

Литература

1. Абрамова Р.Н., Чухарева Н.В. Коррозионные повреждения при транспорте скважинной продукции, — Томский политехнический университет — 2009.
2. Бергштейн Н.В., Левченко Д.Н., Николаева, Н.М. Худякова А.Д., «Эмульсии нефти с водой и методы их разрушения», — издательство «Химия» — 1967.
3. Бурков П.В., Буркова С.П., Вертинская О.А., Горный информационно-аналитический бюллетень — отдельный выпуск — 2011 — №2 — 154 с.
4. Быков Л.И., Васильев Г.Г., Мустафин Ф.М., «Защита трубопроводов от коррозии», — Санкт-Петербург. — ООО «Недра», — 2005.
5. Зырянов А.Б., Тарасов М.Ю., Журнал «Нефтяное хозяйство», — 2008 — № 09 — 105 — 107 с.
6. Исмаилов Ф.С. — Журнал «Нефтепромысловое дело» — 2010 — №9 — 27 — 30 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ТРУБОПРОВОДОВ В МЕРЗЛОМ ГРУНТЕ НА СИЛЬНО ОБВОДНЕННЫХ УЧАСТКАХ
ТРАССЫ**

А.В. Кузнецов, А.О.Шамуратов

Научный руководитель профессор П. В. Бурков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

При определении работоспособности трубопроводов Западной Сибири необходимо проанализировать механическое взаимодействие трубы с вечномерзлым грунтом. Так же требуется численно оценить пучение мёрзлых грунтов на напряжённо-деформированное состояние конструкции [1].

Целью данной работы является изучение поведения трубопровода в мёрзлом грунте на сильно обводненных участках трассы, а также исследование его напряженно-деформированного состояния.

Первой группой неблагоприятных для работы трубопровода факторов являются оттаивание и неравномерные осадки или провалы. Ко второй относятся факторы, обусловленные вмержанием труб в замерзающий или оттаивший грунт. Вертикальные перемещения конструкции могут часто возникать как в зимнее, так и в летнее время. Равномерно распределенные вдоль газопровода силы морозного пучения, действующие на трубопровод вертикально снизу вверх, а так же набухание грунта наблюдается на сильно обводненных участках трассы.[2] Благодаря силе адсорбции на поверхностях минеральных частиц и капиллярной силе, которая образует ледяной покров вокруг газопровода. Образование льда в капиллярах происходит при более высоких давлениях, в сравнении со значениями давления в «свободной» воде. Разность между размерами зависит от давления: чем меньше размеры, тем выше разность. Это значит, что понижение температуры грунта, повышает разность давления в замороженном грунте между водой и льдом. В результате, давление вспучивания, действующее на полный объем грунта, практически, обуславливает давление льда. Сила веса грунта и сопротивление разрыву и сжатию грунта противодействует давлению льда. Основная особенность процесса вспучивания - это результат разности низкого давления в «свободной» воде и высокого давления во льду, а именно процессы в мелкопористой структуре, особых свойствах воды и льда в порах грунта и возле них. Когда в воде поддерживается более низкое давление, то на ограниченной поверхности раздела фаз вода-лед-грунт обуславливается более высокое давление льда. Неизменный приток воды обеспечивается более низким давлением в воде, соседствующей со льдом в порах грунта. При этом силы, которые могут вытягивать адсорбированную воду из водонасыщенного грунта, достаточно велики и способны выбрасывать воду на высоту 120 м [3]. Наибольшую величину нормальных сил морозного пучения можно оценить опираясь на величину давления, которое развивают кристаллы льда при ограниченном замерзании воды.

Максимальное давление способно развиться только при полном отсутствии расширения воды. Это давление, при температуре $t = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$ измеряется величиной, порядка 211 МПа. Если же температура выше $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$, то давление будет значительно меньше. Чтобы оценить величины давления, возникающие в замерзающей воде в условиях невозможности её расширения при температурах выше $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$, пользуются эмпирической зависимостью Бриджмена-Таммана [4]:

$$p = 1 + 12,7t - 0,159t^2, \quad (1)$$

где P - давление в толще льда, МПа; t - абсолютное значение величины отрицательной температуры, $^{\circ}\text{C}$.

Тем не менее, указанные давления способны образоваться только при замерзании воды в жёстком сосуде. Если же вода замерзает в грунтах, то фактическое давление будет меньше приведенных величин. Теоретически, замерзание грунтов протекающих при $t = -0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$, а так же при учете атмосферного давления и давления на грунт (0,127 Мпа), не должно возникнуть по причине того, что грунт не будет промерзать. Грунты, имеющие довольно низкую температуру замерзания перовой воды, при нормальных условиях, давление растущих кристаллов льда может достигать до 8 МПа. Данная задача решается экспериментально, так как она не имеет аналитического решения. Для получения равномерно распределённой нагрузки на трубопровод от сил морозного пучения, направленных вертикально, снизу вверх, необходимо умножить величину нормальной силы на наружный диаметр оболочки.

При замерзании грунтов, у боковых граней конструкции, возникают касательные силы морозного пучения, которые направлены по касательной к поверхности, граничащей с замерзшим грунтом [5]. Напряженно-

деформированное состояние, в условиях мерзлых грунтов, меняется за счет изменения геометрии трубопровода при длительной эксплуатации, что показывает потребность в полном анализе величины с учетом физическо-геометрической нелинейности системы «труба-грунт»

Чтобы определить напряжения в стенке трубы, превышающих допустимые, а так же диапазона изменения характеристик процессов, способных повлиять на деформацию, проводится расчет напряжений (на прочность), возникающих при выпучивании трубопровода, с помощью программы ANSYS применительно к эксплуатации трубопроводов в мерзлых грунтах на сильнообводненных участках. Исследуется схема подъема участка трубопровода со следующими параметрами: наружный диаметр 1020 мм, толщина стенки – 12 мм, длина – 12 м. Трубопровод изготовлен из трубной стали 17Г1С. При этом принимаются допущения, которые соответствуют наиболее легкому из существующих вариантов взаимодействия трубы и контактирующего с ней грунта: в начале и конце трубопровода отсутствуют перемещения по оси Y.

На рисунке 1 показан результат расчета действия касательных сил на участок трубопровода, полученный с помощью программы ANSYS.

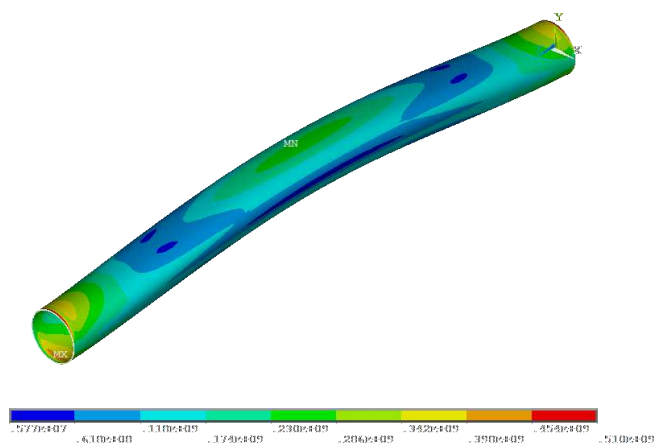


Рис. 1 Напряжения по Мизесу

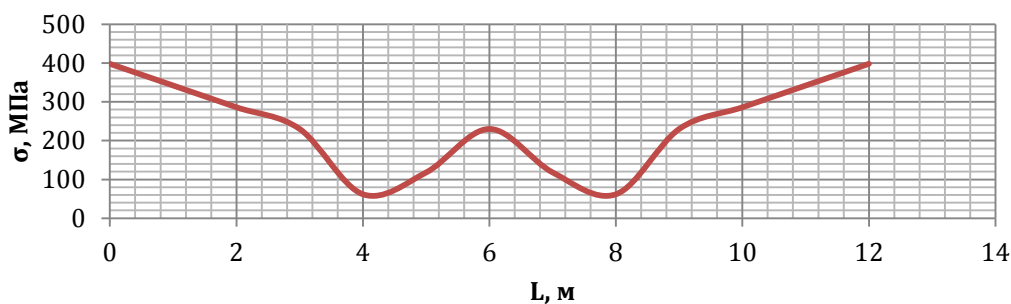


Рис. 2 Распределение напряжений (σ) по длине (L) участка трубопровода

Полученные и представленные на рисунке 2 результаты позволяют сделать следующие выводы:

- Уровень надежности трубопровода снижается, так как изменение значений напряжений, возникших при выпучивании трубопровода, способны достигать величин, приближающихся к пределу текучести стали;
- величина напряжений непостоянна. Участки трубопровода, которые прилегают к участкам плотного грунта, характеризуются повышенным уровнем напряжения;
- процессы деформации усложняют изменение условия взаимодействия трубы с грунтом и вызывают необходимость детального исследования напряженно-деформированного состояния трубопровода с учетом различных физико-механических свойств грунта.

Литература

1. Федоров, Ю.Ю., Савнина, А.В. Напряженно-деформированное состояние подземных газопроводов в условиях многолетней мерзлоты / Ю.Ю.Федоров, А.В. Савнина // Нефтегазовое дело. – 2008. – № 1 – (<http://www.ogbus.ru>).
2. Механика грунтов [Текст]: В.Е.Шутов, Г.Г.Васильев, Ю.А. Горяинов, А.Д.Прохоров, Л.С.Чугунов. – М.: из-во «ЛОРИ», 2003. – 128 с.
3. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения [Текст]. – М.: Наука, 1974. – 640 с.
4. Будзуляк, Б.В. и др. Ремонт линейной части магистральных газопроводов [Текст] / Б.В. Будзуляк // Газовая промышленность. – 1999. – № 11. – с.33-36.

5. Белых И.С., Бурков П.В., Буркова С.П. Компьютерное моделирование прочностных характеристик полиэтиленовых газопроводов // П. В. Бурков, К. В. Епифанцев // Горный информационно-аналитический бюллетень, апрель 2012.-Донецк 2012. –С. 369-378.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРЕСС-КОРРОЗИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ УЧАСТКА ТРУБОПРОВОДА

Т.А. Фаиль

Научный руководитель профессор П.В. Бурков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

На сегодняшний день самым опасным видом разрушения магистральных газопроводов (МГ) является коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) внешней катодно защищаемой поверхности трубы. Масштабность этой задачи можно оценить исходя из протяженности МГ в России, которая в настоящее время достигает 155 тыс. км [2]. С ростом продолжительности эксплуатации газопроводов в нашей стране ситуация с КРН усугубляется и становится весьма тревожной. Удельный вес аварий на МГ по этой причине достигает 95 % [3,5] от общего количества. За последние 40 лет КРН, зарегистрировано во многих зарубежных странах США, Австралии, Канаде.

Главной особенностью КРН является непредсказуемость поведения, потому что каждый дефект – это потенциальная авария. Развитие трещины может происходить как с постоянной скоростью, так и скачкообразно. Поэтому спрогнозировать динамику её развития, является весьма сложной задачей, ведь трещина в любой момент может достигнуть критических размеров, и в конечном итоге наступит разрушение газопровода. Сложившаяся ситуация требует проведения серьезных исследований

Целью данной работы является моделирование напряженно-деформированного состояния коррозионной трещины на участке магистрального газопровода в программе ANSYS.

ANSYS является универсальным расчётным программным комплексом, основанным на методе конечных элементов, предназначенным для моно- и многодисциплинарных расчётов. Он не только обладает наиболее широкими функциональными возможностями, но и наиболее прост в использовании и обеспечивает инженера, проектировщика и расчетчика полным набором возможностей для анализа и оптимизации проекта.

Для решения поставленной цели взят магистральный газопровод диаметром 1420 мм и толщиной стенки 16 мм. В качестве исходных данных к расчету напряженно-деформированного состояния трубопровода было взято типичное проектное решение, основанное на технических требованиях СНиП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы.

Таблица 1

Общие параметры трубопровода

Внутренний диаметр, D_{int} :	1388 мм
Толщина стенки, δ :	16 мм
Глубина залегания, h_0 :	1,2 м
Плотность природного газа, ρ_r :	0,700 кг/м ³
Рабочее давление, P :	8 МПа
Наименование материала:	Сталь 09Г2С
Плотность металла, ρ_m :	7850 кг/м ³
Предел текучести, $\sigma_{тек}$:	355 МПа

Напряженно-деформированное состояние любого несущего элемента линейной части магистрального трубопровода однозначно определяется характеристиками воздействующих на него нагрузок. На подземные трубопроводы, проложенные в траншее, действуют постоянная нагрузка от веса грунта засыпки и длительная нагрузка от внутреннего давления перекачиваемого продукта. Температурные воздействия и воздействия, вызывающие искривление продольной оси трубопровода, в работе не учитываются.

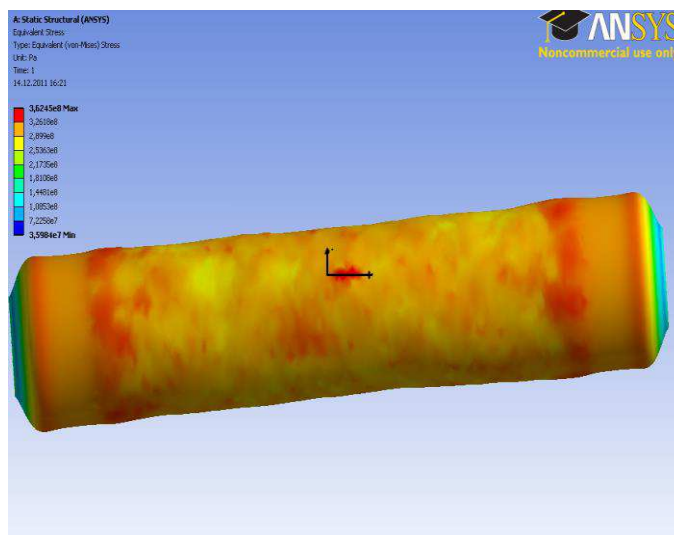


Рис. 1 Распределение напряжений по длине трубы