

## **ТРУБОПРОВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ И ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ**

УДК 624.078.1/.2

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ НАДЁЖНОСТИ БАЛЛАСТИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**Н. А. БОГДАНОВИЧ**

*(Представлено: канд. техн. наук, доц. Л. М. СПИРИДЕНОК)*

*В данной статье рассмотрен вопрос о эффективности использования метода математического моделирования, возможности разрушения изоляции трубопровода и соединительных элементов утяжелителей при установке балластирующих элементов свыше угла в 5 градусов.*

**Введение.** Одним из условий надежной и безопасной эксплуатации магистральных нефтепроводов является соблюдение их нормативной глубины залегания относительно поверхности земли. На трубопроводах, проходящих по заболоченным участкам, с целью предотвращения возможности всплытия необходимо использовать балластирующие устройства (утяжелители). По положению пункта 9.6 ТКП [1] «утяжелители следует располагать на нефтепроводе без наклона в ту или другую сторону относительно вертикали. Допускается отклонение от вертикального положения не более 5°».

Однако при проведении работ по установке балластирующих устройств типа УБО (устройство балластирующее охватывающее) могут быть использованы имеющиеся в наличии утяжелители, предназначенные для магистральных нефтепроводов большего диаметра, с соединительным поясом большей длины. В таком случае возникает проблема увеличения угла наклона относительно вертикали, который в таком может превышать требования технического нормативного правового акта. Для проверки напряжения в конструкции применялось математическое моделирование в программе SolidWorks, так как данная программа покажет с максимальной точностью, поведение магистрального нефтепровода на протяжении его эксплуатации.

#### **Постановка задач:**

- Анализ возможных последствий нефтепровода.
- Изучение всех составных компонентов и характеристик системы трубопровода с утяжелителем.
- Создание трёхмерных моделей всех элементов с указанными характеристиками.
- Определение усилий, оказываемых соединительными поясами на изоляцию в местах соприкосновения, а также сборка трехмерной модели всех компонентов.
- Процесс «симуляции» напряженно-деформированного состояния системы.

**Основная часть.** Первым этапом проведение математического моделирования - анализ возможных последствий. Из анализа были выбраны следующие сценарии разрушения конструкции вследствие изменения угла установки утяжелителей:

- Увеличение статических напряжений и разрушение соединительных поясов и/или изоляции, вследствие уменьшения пятна контакта изоляция-соединительный пояс.
- Смятие или истирание изоляционного покрытия магистрального нефтепровода при перемещении соединительного пояса вследствие подвижек грунта и вибрационных воздействий турбулентного потока перекачиваемой нефти.

При рассмотрении возможности реализации первого сценария разрушения было решено создать математическую модель и определить напряженно-деформированное состояние исследуемой системы нефтепровод-утяжелитель. Для создания модели на первом этапе были изучены составные элементы моделируемой системы, их геометрические параметры и характеристики используемых материалов. Для определения составных элементов данной системы использовались рабочие чертежи и технические условия на изготовление и утяжелителей типа УБО-1020 [2,3], а также технические условия на изготовление труб с заводским антикоррозионным полимерным покрытием, используемых для магистральных нефтепроводов [4].

Для моделирования были приняты следующие параметры компонентов системы:

- Характеристика трубопровода: наружный диаметр – 820 мм, толщина стенки – 10 мм, материал трубопровода – Сталь 17ГС.
- Характеристика изоляции: заводская трехслойной изоляции типа ЗН-1, толщина изоляции – 3 мм, защита изоляции – скальный лист.

- Соединительный пояс: – 1-ПС 1020.
- Характеристика блоков утяжелителей ГОСТ, Серия ТУ 102-300-81: длина L – 1500 мм, высота h– 1100 мм, геометрический объем– 0,907 м.куб. объем бетона– 0,73 м.куб, вес – 1680 кг.

Моделирования напряженно-деформированного состояния в конструкции проводилось с использованием метода конечных элементов. Анализ конструкций, сборных элементов, деталей и узлов, осуществлялся с помощью системы SolidWorks Simulation которая полностью интегрирована с SolidWorks [5-8]. Такой анализ позволил прогнозировать поведение компонентов в реальной среде путем виртуального тестирования САД-моделей. Помимо всего она обеспечивает анализ напряжения в конструкции, потери устойчивости, оптимизации, частотный и термический анализ, а также позволяет производить аналитические решения задач. В процессе моделирования создавались трёхмерные модели всех перечисленных компонентов, с соответствующими геометрическими параметрами и характеристиками. Каждый компонент: – труба, трехслойная изоляция с защитным покрытием из скального листа, соединительный пояс, блоки, сопрягались друг с другом во взаимосвязях.

При проведении моделирования рассматривалась статическая линейно-упругая изотропная модель взаимодействия компонентов и использовался встроенный решатель FFEPlus, которому позволялось моделировать в том числе и при больших смещениях элементов модели. Для определения напряженно-деформированного состояния использовалось сплошное покрытие расчетной модели сеткой с размером ячейки 60 мм.

В результате анализа полученных данных определена площадь пятна контакта соединительного пояса и изолированной поверхности нефтепровода (ширина которого равно 90 мм, длина дуги соприкосновения пояса и изоляции – 260 мм). Изменение угла отклонения утяжелителей в вертикальной плоскости менее 300 в процессе моделирования было запрещено, чтобы не увеличивать возможное пятно контакта и рассматривать наихудший из возможных вариантов нагружения. Напряжение в металлической ленте соединительного пояса в результате воздействия нагрузки от блоков составит 238 МПа, при этом деформации пояса не наблюдалась. Изоляционное покрытие будет сжато, но его повреждения не произойдет. Дальнейшее моделирование увеличения нагрузки на нефтепровод до разрушения показало, что разрыв соединительного пояса произойдет при напряжениях 715 МПа и деформации (удлинении) пояса на 8.717 мм. При этом повреждения изоляции не наблюдается, а её деформация (сжатие) составляет 1,38002 мм.

В итоге проведенного расчета статической модели нефтепровода на прочность выявлено, что разрушения изоляции и соединительных элементов не произойдет. Напряжения в соединительных элементах составляют одну треть от напряжений, которые могут разрушить изоляцию.

**Вывод.** Для определения нагрузок на магистральный нефтепровод, эффективно использовать метод математического моделирования, так как этот метод точнее всех приближен к реальным условиям эксплуатации нефтепровода. Проведенные исследования с использованием разработанной математической модели нефтепровода показали, что напряжения в соединительных поясах утяжелителей и в изоляции нефтепровода не критичны. Работоспособность и долговечность нефтепровода при таком нагружении обеспечивается, так же трубопровод выдержит вибрацию под действием внешних сил и смещение соединительного пояса не произойдет.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ТКП 419-2012 (09100) «Строительство магистральных нефтепроводов. Конструкции и балластировка».
2. Утяжелители бетонные охватывающие для магистральных трубопроводов. Проект №999Б. Рабочие чертежи. Миннефтегазстрой. Главное техническое управление. Экспериментально-конструкторское бюро.
3. ТУ 102-300-81 Утяжелители сборные железобетонные охватывающего типа.
4. ТУ 14-3 Р-67-2003 Трубы стальные электросварные диаметром до 1420 мм с наружным антикоррозионным полиэтиленовым покрытием для строительства магистральных нефтепроводов.
5. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации, ДМК Пресс, 2015, 562 с.
6. Dassault Systemes Новые возможности SolidWorks 2019 Издательство: USA: Waltham: Dassault Systemes (DS) SolidWorks Corp. 2019 – 242 с.
7. Бате Н., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. – М.: Стройиздат, 1982. – 448 с.
8. Голованов А.П., Тюленева О.Н., Шигабутдинов А.Ф. Метод конечных элементов в статике и динамике тонкостенных конструкций. – М. : Физматлит, 2006. – 392 с.