

Рис. 8. Зависимость предельного давления от длины дефекта

Основной задачей данного исследования являлся анализ напряженно-деформированного состояния отвода с язвенным коррозионным дефектом. Информация, полученная в результате оценки НДС трубопроводов, позволяет рассмотреть особенности распределения напряжения в зоне дефекта в предаварийной ситуации. Было установлено, что глубина и длина дефекта являются наиболее важными и опасными параметрами, в то время как его ширина и радиус кривизны отвода влияют на величину предельного давления в меньшей степени. Также важно угловое расположение дефекта – наиболее опасные из них располагаются вблизи внутренней дуги отвода. Был опробован аналитический подход к решению проблемы. Для учета особенностей геометрии отвода использовалось уравнение, представленное в статье [1]. Средняя относительная погрешность между новым методом и результатами анализа МКЭ составила 3,98 %.

Литература

1. Guo W, Dong H, Lu M, Zhao X. The coupled effects of thickness and delamination on cracking resistance of X70 pipeline steel. *Int J Press Vessels Pip* 2002;79:403–12.
2. Fan YF, Hu ZQ, Zhou J. Study on mechanical property of corroded pipeline: pipelines. ASCE; 2007. p. 1–9.
3. Adb-Ramezani H, Jeong J, Pluvinage G. Structural integrity evaluation of X52 gas pipes subjected to external corrosion defects using the SINTAP procedure. *Int J Press Vessels Pip* 2006;83:420–32.
4. Alami J, Oliveros J, Garcia-Vargas J. Probabilistic modelling of a corroded pressurized pipeline at inspection time. *Struct Infrastruct Eng* 2009;5: 91–104.
5. Li Z, Yinpei W, Jin C, Cengdian L. Evaluation of local thinned pressurized elbows. *Int J Press Vessels Pip* 2001;78:697–703.
6. Oh C-S, Kim Y-J, Park C-Y. Plastic loads of elbows with local wall thinning under in-plane bending. *Int J Fract* 2007;145:63–79.
7. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах [Текст]. – М.: Компьютер Пресс, 2002. – 224 с.
8. Mohsen Khalaj Khalajestania, Mohammad Reza Bahaaria, Alireza Salehib, Siamak Shahbazic, Predicting the limit pressure capacity of pipe elbows containing single defects. *Applied Ocean Research* 53 (2015) 15–22

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНОГО УЧАСТКА ТРУБОПРОВОДА, ПРОЛОЖЕННОГО В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛОМ ГРУНТЕ, В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

Я.С. Бадина

Научный руководитель доцент А.В. Шадрина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Обеспечение безопасной и надежной работы трубопроводного транспорта углеводородов является главной задачей, которая позволит сократить риск возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций. Решение этой задачи улучшит экологическую обстановку, снизит невозвратимые утечки углеводородов, предотвратит разрушение трубопроводной системы и обеспечит ее оптимальное функционирование.

Актуальностью данной работы является то, что для подземных трубопроводов грунт представляет собой одновременно нагрузку и среду, в которой развиваются деформации сооружения. В качестве грунта рассматривается многолетнемерзлый грунт, обладающий нулевой либо отрицательной температурой и в своем составе содержащий видимые ледяные включения.

Взаимодействие теплого трубопровода с многолетнемерзлым грунтом приводит к значительным деформациям трубопроводов и появлению напряженных участков.

В настоящее время большое развитие получают численные методы, позволяющие значительно расширить класс и постановку решаемых задач за счет более полного учета реальных условий нагружения и свойств используемых материалов. Наибольшее распространение получил метод конечных элементов (МКЭ) [1].

Универсальным расчетным комплексом, предназначенным для моно - и междисциплинарных расчетов является ANSYS [2].

В качестве исходных данных напряженно-деформированного состояния трубопровода в работе было использовано типичное проектное решение, основанное на технических требованиях СНиП 2.05.06-85*.

Объектом исследования является участок трубопровода, изготовленный из стали 08ГБЮ, наружным диаметром 720 мм, рабочим давлением 5,5 МПа и длиной 12 м. Толщина стенки трубопровода рассчитывается в соответствии со СНиП 2.05.06-85* и принимается равной 11 мм. Температура стенки трубопровода равняется 8 °С, а температура среды (мерзлого грунта) -10 °С [3].

Таблица 1

Общие характеристики и параметры трубопровода

Диаметр трубопровода (наружный), мм	Толщина стенки трубы, мм	Длина участка трубы, мм	Трубопровод изготовлен из стали	Рабочее давление, МПа	Температура стенки трубопровода, °С	Температура среды (мерзлого грунта), °С
720	11	12000	08ГБЮ	5,5	8	10

В ходе работы был смоделирован участок трубопровода, проложенный в многолетнемерзлом грунте. После расчета всех геометрических параметров исследуемого участка трубопровода, необходимо задать нагрузки, действующими как со стороны грунта, так и со стороны транспортируемого продукта, изоляционного покрытия и металла трубы, а также давлением, действующим на внутреннюю поверхность стенки [4].

Все расчеты проведены согласно исходным данным, а также рекомендациям по проверке прочности и устойчивости магистральных трубопроводов.

На модель автоматически нанесена сетка узлов, проведен расчет эквивалентных напряжений по Мизесу и суммарных деформаций.

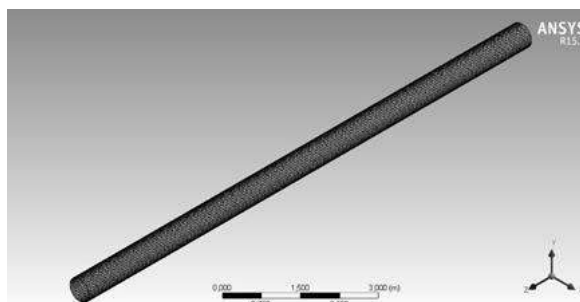


Рис. 1. Модель трубопровода с нанесенной сеткой узлов

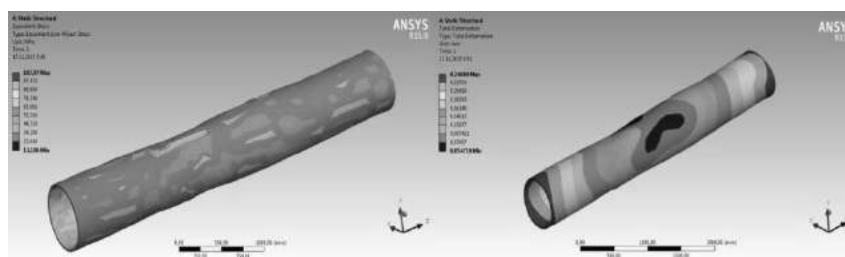


Рис. 2. Эквивалентные напряжения по Мизесу и суммарные деформации

Возникновение кольцевых и продольных напряжений также является важным аспектом при эксплуатации трубопроводов, они являются опасными с точки зрения увеличения коррозионного растрескивания. Кольцевые напряжения возникают в стенках труб от воздействия внутреннего давления примерно в 1,5 - 2 раза ниже предела текучести и нормального сопротивления при работе металла труб на разрыв. Для определения значения их величины учитывается рабочее давление среды, наружный диаметр и толщина стенки [5].

Таблица 2

Результаты расчета эквивалентных напряжений по Мизесу и суммарных деформаций

Эквивалентные напряжения по Мизесу, МПа	Суммарные деформации, мм
107,97	0,24
97,425	0,22
86,886	0,2
76,346	0,18
65,886	0,16
55,266	0,14
44,726	0,11
34,286	0,097
23,645	0,07
13,106	0,05

$$\sigma_{\text{кн}} = P(D_n - 2\delta)2\delta = 9 \cdot 10^6 \cdot (720 - 2 \cdot 11)2 \cdot 11 = 207,8 \text{ МПа}$$

Определение же продольных напряжений для общего случая:

$$\sigma_{\text{пр}} = 0,5 \sigma_{\text{кн}} = 0,5 \cdot 207,8 = 103,9 \text{ МПа}$$

Максимальное значение эквивалентных напряжений по Мизесу 107,97 МПа, по справочным данным, для стали 08ГБЮ временное сопротивление разрыву (предел прочности) 350 МПа. Следовательно, участок трубопровода с дефектом выдержит нагрузку с коэффициентом запаса прочности 3,4 [6].

Максимальное значение суммарных деформаций 0,25 мм. Наименьшие значения деформации расположены в центре участка трубы и постепенно увеличиваются, приближаясь к концам модели.

Взаимодействие положительной температуры стенки трубы и отрицательной температуры фреда, в которой проложен трубопровод приводит к ее дополнительной деформации и увеличивает напряжение [7].

Оценка напряженно-деформированного состояния и определение наиболее нагруженных участков трубопровода является главным аспектом для безопасной и безаварийной работы трубопроводной системы.

Литература

1. Рудаченко А.В., Саруев А.Л. Исследования напряженно-деформированного состояния трубопроводов. - Издательство ТПУ, 2011. - 136 с.
2. Oleg V., Vladimir P. Ela Elastoplastic stress-strain analysis of buried steel pipelines subjected to fault displacements with account for service loads. URL: https://www.researchgate.net/publication/236621900_Elastoplastic_stress-strain_analysis. Дата обращения: 12.12.2015.
3. СНиП 2.05.06-85* - «Магистральные трубопроводы».
4. Oleg V., Vladimir P. Analytical model versus numerical model in stress-strain analysis of buried steel pipelines subjected to fault displacements. URL: https://www.researchgate.net/publication/236621903_Analytical_model_versus_numerical_model. Дата обращения 10.12.2015
5. Быков Л.И., Мустафин Ф.М. Типовые расчеты при сооружении и ремонте газонефтепроводов. – М.: Недра, 2006. - 824 с.
6. Инженерная геокриология/ под ред. Е.Д. Ершова. – М.: Недра, 1991. – 438 с.
7. Nimish Kurien Thomas, Saj P. Steve Mathews. Stress analysis of underground GRP pipe subjected to internal and external loading conditions. URL: http://www.ripublication.com/ijame-spl/ijamev4n4spl_10.pdf. Дата обращения: 17.12.2015.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ГРУНТОВ

А. Т. Баишев

Научный руководитель, доцент В. Г. Крец

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Компьютерное моделирование позволяет при помощи расчётных методов, таких как, метод конечных элементов, метод конечных разностей, метод конечных объёмов, оценить, как поведёт себя объект-здание, газовая скважина, насыпь дороги, опора трубопровода и др. в реальных условиях эксплуатации. Моделирование