

4. Бархатов А.Ф., Настепанин П.Е. Противотурбулентная присадка как один из способов снижения капитальных и эксплуатационных затрат // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – М., 2014. – С.18 – 26.
5. Ревель-Муроз П.А. Разработка методов повышения энергоэффективности нефтепроводного транспорта с внедрением комплекса энергосберегающих технологий: дис. к.т.н – Уфа, 2018 – 202 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ ДЛЯ УСТАНОВКИ ОСЕЙ УПРУГО-ИЗОГНУТОГО ТРУБОПРОВОДА В ЕДИНУЮ ПРОДОЛЬНУЮ ЛИНИЮ

Бычков Н.А.

Научный руководитель доцент Н.В. Гончаров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Сведение стыков магистральных трубопроводов при ремонте методом замены дефектного участка относится к одной из наиболее ответственных и трудоёмких операций. При вырезке дефектных участков магистральных нефтепроводов регламентируется установка осей соединяемых трубопроводов в единую продольную линию, а также параллельность торцевых поверхностей [4], а при невозможности – установка гнутых отводов. Для выполнения работ, как правило, применяются краны-трубоукладчики и наружные центраторы. Одним из возможных способов повышения эффективности выполняемых работ является применение специальных устройств, позволяющих фиксировать, а в ряде случаев и регулировать положение стыкуемых участков трубопровода [3]. Вопросы стыковки трубопроводов с ненормативными радиусами подробно рассмотрены в [1, 2]. Однако в представленных работах не рассматриваются случаи ремонта трубопроводов с радиусами изгиба не превышающими нормативные значения.

Целью данной работы является определение усилий необходимых для выведения в единую продольную линию упруго-изогнутого трубопровода с минимальным нормативным радиусом начальной кривизны и оценка характера его напряженно-деформированного состояния.

Рассмотрен случай ремонта участка магистрального нефтепровода с условным диаметром  $D_y = 500$  мм, с толщиной стенки 10 мм, уложенного в грунт второй категории с минимальным нормативным диаметром упругого изгиба  $R=1000D_y=500$ м [5] при ремонте методом замены дефектной «катушки» длиной 10 м. Материал трубопровода – сталь класса прочности К60. Расчет производился для двух случаев упругого изгиба опорожненного трубопровода в вертикальной плоскости: изгиб выпуклостью вверх и изгиб выпуклостью вниз. Положение изгиба принято посередине рассматриваемого участка. При расчете учитывались нагрузки от веса трубопровода с изоляцией и напряжения, вызванные первоначальным упругим изгибом. Расчетная схема участка трубопровода приведена на рис. 1. Положение I соответствует начальному изгибу трубопровода с минимальным нормативным радиусом изгиба. Положение II достигается при выведении участка трубопровода, подлежащего ремонту в единую продольную линию в местах будущих резов. Силы  $F$  соответствуют усилиям от действия специальных регулировочных устройств.

Для вывода трубопровода в единую продольную линию определялись значения усилий  $F$ , при которых точки  $A_0, O_0, B_0$  будут располагаться на горизонтальной прямой. Взаимное расположение торцевых поверхностей будущих резов оценивалось положением отрезков  $A_B A_n$  и  $B_B B_n$  относительно вертикальных осей.

Для решения задачи методом конечных элементов в среде Ansys с помощью инструментов виртуальной топологии смоделирован участок рассматриваемого трубопровода общей протяженностью 32 м (рис.2). Перед закреплением на участок трубопровода были приложены изгибающие моменты по краям участка, которые обеспечили упругий изгиб с минимальным нормативным радиусом. После этого, были определены координаты положения характерных точек в местах закрепляемых концевых участков. Задав полученные координаты на торцах в качестве начальных условий при рассмотрении модели удалось добиться изогнутого положения трубопровода без приложения изгибающих моментов. В основу моделирования условий закрепления концевых участков в грунте положена модель Винклера при которой сопротивление грунта пропорционально поперечным перемещениям трубы. Для условий закрепления участков трубопровода, составляющих 3 м, применен коэффициент постели грунта равный  $7 \text{ МН/м}^3$ . На верхнюю образующую трубопровода в месте закрепления приложена распределённая нагрузка, соответствующая весу грунта.

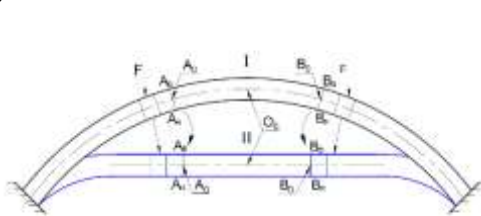


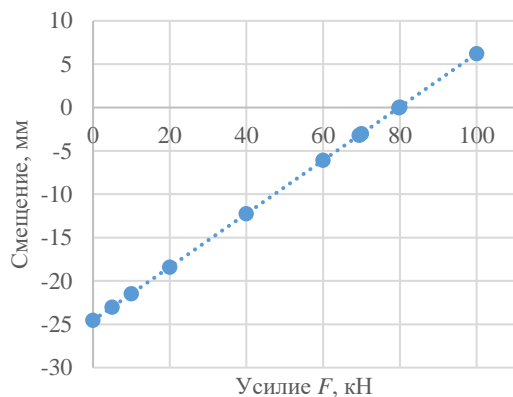
Рис.1. Схема участка трубопровода с выпуклостью вверх



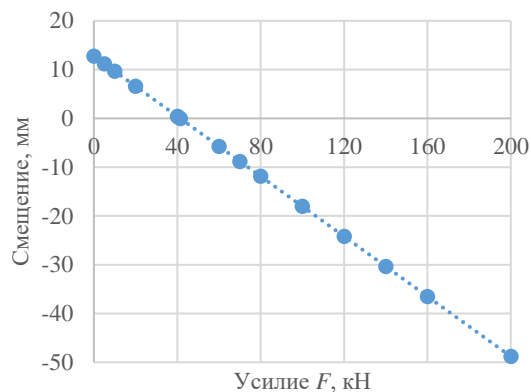
Рис. 2. Модель участка трубопровода

В процессе исследования на рассматриваемой модели были определены зависимости смещений контролируемых точек  $A_0, O_0, B_0$  относительно друг друга, которые позволили определить усилия  $F$ , необходимые для установки осей в единую продольную линию. Определено, что для установки трубопровода, изогнутого выпуклостью вниз, значение  $F$  составило 79,8 кН, а выпуклостью вверх – 41,4 кН. Установлено, что зависимости взаимного

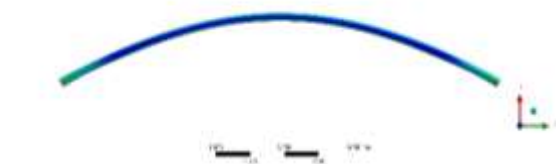
смещения точек  $A_0$  и  $O_0$  от значения усилия  $F$  имеют линейный характер (рис. 3,4). При этом отмечено, что при нулевом смещении точек  $A_0$  и  $O_0$  отрезки  $A_вA_n$  и  $B_вB_n$  расположились на вертикальных прямых. Распределение напряжений до и после приложения расчетных нагрузок  $F$  представлены на рис. 5, 6. Анализ напряжённо-деформированного состояния показал, что максимальные эквивалентные напряжения на участке трубопровода после приложения расчетных усилий  $F$  составили соответственно 221,56 и 207,28 МПа.



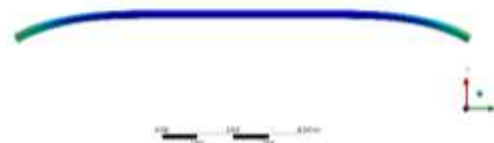
**Рис. 3. Зависимость смещения при начальной выпуклости участка вверх**



**Рис. 4. Зависимость смещения при начальной выпуклости участка вниз**



**Рис.5. Распределение напряжений на участке трубопровода без приложения усилий  $F$**



**Рис. 6. Распределение напряжений на участке трубопровода после приложения усилий  $F$**

Предложена расчетная схема по определению усилий для установки осей участка упруго-изогнутого трубопровода в единую продольную линию. Для решения задачи разработана конечно-элементная модель, учитывающая условия закрепления трубопровода в грунте. Получены зависимости смещения контрольных точек от значения корректирующих положение усилий. Оценено напряженно-деформированное состояние до и после выведения трубопровода в единую продольную линию.

#### Литература

1. Ремонт магистральных трубопроводов с ненормативными радиусами изгиба оси трубы / Р. М. Аскарлов, М. В. Чучкалов, М. Б. Тагиров, А. Н. Кукушкин // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2019. – № 12(96). – С. 72-77.
2. Варшицкий, В. М. Определение параметров ремонта трубопровода с начальной кривизной / В. М. Варшицкий, И. Б. Лебеденко, Э. Н. Фигаров // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2021. – Т. 11. – № 1. – С. 70-77. – DOI 10.28999/2541-9595-2021-11-1-70-77.
3. Патент № 2708758 С2 Российская Федерация, МПК F16L 1/028, F16L 1/10. Способ ремонта дефектных участков трубопровода в траншее: № 2016139934: заявл. 10.10.2016: опубл. 11.12.2019 / Ю. Д. Коннов, Ю. Г. Матвеев, Р. Ф. Хабибуллин, А. Ю. Чеботарев.
4. РД 153-39.4-130-2002. Регламент по вырезке и врезке «катушек» соединительных деталей, заглушек, запорной и регулирующей арматуры и подключению участков магистральных нефтепроводов. М.: ГУП Издательство «Нефть и газ», 2002. 80 с.
5. СП 86.13330.2012. Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП III-42-80\*. М.: Минрегион России, 2012. 47 с.