

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НАДЗЕМНОГО НЕФТЕПРОВОДА С УЧЕТОМ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИНЫ

Е. Ю. Гвоздырев

Научный руководитель доцент, кандидат технических наук В. Г. Крец
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Развитие нефтегазового комплекса нашей страны во многом определяется созданием системы транспорта углеводородов, основным видом которого является трубопроводный транспорт. Значительная часть магистральных нефтепроводов нашей страны в настоящее время имеет большой срок эксплуатации. Статистика закономерно связывает аварийные ситуации на магистральных нефтепроводах с их «возрастом» [1]. Вопрос анализа состояния магистральных нефтепроводов является актуальным. Его актуальность значительно возросла в последнее время в связи с длительным сроком эксплуатации большинства имеющихся нефтепроводов и их значительной изношенностью, а также из-за повышения требований к экологической безопасности.

Под воздействием условий эксплуатации в трубопроводах с течением времени накапливаются и развиваются трещиноподобные дефекты. По данным эксплуатации характер повреждений трубопроводов, нагруженных внутренним давлением и осевой растягивающей или сжимающей силой, связан с наличием несквозных поверхностных трещин. Вследствие того, что трещина является жестким концентратором напряжений, в области вершины трещины возникают пластические деформации.

Надземная прокладка трубопроводов или их отдельных участков допускается в различных условиях от горных районов до болотистых местностей. В каждом конкретном случае надземная прокладка трубопроводов должна быть обоснована технико-экономическими расчетами, которые подтверждают экономическую эффективность, техническую целесообразность и надежность трубопровода.

Надземные переходы подразделяются на подвесные (вантовые), арочные, балочные.

Надземные балочные переходы могут быть выполнены одно- или многопролетными, с компенсаторными устройствами и без них. Наиболее экономичными конструктивными схемами являются одно- и многопролетные (число пролетов не более четырех) балочные переходы без компенсации продольных усилий.

Трубы магистральных нефтепроводов (а также нефтепродуктопроводов и газопроводов) изготавливают из стали, т.к. это экономичный, прочный, хорошо сваривающийся и надежный материал [2].

Целью данной работы является определение условий обеспечивающих прочностные характеристики стальных нефтепроводов для обеспечения их надежной и долговечной эксплуатации. В процессе технологического цикла изготовления и эксплуатации нефтепроводов из стали в них могут возникать нагрузки различного характера, которые в итоге приводят к формированию трещин и в дальнейшем к разрыву. Наиболее характерными являются нагрузки, связанные с технологическими режимами работы трубопровода. Во-первых, к ним относится расчетная квазистатическая рабочая нагрузка конкретного трубопровода. Во-вторых, в зависимости от применяемых насосов, задвижек в трубопроводе могут возникать динамические нагрузки в виде импульсных, осциллирующих и собственных колебаний жидкости на участке между запорными элементами.

Размеры трещины: длина 2020 мм, глубина 4 мм, ширина трещины 3 мм. Диаметр исследуемого нефтепровода 720 мм, толщина стенки 10 мм, рабочее давление 5 МПа, температура окружающей среды 22°C. Нефтепровод проходит над землей, плотность нефти $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$. Характеристика материала трубы: сталь СТ20 со следующими механическими характеристиками: предел прочности $\sigma_b = 471 \text{ МПа}$, предел текучести $\sigma_t = 265 \text{ МПа}$ [3]. На нефтепровод, кроме рабочего давления, действуют следующие нагрузки: распределенная нагрузка от веса самой трубы и перекачиваемого продукта – $q = q_t + q_n$.

$$q_m = n_{св} \cdot \gamma_m \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_n^2 - D_{вн}^2) = 1,1 \cdot 78500 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (0,720^2 - 0,700^2) = 1925 \text{ Н/м}^2,$$

где $n_{св} = 1,1$ – коэффициент надежности по нагрузкам при расчете на продольную устойчивость и устойчивость положения;

γ_m – удельный вес металла, из которого изготовлены трубы, для стали $\gamma_m = 78500 \text{ Н/м}^3$;

D_n – наружный диаметр трубы;

$D_{вн}$ – внутренний диаметр трубы.

$$q_n = \rho \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot D_{вн}^2}{4} = 750 \cdot 9,81 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,700^2}{4} = 2830 \text{ Н/м}^2,$$

где ρ – плотность нефти;

$g = 9,81$ – ускорение свободного падения.

$$q = q_m + q_n = 1925 + 2830 = 4755 \text{ Н/м}^2 \text{ [4]}.$$

Проанализируем 2 модели: Модель 1 – труба только введена в производство, на неё действуют нагрузки, указанные выше, без трещин; Модель 2 – на трубе образована трещина максимального размера. Моделирование и расчет напряженно-деформированного состояния проводились методом конечных элементов в программном продукте ANSYS Workbench [5]. Расчетная схема представлена на рисунке 1.

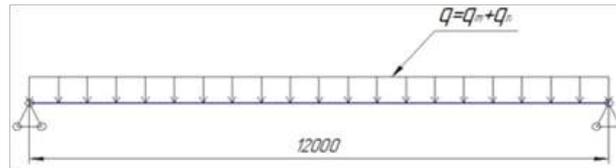


Рис. 1. Расчетная схема нефтепровода

Порядок моделирования НДС магистрального нефтепровода с трещиной состоит из следующих этапов:

1. Моделирование материала исследуемой геометрии.
2. Моделирование опор и нагрузок, действующих на трубопровод.
3. Моделирование сетки конечных элементов. Расчет НДС.
4. Анализ полученных результатов.

Результаты расчета трубопровода без трещины приведены на рисунках 2, 3.

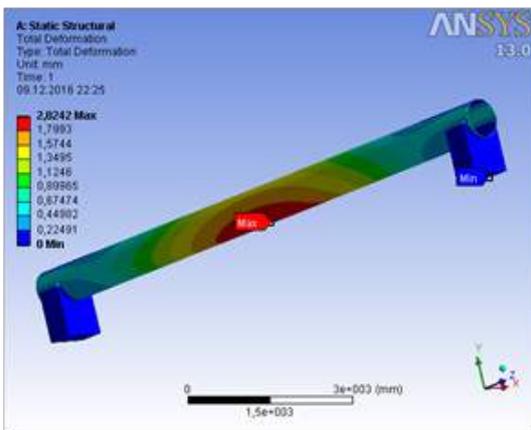


Рис. 2. Расчетные деформации без трещины

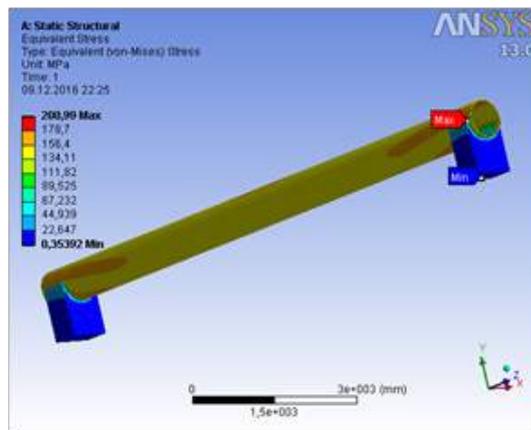


Рис. 3. Расчетные напряжения без трещины

Результаты расчета трубопровода с трещиной приведены на рисунках 4, 5.

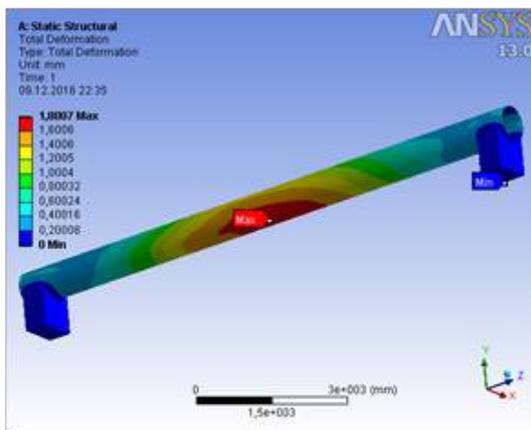


Рис. 4. Расчетные деформации с трещиной

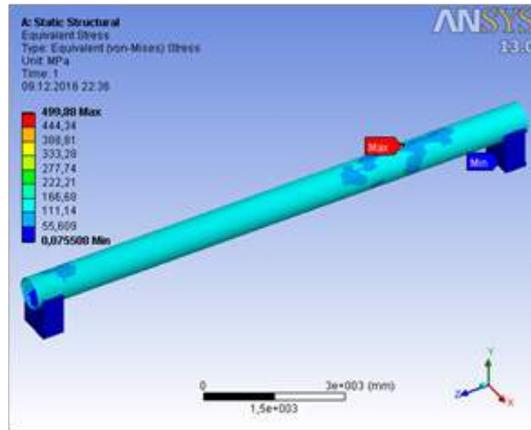


Рис. 5. Расчетные напряжения с трещиной

Когда отсутствует трещина, напряженное состояние вполне соответствует техническим условиям (ГОСТ 31447-2012) и может дать большие сроки службы трубопровода. В случае реальной эксплуатации трубопровода, на него действуют нагрузки, связанные с технологическими режимами работы трубопровода, приводящие к образованию трещин. При достижении критической поврежденности трубы, начинается устойчивый рост трещины, который приводит к дальнейшему разрушению.

Выводы:

- на стальном нефтепроводе без трещины максимальные напряжения приходятся на наружную стенку трубы в месте, где установлены опоры, суммарные перемещения существенно зависят от действия распределенных нагрузок от веса самой трубы и перекачиваемого продукта, наиболее опасное сечение находится на нижней образующей наружной стенки трубопровода между опорами;
- на стальном нефтепроводе с трещиной опасное сечение находится в центре трещины, здесь наблюдаются

максимальные напряжения, которые превышают предел прочности и, следовательно, ведут к разрушению. А максимальное перемещение находится на нижней образующей наружной стенки трубопровода между опорами;

- полученные результаты показывают, что при образовании данной трещины, максимальное напряжение, действующее на трубопровод, $\sigma_{\text{Max}} = 499,88$ МПа превышает предел прочности $\sigma_b = 471$ МПа.
- для предотвращения разрыва трубы необходимо выполнить ремонт нефтепровода.

Литература

1. Курочкин В.В. Прогнозирование ресурса и капитального ремонта магистрального нефтепровода, автореферат диссертации, Москва, 2000, с. 26.
2. Справочник инженера по эксплуатации нефтегазопроводов и продуктопроводов. Учебно-практическое пособие. – М.: «Инфра-Инженерия», 2006. - 928 с.
3. ГОСТ 31447-2012 Трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Технические условия (с Поправкой).
4. СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*.
5. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учеб. пособ. / В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.: ил.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УВЛАЖНЕНИЯ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА ОСНОВАНИЯ ХРАНИЛИЩ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

М. И. Гильдебрандт, А. В. Грузин

Научный руководитель к. т. н., доцент А. В. Грузин

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

На жизненный цикл хранилищ жидких углеводородов существенное влияние оказывает качество подготовки их грунтовых оснований. Согласно нормативным документам грунтовые основания должны выполняться из послойно уплотненного при оптимальной влажности грунта [2, 6-9]. Очевидно, что на качество подготовки основания будут влиять такие факторы как толщина увлажняемого слоя, количество потребной для увлажнения воды и время, необходимое для достижения слоев песчаного грунта оптимальной влажности.

На базе организованной в ОмГТУ студенческой научно-исследовательской лаборатории «Основания и фундаменты объектов нефтегазовой отрасли» проводятся лабораторные исследования, направленные на уточнение динамики увлажнения песчаного грунта заданным количеством воды. Для проведения лабораторных исследований был изготовлен специализированный стенд (рис 1.а) [5]. Высота корпуса стенда равна 30 см, что, как правило, соответствует толщине слоя песчаного грунта, укладываемого в основание хранилищ для дальнейшего послойного уплотнения. Разделение корпуса на отделы позволяет одновременно независимо испытывать несколько образцов грунта. Поперечные размеры отделов равны 10 см. Таким образом, максимальный объем исследуемого образца грунта может достигать 3000 см³. Для забора проб увлажненного грунта стенка каждого отдела вдоль своей вертикальной оси имеет ряд отверстий, расположенных на равном расстоянии друг от друга и закрываемых пробками. Для предотвращения потерь воды путём её испарения каждый отдел стенда сверху плотно закрывается крышкой.



а)



б)

Рис. 1. Специализированный лабораторный стенд (а);
галогенный анализатор влагосодержания HB43-S (б)