

φ – угол внутреннего трения грунта засыпки. [3]

Так как значения угла, с помощью которого определяется точка приложения максимальных касательных напряжений достаточно близки к $\beta_1 = 45^\circ$, формула для расчета касательных напряжений:

$$\tau = (H_0 + H_A + 0,15 \cdot D) \cdot \gamma_{cm}. \quad (6)$$

Расчет напряжений растяжения в изоляционном покрытии верхней половины трубопровода

В соответствии с выражениями для нормальных и касательных напряжений в изоляционном покрытии для верхней половины трубопровода можно записать следующее выражение:

$$\sigma_N = \left[H_0 + H_1 + \frac{D}{2} \cdot (1 - \cos \beta_1) \right]. \quad (7)$$

$$\tau = \left(H_0 + H_A + \frac{D}{2} \cdot (1 - \cos \beta_1) \right) \cdot \gamma_2. \quad (8)$$

где H_0 – глубина заложения трубопровода

D – наружный диаметр трубопровода;

β_1 – угол между радиусом и диаметром, проведенным из точки для которой определяются напряжения;

γ_2 – объемный вес грунта;

H_1 – величина, которая учитывает вертикальное давление грунта при осадке в боковых пазухах траншеи.

При укладке трубопровода расчетная формула для определения напряжения растяжения при засыпке трубопровода и последующей рекультивацией земель:

$$T_R = \gamma_2 \cdot \frac{D}{2} \cdot 0,7 \cdot \left[0,25 \cdot \left(H_0 + H_1 + \frac{D}{2} \right) - 0,16 \cdot \frac{D}{2} \right]. \quad (9)$$

Чтобы оценить способность изоляционных покрытий противодействовать усилиям растяжения рассчитывают напряжения растяжения, с учетом реальной толщины применяемого покрытия, по формуле:

$$\sigma_N = \frac{T}{\delta_{из}}, \quad (10)$$

Литература

1. Мустафин Ф. М. и др. Защита трубопроводов от коррозии. – 2005.
2. Прыгаев А.К., Медведева М.Л. «Коррозия и защита магистральных трубопроводов и резервуаров». – М.: РГУ нефти и газа, 2010. – 324 с
3. СТО Газпром 2-2.1-249-2008 «Магистральные трубопроводы. Защита газопроводов от подземной коррозии».

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ, ПРОЛОЖЕННЫХ МЕТОДОМ ГОРИЗОНТАЛЬНО-НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

И.Е. Меркурьев

Научный руководитель – доцент А.Л. Саруев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В последнее время увеличивается число переходов трубопроводов, проложенных горизонтально-направленным бурением. Одним из наиболее ответственных этапов строительства подводного перехода является протаскивание трубопровода в расширенную скважину. На этом этапе возможно образование вмятины на трубе из-за нахождения в стенках скважины валунов.

В последние годы многие исследователи сосредоточили внимание на процессе прокладки трубопроводов наклонно-направленным методом [2 – 4]. Однако некоторые явления отказов трубопроводов в процессе эксплуатации, после завершения прокладки трубопровода малоизучены. Например, образование вмятин на трубопроводе, вызванных валунами в грунте. Целью данной статьи является изучение механизма разрушения трубопровода, проложенного методом горизонтально-направленного бурения. Для этого решены следующие задачи:

– выполнено исследование процессов разрушения подземных трубопроводов с помощью численного моделирования;

– произведен выбор защитного устройства для защиты трубопровода, рассмотрены его осуществимость и надежность.

Объектом рассмотрения в данной статье является участок подводного перехода трубопровода через Босфор Восточный.

На трассе перехода имеются сложные геологические условия в виде прослоев гравийных грунтов и прослоев глины с крупными каменистыми включениями. В связи с этим актуальна проблема смятия трубопровода от действия валунов, находящихся в стенке пробуренной скважины или смятия трубопровода из-за обрушения стенки скважины.

Местные вмятины уменьшают прочность трубы, разрушают изоляционное покрытие и могут привести к образованию трещин. Трещины расширяются под действием внутреннего давления и внешней нагрузки, вызывая разрыв трубопровода.

Численное моделирование образования вмятины на трубопроводе под валуном исследуется с использованием программного продукта ANSYS 14. Форма валуна нерегулярна, поэтому принимаем ее сферической формы. На рис. 1 показана модель конечных элементов для трубопровода, валуна и грунта.

Механическое поведение грунта и валуна описывается с помощью эластично-идеальной пластической модели Кулона-Мора, характеризующейся сцеплением c , углом внутреннего трения φ , модулем упругости E и отношением Пуассона ν . Материал пласта – суглинок. Согласно расчетам, диаметр трубопровода составил 630 мм, а толщина стенки 11 мм. Диаметр скважины составляет 790 мм.

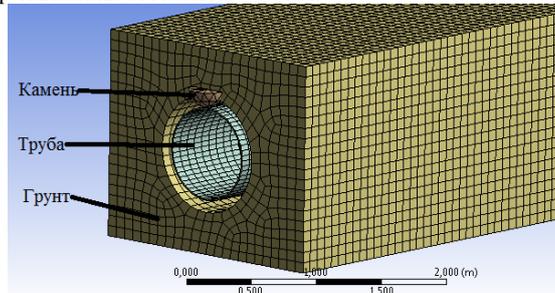


Рис. 1 Модель конечных элементов для грунта, трубопровода и валуна

На рис. 2 показано распределение напряжений по Мизесу в разных фазах нагружения. На начальном этапе напряжения появляются в верхней части трубопровода. Напряжение нижней части трубопровода очень мало. По мере увеличения нагрузки от валуна, область высоких напряжений простирается вдоль осевого и окружного направлений, появляется зубчатая форма напряжений. После снятия нагрузки от валуна максимальные остаточные напряжения появляются на краю вокруг вмятины.

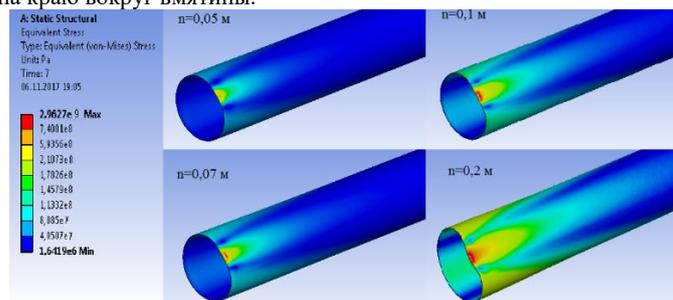


Рис. 2 Напряжения по Мизесу в различных фазах нагружения

Для предотвращения повреждений, уменьшения вероятности отказа и увеличения срока службы трубопровода принято решение использовать защитное устройство.

В ходе работы были рассмотрены и проанализированы несколько патентов на защитные конструкции трубопроводов. Наиболее подходящим по конструкции для данных условий является защитное устройство, представленное в патенте Пат. 125238 РФ F14L9/18 [1].

Как показано на рис. 3, конструкция защитного устройства состоит из трубопровода, защитного трубопровода, конусов, опорных конструкций, уплотнительных колец, фланца, водного канала и клиньев.

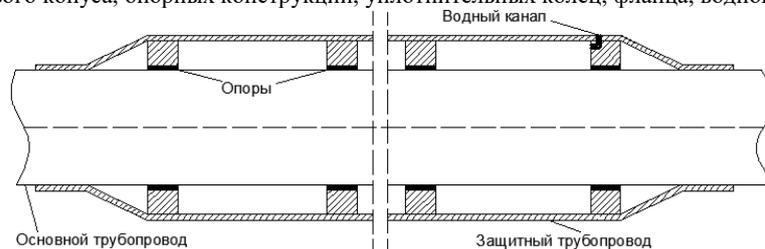


Рис. 3 Конструкция защитного устройства

Защитный трубопровод обжимает основной трубопровод. Длина защитного трубопровода равна длине опасной зоны. В одном из фланцев имеется водный канал. По водному каналу вода закачивается в кольцевое пространство между основным и защитным трубопроводами.

Диаметр защитного трубопровода составляет 730 мм, толщина стенки – 11 мм, давление воды в межтрубном пространстве – 0, радиус валуна – 150 мм. Материалы защитного и основного трубопровода одинаковы. На рис. 4 показано напряжения по Мизесу в трубопроводе в разных фазах при смещении валуна до 200 мм. Перед контактом на защитном трубопроводе появляется вмятина под действием валуна. По мере увеличения смещения

валуна два трубопровода контактируют друг с другом. Напряжение основного трубопровода увеличивается с деформацией защитного трубопровода. Область высоких напряжений появляется вблизи вмятины защитного трубопровода. По мере снятия нагрузки от валуна сохраняются постоянные пластические деформации в стенке основного и защитного трубопроводов. Тем не менее, размер вмятины основного трубопровода меньше, чем вмятина защитного трубопровода.

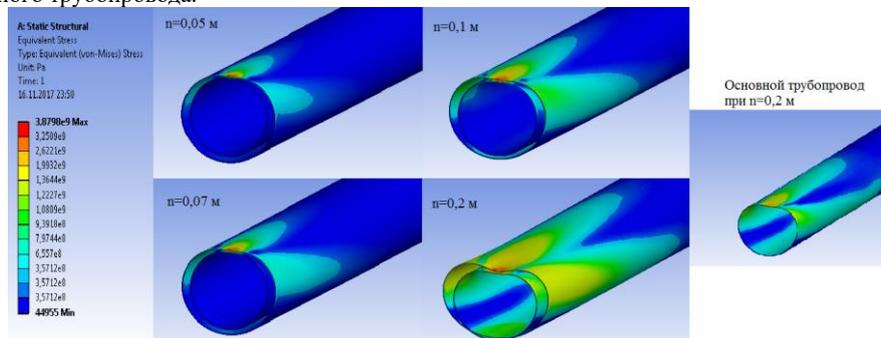


Рис. 4 Распределение напряжений на трубопроводе с защитным устройством

Таким образом, в данной работе исследуется анализ отказов трубопроводов в процессе их строительства. Вмятины являются частыми причинами отказа трубопроводов, проложенных методом наклонно-направленного бурения. В работе произведено моделирование процесса образования вмятины. Результаты показывают, что распределение высоких напряжений происходит вдоль осевого и окружного направлений под нагрузкой валуна, а максимальные эквивалентные пластические деформации появляются в центре вмятины. Чтобы уменьшить вероятность отказа и увеличить срок службы трубопровода, было подобрано защитное устройство для предотвращения повреждений. Защитное устройство может эффективно защищать трубопровод и предотвращать его повреждение.

Литература

1. Пат. 125238 РФ F14L9/18. Устройство для защиты трубопровода при протягивании в скважину / Деулин О.Ю., Богатырев А.П., Яковлев Э. З. – 2012142884/06. Заявлено 09.11.2012; Опубл. 27.03.2013.
2. Liu X. et al. Mechanics analysis of pipe lifting in horizontal directional drilling //Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2016. – Т. 31. – С. 272-282.
3. Booman J., Kunert H., Otegui J. L. Loss of a 30 "directional crossing due to pipeline collapse during pullback //Engineering Failure Analysis. – 2013. – Т. 33. – С. 388-397.
4. Wang X., Sterling R. L. Stability analysis of a borehole wall during horizontal directional drilling //Tunnelling and Underground Space Technology. – 2007. – Т. 22. – №. 5-6. – С. 620-632.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГАЗОПРОВОДА-ОТВОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА

С. Н. Николаенко

Научный руководитель – профессор Бурков П. В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Основными источниками, раскрывающими теоретические основы напряженно-деформированного состояния трубопроводов (далее – НДС), явились работы Гаденина М.М., Махутова Н.А., Цепилова Г.В., Чибисова А.Ю., Иванова В.В. «Разработка автоматизированной системы мониторинга напряженно-деформированного состояния и остаточного срока эксплуатации трубопроводов» [1]; Цысса В.Г., Сергаева М.Ю., Сергаева А. А. «Напряженно-деформированное состояние колебательно-изоляционных трубок в трубопроводных системах» [2]; Х. Мустабира, З. Азари, С. Харири, И. Дмитрака «Трехмерное Т-напряжение в определении направленной стабильности развития трещины в трубопроводе с внешней поверхностной трещиной» [3].

Расчет напряженно-деформированного состояния трубопроводных конструкций магистрального газопровода методами строительных материалов и строительной механики не позволяет произвести точный анализ и оценку НДС объектов транспортировки газа.

Интенсивное развитие получают численные методы, предоставляющие новые возможности значительного расширения класса и постановки решаемых задач за счет более полного учета реальных условий нагружения и свойств используемых материалов [4]. Метод конечных элементов (далее – МКЭ) получил наибольшее распространение среди численных методов решения поставленных задач, при этом минимум требований к исходной информации и оптимальная форма результатов являются бесспорными достоинствами МКЭ.

Программа Ansys, как и многие другие САЕ-продукты, для математического моделирования различных физических процессов, использует МКЭ. Данный метод сочетает в себе универсальность алгоритмов решения различных краевых задач с эффективностью компьютерной реализации вычислений [5].