки в развитии топливно-энергетического комплекса. Матер. научн.-практ. конф. 24 октября 2007 г. – Уфа, 2007. – С. 90-92.
3. Козырев Б.В., Козырев Н.Б. Внутритрубное обследование газоотводов // Сфера Нефтегаз. – 2011. №4. – С. 154-157.
4. Чичеров Л.Г., Молчанов Г.В., Рабинович А.М. Расчет и конструирование нефтепромыслового оборудования. – М.: Недра, 1987. – 422 с.
5. Бурков П.В., Буркова С.П., Тимофеев В.Ю., Каноненко Т.В., Ащеулова А.А. Исследование напряженно-деформированного состояния участка магистрального газопровода «Нижне-квакчинское газоконденсатное месторождение – г. Петропавловск-Камчатский» методом конечных элементов // Вестник КузГТУ. 2013. № 5. С. 101-105.
6. Зубайлов Г.И., Гумеров К.М., Гиззатуллин Р.Р. Ударная вязкость металла и прочность трубопровода // Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности систем транспорта нефти, нефтепродуктов и газа. Матер. научн.-практ. конф. 22 мая 2007 г. – Уфа, 2007. – С. 169-171.

### □ Авторы статьи

Бурков  
Петр Владимирович.  
докт.техн.наук, проф. . каф. общей  
электротехники и автоматики  
(Томский гос. архитектурно-стро-  
ительный университет).  
Email: burkovpv@mail.ru

Буркова  
Светлана Петровна,  
доцент каф. начертательной геомет-  
рии и графики (Национальный ис-  
следовательский Томский политех-  
нический университет).  
Email: burkovasp@tpu.ru.

Тимофеев  
Вадим Юрьевич,  
доцент каф. горно-шахтного обору-  
дования (Юргинский технологиче-  
ский институт (филиал) НИ ТПУ),  
Email: tv-ytipu@mail.ru

Захаров  
Данил Алексеевич.  
магистрант Института природных  
ресурсов, (каф.едры транспорта и  
хранения нефти и газа) НИ ТПУ, г.  
Томск. Email: burkovpv@mail.ru..

Ащеулова  
Алиса Алексеевна.  
студент гр. 519 (Томский Государ-  
ственный архитектурно-  
строительный университет),  
тел. 8 (3822) 652237