

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РУЧЕЙКОВОЙ КОРРОЗИИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ
СОСТОЯНИЕ ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Луценко М.Е.

Научный руководитель доцент Н.В. Чухарева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

При эксплуатации промысловых трубопроводов неизбежной проблемой является снижение механической прочности труб ввиду коррозии, что приводит к потере несущей способности трубопровода. Последствия отказов и аварий могут быть весьма серьезными, от снижения добычи нефти до загрязнений окружающей среды, что отражается на затратах компаний, эксплуатирующих промысловые трубопроводы. Основным направлением работы в сфере трубопроводного транспорта является повышение надежности и долговечности трубопроводов, следовательно, повышение срока их безопасной эксплуатации.

Ручейковая коррозия относится к внутренней коррозии трубопроводов и является наиболее опасным видом разрушения труб на промыслах (частота отказов достигает 70 %). Коррозия увеличивается при повышении обводненности продукции, ее температуры, солёности воды и наличия механических примесей. Предотвращение ручейковой коррозии достигается следующими способами: изоляция внутренней поверхности промыслового трубопровода от контакта с агрессивной жидкостью с помощью внутритрубных покрытий; использование коррозионностойких труб; изменение режима течения жидкости – интенсивность ручейковой коррозии увеличивается при ламинарном течении при расслоении нефтяной и водной фаз.

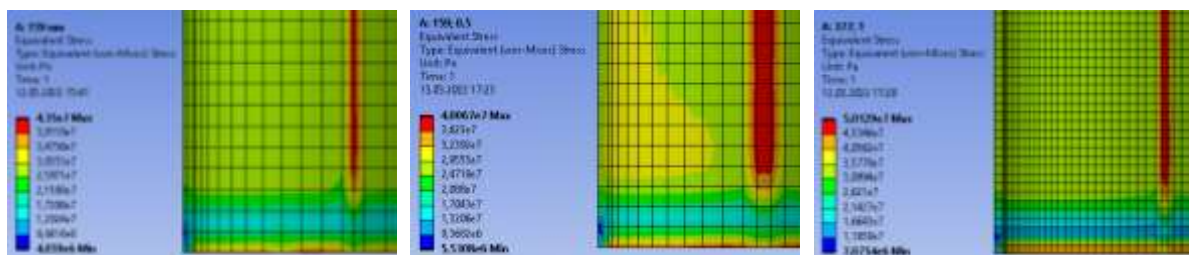
Цель работы: оценка влияния ручейковой коррозии с различными размерными характеристиками на напряженно-деформированное состояние промысловых трубопроводов двух диаметров, эксплуатируемых при различном рабочем давлении. В ходе исследования рассматривались промысловые трубопроводы с характеристиками, указанными в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики промысловых трубопроводов, подверженных влиянию ручейковой коррозии

Наружный диаметр промыслового трубопровода, D_n	159 (мм)	377 (мм)
Толщина стенки трубы, δ	5 (мм)	10 (мм)
Рабочее давление, P	2; 3; 4; 5; 6 (МПа)	
Сталь: предел текучести стали, σ_T	09Г2С: 340 (МПа)	
Ширина ручейковой коррозии, l	10; 20 (мм)	20 (мм)
Отношение глубины ручейковой коррозии к толщине стенки трубы, $\frac{h}{\delta}$	10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 (%)	

Для проведения оценки напряженно-деформированного состояния промысловых трубопроводов последовательно созданы их модели в Inventor по вышеизложенным размерам, экспортированы в программный комплекс ANSYS для создания сетки, установки фиксаций, приложения внутреннего давления и проведения анализа напряжений. Часть исследований в программном комплексе ANSYS представлена на рисунке 1.



а) $D_n = 159$ мм, $l = 10$ мм

б) $D_n = 159$ мм, $l = 20$ мм

в) $D_n = 377$ мм, $l = 20$ мм

Рис. 1. Эквивалентные напряжения по Мизесу промысловых трубопроводов с $\frac{h}{\delta} = 10$ % ($P = 2$ МПа)

Для совмещения характеристик промысловых трубопроводов, подверженных влиянию ручейковой коррозии, и стали 09Г2С определено допустимое эквивалентное напряжение по Мизесу. Согласно методике по [2], допустимые эквивалентные напряжения по Мизесу $[\sigma_{\text{эКВ}}]$ определяются по формуле 1.

$$[\sigma_{\text{эКВ}}] = f_{\text{эКВ}} \cdot \sigma_T, \quad (1)$$

где $f_{\text{эКВ}} = 0,9$ – коэффициент проверки эквивалентные напряжений при эксплуатации трубопроводов.

$$[\sigma_{\text{эКВ}}] = 0,9 \cdot 340 = 306 \text{ МПа}$$

Таким образом, при совмещении результатов исследований ручейковой коррозии различных размеров в программном комплексе ANSYS с допустимым напряжением стали 09Г2С получен график зависимости возникающих максимальных эквивалентных напряжений по Мизесу от глубины ручейковой коррозии (рисунок 2) для двух диаметров 159 и 377 мм. Для диаметра 159 мм проведено дополнительное исследование на влияние ширины ручейковой коррозии на напряжения в промысловом трубопроводе. С помощью представленного графика можно определить глубину ручейковой коррозии (таблица 2), при которой в промысловом трубопроводе будут накапливаться

пластические деформации, что приведет к потере несущей способности трубопровода, либо определить разрушающее эксплуатационное давление для речейковой коррозии заданной глубины.

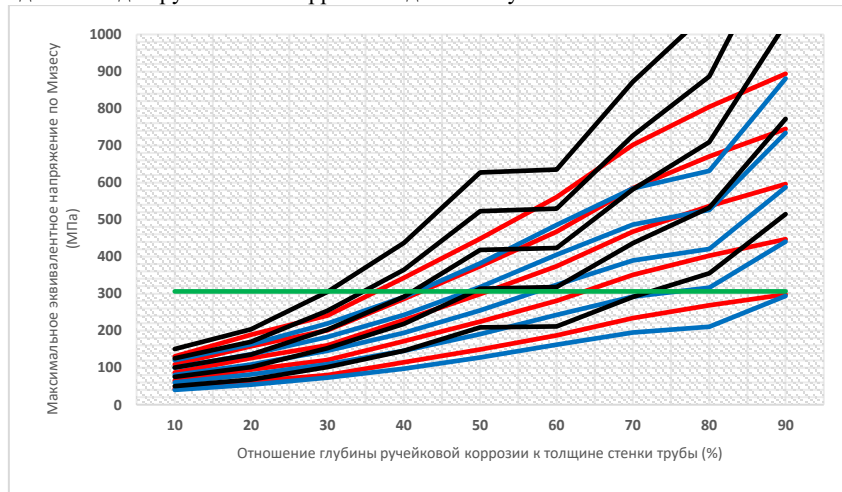


Рис. 2. Зависимость максимальных эквивалентных напряжений по Мизесу от глубины речейковой коррозии (красный – $D_n = 159$ мм, $l = 10$ мм; черный – $D_n = 377$ мм, $l = 20$ мм; синий – $D_n = 159$ мм, $l = 20$ мм; зеленый – характеристика стали 09Г2С согласно методике по [2])

Таблица 2

Максимальная допустимая глубина речейковой коррозии (сталь 09Г2С)

Наружный диаметр промышленного трубопровода / толщина стенки трубы / ширина речейковой коррозии (мм)	Рабочее давление (МПа)				
	2	3	4	5	6
159 / 5 / 10	Отношение глубины речейковой коррозии к толщине стенки трубы (%)				
159 / 5 / 20	> 90	63	51	42	36
377 / 10 / 20	72	49	41	34	30

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу сконцентрированы в канавке, возникающей в результате речейковой коррозии, и увеличиваются с ростом ее глубины по неопределенной зависимости;

- для промышленных трубопроводов различных диаметров при схожих размерах зоны речейковой коррозии необходимо строить отдельные зависимости максимальных эквивалентных напряжений по Мизесу от глубины речейковой коррозии для определения ее критических значений, поскольку с ростом глубины речейковой коррозии, а также ростом давления эксплуатации увеличивается разность напряжений в контрольных точках и в проведенных исследованиях достигает 43 % (при глубине речейковой коррозии 90 %);

- для промышленных трубопроводов одинакового диаметра с различной шириной зоны, подверженной речейковой коррозии, также необходимо строить отдельные зависимости, поскольку с увеличением ширины этой зоны концентрация напряжений уменьшается, следовательно, увеличивается разность напряжений в контрольных точках и в проведенных исследованиях достигает 22 % (при глубине речейковой коррозии 80 %);

- для представленных промышленных трубопроводов глубина разрушающей речейковой коррозии варьируется в зависимости от диаметра трубопровода, рабочего давления и ширины речейковой коррозии и находится в пределах $\frac{h}{\delta} \geq 30$ %, однако указанную зависимость (рисунок 2) можно использовать для определения предельной глубины речейковой коррозии других сталей, рассчитанных в соответствии с методикой по [2].

Дальнейшие исследования будут направлены на создание базы данных, включающей значения максимальных эквивалентных напряжений по Мизесу промышленных трубопроводов различных диаметров с различной толщиной стенки трубы, с варьирующимися глубиной и шириной речейковой коррозии, а также с различными условиями эксплуатации. Обработка такой базы данных современными методами (например, методом машинного обучения) позволит выявить более точную зависимость между параметрами напряженно-деформированного состояния промышленных трубопроводов и характеристиками речейковой коррозии, что в свою очередь позволит усовершенствовать процессы прогнозирования речейковой коррозии и защиты от нее существующих и проектируемых трубопроводных систем.

Литература

- Бурков П.В. Исследование напряженно-деформированного состояния промышленных трубопроводов, подвергшихся воздействию речейковой коррозии / П.В. Бурков, В.П. Бурков, Д.С. Фатьянов, В.Ю. Тимофеев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – № 3(127). – С. 5 – 13.
- ГОСТ Р 55990 – 2014 Месторождения нефтяные и газонефтяные. ПРОМЫСЛОВЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ. Нормы проектирования [Электронный ресурс] / URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200110076>