

Рис.2. Распределение напряжений по толщине стенки трубопровода

#### Литература

1. Гоник А.А. О локальной внутренней коррозии нефтегазопроводов на месторождениях Западной Сибири и возможности ее устранения. // Защита металлов. – 2005. – том 41. - №5. С. 523-527
2. Информационный отчет. «Проведение работ по мониторингу коррозии технологических трубопроводов на Лугинецкой газокompрессорной станции» // Томск, 2004. – С. 51-59
3. Инюшин И.В., Лейфрид А.В., А.С. Валеев, Ривкин П.Р. Коррозия внутренней поверхности нефтесборных промысловых трубопроводов // Транспорт и подготовка газа. – 2002. - №3. – С.85-86.
4. Рябов А.А. Трубопроводный транспорт : диагностика, эксплуатация и реконструкция. // Безопасность труда в промышленности. – 2011. – №2. С. 19-24
5. Справочник мастера по подготовке газа. Под ред. М.Л. Карнаухова/ М.: «ИнфраИнженерия», 2009. – 256

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НДС УЧАСТКА ГАЗОПРОВОДА С АБРАЗИВНЫМ ИЗНОСОМ ДНА ВСЛЕДСТВИИ НАЛИЧИЯ В ПОТОКЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ

Р. Г. Афанасьев

Научный руководитель профессор П. В. Бурков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Объектом исследования настоящей работы является абразивное влияние твердых частиц (механических примесей), транспортируемых вместе с потоком природного газа в магистральных газопроводах. Основными вопросами, касающимися моделирования данного явления, являются определение подхода к выражению максимального удельного износа стенки трубы, а также к моделированию геометрии абразивного дефекта.

Исследования, касающиеся абразивного износа магистральных газопроводов актуальны, поскольку, хоть и природный газ перед поступлением в транспортную сеть проходит серьёзную очистку, в эксплуатационной практике встречаются ситуации, когда системы очистки дают сбой, либо когда само сырьё, поступающее с месторождений, имеет специфичный состав с большим содержанием твердых частиц. Более того, в свете недавних открытий относительно влияния наночастиц на интенсивность турбулентных пульсаций в потоках движущихся сред [1], появляется возможность использовать в производственной практике свойства взаимовлияния твердых частиц и транспортируемого потока. Опыт транспортировки потоков со взвешенными твердыми частицами показывает, что, при отсутствии поворотов трубопровода, абразивный износ его поверхности происходит в районе дна, поскольку твердые частицы стремятся вниз под действием силы тяжести, и, соответственно, максимально интенсивно взаимодействуют именно с донной поверхностью [2].

Природный газ в существующей системе транспорта проходит серьёзную очистку, вследствие чего конкретные соотношения, моделирующие абразивный износ для магистральных газопроводов, отсутствуют. В связи с этим будет пользоваться моделью Путилова, которая была разработана для смежной области - области пневмотранспортных установок систем пылеприготовления и золошлакоудаления ТЭС [2].

Согласно Путилову:

$$\sigma_{r,n} = 55,5 \cdot 10^{-6} \frac{U_c^2 K_n k_{SiO_2} m}{d^2 \rho_0^2 k_{изн}} \text{ мм}^3/\text{г} \quad (1)$$

где  $U_c$  - средняя скорость частиц, м/с;  $K_n$  - критерий Путилова, кг/м<sup>2</sup>;  $k_{SiO_2}$  - коэффициент относительного содержания SiO<sub>2</sub>;  $d$  - внутренний диаметр трубопровода, м - массовая расходная концентрация потока смеси частиц и газа, кг частиц/кг газа;  $k_{изн}$  - коэффициент относительной износостойкости материала трубопровода.

$$K_n = \frac{U_c^2 m}{\rho_0} \quad (2)$$

где  $d_0$  - средний диаметр твердых частиц,  $\rho_0$  - плотность материала твердых частиц.

Для того, чтобы данное соотношение работало в условиях магистрального транспорта газа, необходимо совершить некоторые преобразования. Итоговое соотношение для определения  $N_{max}$  запишется как:

$$N_{max} = 55,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{D^2 \cdot \rho_{га}}{2 \cdot \rho_{грунт} \cdot R_{нп}} \cdot \rho_{га} \cdot v_{га} \cdot D_0 \cdot \frac{D_0^2}{4000} \cdot \frac{R_{нп}}{D_0} \quad (3)$$

Величину максимальной ширины дефекта будем искать из геометрических соображений. Нам задано отношение поперечной площади «пятна». Максимальная ширина абразивного дефекта будет равна хорде сегмента круга, образованного «пятном» твердых частиц

Таким образом, задача сводится к отысканию хорды сегмента по известной площади.  $V_{max}$  удобно искать как третью сторону треугольника, образованного данной стороной и двумя радиусами. При этом,  $V_{max}$  выражается как:  $V_{max} = R \cdot \sqrt{2 \cdot (1 - \cos \alpha)}$ ; Для нахождения  $V_{max}$  необходимо знать угол, который образует данный сегмент. Его мы найдём из формулы площади сегмента, так как эта площадь известна.

$$F = \frac{V_{max} \cdot V_{max}}{2 \cdot R} = \frac{R^2}{2} \cdot (1 - \cos \alpha); \text{ следовательно } \sin \alpha = \frac{V_{max}}{R}; \text{ отсюда } \alpha = 2 \cdot \arcsin \left( \frac{V_{max}}{R} \right)$$

Подставляя значение угла в соотношение теоремы косинусов, получим значение  $V_{max}$ .

Задаваясь лишь значениями параметров  $N_{max}$  и  $V_{max}$ , невозможно получить геометрию дефекта, удовлетворяющую условиям точного моделирования. Руководствуясь только данными величинами, мы можем получить лишь квадратные, треугольные, либо эллипсоидные дефекты.

Найдя координаты точек А, В, С - переходим к отысканию необходимых для корректного моделирования геометрии параметров  $L_c$  и  $R_b$ . Для их нахождения используем формулы пересчета координат трёх точек круга в координаты центра и величину радиуса. Таким образом, имея геометрические размеры трубопровода - длину, толщину стенки и внутренний диаметр, а также геометрические размеры круглой выточки - координаты центра круга и радиус круга, мы легко сможем смоделировать абразивный дефект как вырез одной фигуры из тела другой, и, в дальнейшем, проанализировать напряженно-деформированное состояние получившегося дефектного трубопровода.

В качестве исходных данных к расчету напряженно-деформированного состояния трубопровода было взято типичное проектное решение, основанное на технических требованиях ООО «Газпром трансгаз Томск» на выполнение реконструкции магистрального газопровода Парабель - Кузбасс. После расчета всех геометрических параметров исследуемого участка трубопровода, необходимо задаться нагрузками, действующими как со стороны грунта, так и со стороны грунта, транспортируемого продукта, изоляционного покрытия и металла трубы, а также давлением, действующим на внутреннюю поверхность стенки [3].



Рис. 1 Нагрузки, действующие на стенку трубопровода

Одна из особенностей данного расчета состоит в использовании соотношений, дающих величину в размерностях силы - Н. Это связано с тем, что моделирование напряженно-деформированного состояния трубопровода проводилось в среде ANSYS Mechanical, где данный вид нагрузок удобнее задавать в размерностях силы. Следует помнить, что расчетная сила действует на всю полуплощадь трубопровода.

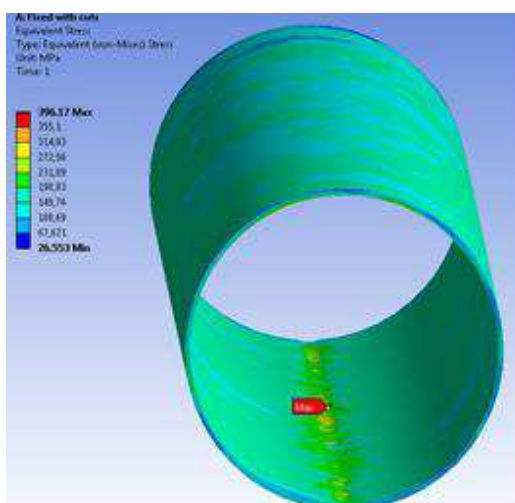
Сила, действующая со стороны грунта сверху:

$$F_{грунт} = \left\{ n_{гр} \cdot F_{гр} \cdot D \cdot \left[ \left( R_{нп} - \frac{D}{2} \right) + \left( R_{нп} - \frac{D}{2} \right) \cdot \left( \cos \left( 45^\circ - \frac{\varphi_{гр}}{2} \right) \right)^2 \right] \right\} \cdot L = 413130 \text{ Н}, \quad (5)$$

где  $n_{гр}$  - коэффициент надежности по нагрузке от веса грунта;  $D$  - наружный диаметр трубопровода, м.

Сила (реакция), действующая со стороны грунта, веса транспортируемого продукта, изоляционного покрытия и материала трубопровода:

$$F_{реакт} = \left\{ \frac{F_{исх}}{L} + L \cdot 1 \cdot \gamma_{исх} \cdot R_{нп} - \frac{\gamma}{4} \cdot (D^2 - d^2) + 10^{-2} \cdot \rho \cdot D^2 \right\} \cdot L = 445611 \text{ Н} \quad (6)$$



**Рис.2** Эквивалентные напряжения при абразивном износе после 18,1 года. Наблюдается превышение предела текучести материала

Таким образом, задавшись моделью абразивного износа трубопровода, геометрией дефекта, нагрузками, действующими на трубопровод, а также исходными данными необходимых для расчета величин, представим результат расчета как табличную функцию зависимости максимальных напряжений в стенке трубопровода от его срока службы:

**Таблица**

t, лет:	Срок службы					
	0	7,5	15	16	17	18,1
Hmax, мм:	0	2,226215	4,45243	4,749259	5,046087	5,372599
Bmax, мм:	77,77089	77,77089	77,77089	77,77089	77,77089	77,77089
Уц, мм:	-0,15122	-298,263	-374,771	-380,923	-386,532	-392,158
Rв, мм:	499,8488	203,9635	129,6814	123,8262	118,5142	113,2145
σmax, МПа:	230,1	239,63	282,54	332,4	355,72	396,17

Из представленных значений видно, что напряженно-деформированное состояние трубопровода не является линейной функцией от времени и изменяется ступенчато. Нарастание напряжений в начале эксплуатации практически незначительно. Ближе к концу, напротив, наблюдается резкий рост.

#### Литература

1. Liang-Shih Fan, Chao Zhu. Principles of Gas-Solid Flows. Cambridge University Press, 2005.
2. Путилова И.В. Абразивный износ трубопроводов пневмотранспортных установок систем золошлакоудаления и пылеприготовления ТЭС, М.: - 2004.
3. Тугунов П.И. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. Уфа - ДизайнПолиграфСервис, 2002.

### ВНУТРИТРУБНАЯ ДИАГНОСТИКА И ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

**К.А. Яковлева**

Научный руководитель профессор П.В. Бурков

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Для безаварийной работы нефтепровода и продления его срока службы необходимо проводить диагностику. Наиболее эффективным и оперативным методом диагностики трубопроводных систем МН по сей день является внутритрубная диагностика.

Внутритрубная диагностика (ВТД) позволяет выявить невидимые глазу дефекты и составить картину состояния трубы — для исследования динамики поведения трубопровода.

Следует отметить, что при внутритрубной диагностике участка действующего трубопровода, прежде чем запускать в трубу диагностирующий поршень, необходимо пропустить через участок систему очистных и калибровочных поршней— начиная с поршней малого диаметра и заканчивая поршнем с диаметром равным диаметру тестируемой трубы.

Идентификация результатов ВТД в шурфах выявила, что они не обладают 100% точностью, или не подтверждаются, или имеются расхождения параметров дефектов. Данные неточности могут привести к