

ИССЛЕДОВАНИЕ НА ПРОЧНОСТЬ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКАХ

Кончина Л.В., Поваренкова А.А.

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, Россия

Проблема разрывов трубопроводов ведет к экологическим потерям. Зачатки проблемы зарождаются на этапе строительства трубопровода, а именно при непосредственном выборе профиля дна траншеи.

Решением проблемы может стать исследование на прочность магистральных трубопроводов на криволинейных участках и математическое моделирование прочности трубопровода, необходимое для прогнозирования возможных утечек.

Под влиянием почвы происходит естественный изгиб трубопровода, то есть поворот оси трубопровода в вертикальной или (и) горизонтальной плоскости.

Для прилегания трубопровода к дну траншеи профиль дна траншеи примем в соответствии с упругой линией трубопровода, которая определяется граничными условиями, поперечной нагрузкой и ее распределением [1].

Рассмотрим следующую задачу: получить дифференциальные уравнения изгиба трубопровода без учета его горизонтальных составляющих перемещений, а также определить граничные условия для их решения.

В работе представлена модель поворота оси трубопровода в вертикальной плоскости выпуклостью вниз при повороте на угол φ , если по трубопроводу движется продукт со скоростью \vec{V} , при этом изгиб осуществляется за счет поперечной нагрузки, которая складывается из симметрично расположенной равнодействующей внешней нагрузки интенсивностью q и центробежной силы \vec{F} (см. рис. 1). Трубопровод можно рассматривать как стержень трубчатого сечения из упругого материала. Податливостью основания пренебрегаем и считаем его абсолютно жестким.

Приближенное дифференциальное уравнение изогнутой оси балки [2, 3]:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M}{EJ} \quad (1)$$

где EJ – жесткость трубопровода; M – изгибающий момент.

Разобьем задачу на два участка: участок, на котором действует только центробежная сила (перемещение - y_1) и участок, на котором действует центробежная сила F и равномерно распределенная нагрузка q , интенсивность которой зависит от плотности грунта, высоты засыпки и других параметров, влияющих на изгиб нефтепровода. (перемещение - y_2) [1]:

$$\frac{d^2 y_1}{dx^2} = -\frac{F}{2EJ} x^2 \quad (2)$$

$$\frac{d^2 y_2}{dx^2} = -\frac{qx^2}{2EJ} - \frac{F}{2EJ} x^2 \quad (3)$$

Согласно работе [4]:

$$F = \frac{\pi \rho V^2 r^2}{R} (1 - \cos \beta),$$

ρ – плотность нефтепродукта, r – радиус трубопровода, R – радиус закругления трубопровода, поворотом на угол β .

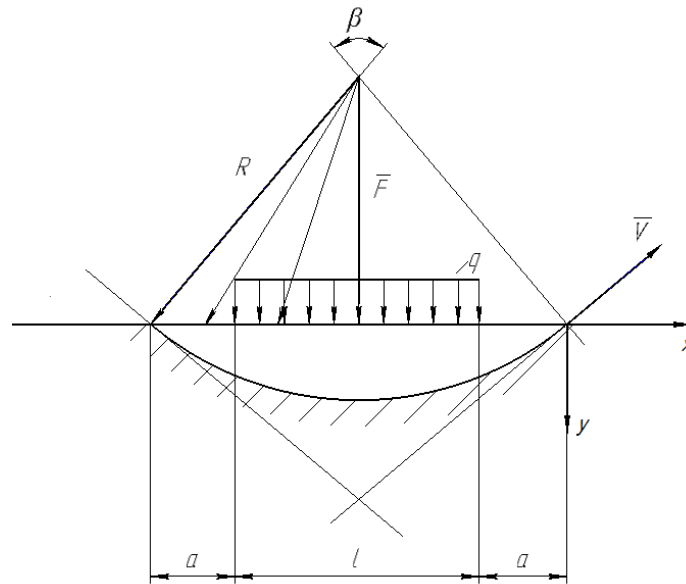


Рис. 1. Схема оси трубопровода в вертикальной плоскости выуклостью вниз

В соответствии с принятой системой координат (см. рис. 1) граничные условия и условия сопряжения двух участков с учетом симметричности трубопровода имеют вид [4]:

$$\begin{aligned}
 &\text{при } x = 0 : y_1 = 0, y_1' = \frac{\varphi}{2}, y_1'' = 0; \\
 &\text{при } x = a : y_1 = y_2, y_1' = y_2', y_1'' = y_2''; \\
 &\text{при } x = \frac{l}{2} : y_2' = 0.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Граничных условий (4) достаточно для того, чтобы для данной модели трубопровода определить перемещения на участках y_1, y_2 , а также длину волны изгиба трубопровода и наибольшую интенсивность поперечной распределенной нагрузки.

Решая (2), можно получить уравнение, определяющее формулу упругой линии на участке.

Графики уравнений упругой линии для трубы из стали 09Г2С наружным диаметром 325 мм (0,325 м) SDR 21, имеющей нормативную кольцевую жесткость $S_R = 0,008$ МПа, представлены на рисунке 2. Труба укладывается на качественно подготовленное основание, пазухи и бока трубы засыпаются песком и уплотняются тяжелым инструментом.

Нагрузку грунта на метр длины трубопровода q можно определить двумя способами:

$$1) \text{ метод «в насыпи»: } q = \gamma HD,$$

где γ – плотность грунта (20 кН/м^3). Когда уровень грунтовых вод превышает уровень укладки трубопровода, плотность грунта уменьшают до кажущейся плотности грунта в воде, обычно 11 кН/м^3

$$2) \text{ метод «в траншее»: } q = 0,8\gamma HD$$

Примем метод «в насыпи», так как он дает более тяжелые условия нагружения.

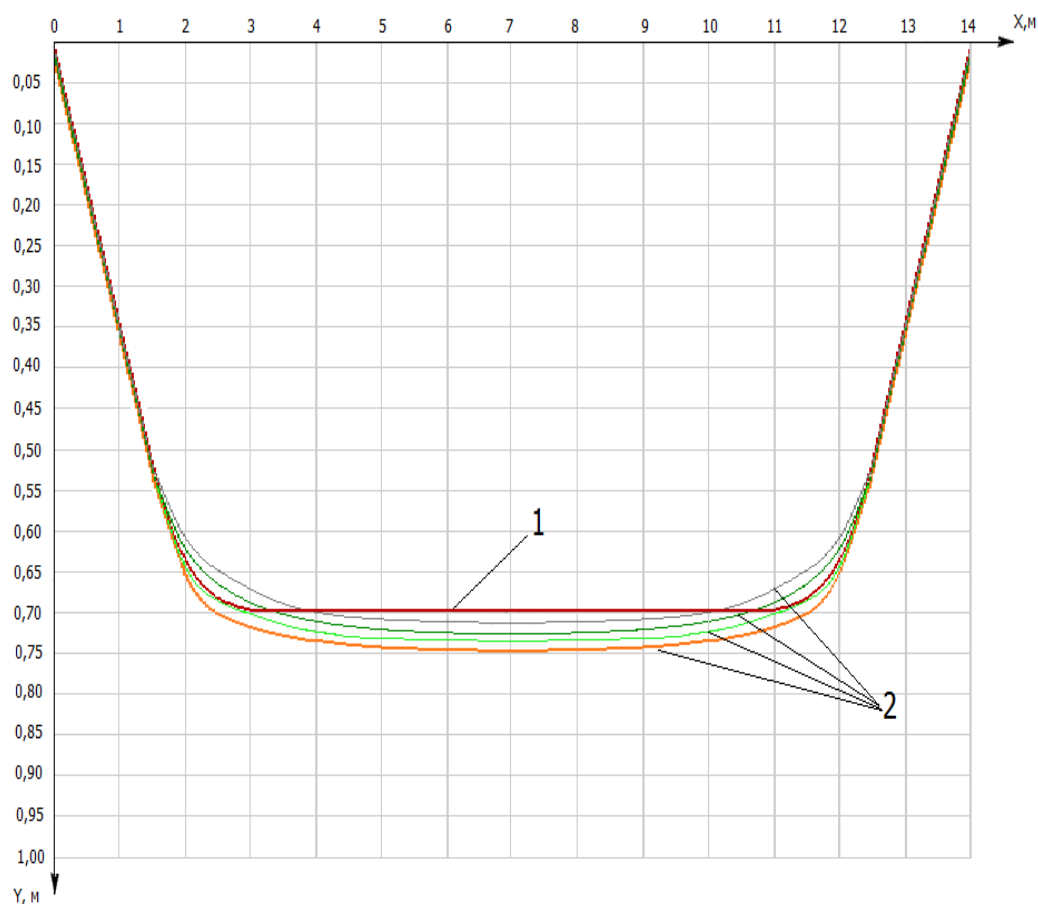


Рис. 2. График упругой линии участка трубопровода: 1 – без учета центробежной силы; 2 – с учетом

Анализ графиков показал, что существующие расчетные обоснования напряженно-деформированного состояния трубопроводов не охватывают в полной мере все параметры, влияющие на изгиб трубопровода, что в ряде случаев не обеспечивает требуемый уровень надежности.

Влияние центробежной силы оказывает значительное изменение вида упругой линии, что свидетельствует о возможности разрыва трубопроводов в месте наибольшего перегиба. Следует отметить, что уравнение упругой линии без учета центробежной силы не имеет ярко выраженного перегиба.

Следовательно, метод расчета без учета центробежной силы не может служить достоверной оценкой надежности, прочности, устойчивости и требуемого уровня безопасности при эксплуатации трубопровода.

Таким образом, центробежная сила при моделировании изгиба трубопровода должна являться обязательной составляющей наравне с внешними нагрузками, действующими на участок трубопровода.

Моделирование опасных участков трубопровода необходимо проводить в технических системах с учетом всех факторов, влияющих на состояние трубопровода, в реальной местности и с учетом отличительных особенностей климата. Регулировка напряженного состояния осуществляется за счет изменения входных параметров таких как, диаметр трубопровода, материала, плотности грунта, высоты засыпки и других параметров, влияющих на изгиб нефтепровода.

Преднамеренное моделирование опасных участков магистрального нефтепровода оказывает положительный эффект на конечный результат использования систем транспортировки нефти. На данном этапе прогнозирования возможно предотвратить послед-

ствия разлива продукта, механических повреждений поверхности труб, выбрать наиболее оптимальные проектные решения при прокладке и формирования линии трубопровода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айнбиндер А. Б. *Расчет магистральных трубопроводов: Справочное пособие* / А. Б. Айнбиндер. – М.: Недра, 1991. – 287 с.
2. Пономарев К.К. *Составление дифференциальных уравнений* / К.К. Пономарев. - Минск: «Высшая школа», 1973. – 560 с.
3. Саргсян А.Е. *Строительная механика. Основы теории с примерами расчетов* / Саргсян А.Е., Демченко А.Т., Дворянчиков Н.В., Джинчвелашвили Г.А. – М.: Высшая школа, 2000. – 416 с.
4. Иванов И.С. *Нагрузки от центробежных сил в трубопроводах с поворотами* / *Экспозиция нефть и газ.* – 2010. – №12. – С. 30-31.
5. Кончина Л.В., Поваренкова А.А. *Анализ упругой линии трубопровода, находящегося под действием поперечной нагрузки с учетом центробежной силы*// *Журнал «Естественные и технические науки» № 10 (100) 2016 г.* – С. 97-99. (ВАК).