

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА СЛОЖНЫХ УЧАСТКАХ ТРАССЫ

Трошков Н.А.

ОАО "Институт "Нефтегазпроект", г. Тюмень

Сооружение и эксплуатация трубопроводов в районах со сложными природными и климатическими условиями обуславливают необходимость усовершенствования методов их проектирования и принятия новых конструктивных решений. Сооружение трубопроводов в таких условиях приводят к возникновению высоких напряжений при их эксплуатации и необходимости принятия конкретных мер по обеспечению надежной и безопасной эксплуатации трубопроводов. Был выполнен анализ конструктивных решений и напряженно-деформированного состояния сложных участков подземных трубопроводов. К сложным участкам в данной работе отнесены криволинейные участки подземных трубопроводов, сооруженные при отрицательной температуре и засыпанные грунтами с низкой несущей способностью. Анализ показал, что сооружение и эксплуатация трубопроводов в сложных условиях привели к существенным изменениям условия их работы и к ужесточению напряженно-деформированного состояния.

Наибольшие перемещения и напряжения трубопроводов при их эксплуатации возникают на выпуклых кривых криволинейных участках [1, 2]. На этих участках под действием продольных снижающих усилий происходят продольные перемещения и вертикальные перемещения трубопровода вверх, причем повышенные перемещения происходят при конструктивном выполнении углов поворота крутоизогнутыми отводами [3, 4].

С целью определения конкретных значений напряжений и перемещений подземных трубопроводов на криволинейных участках под действием эксплуатационных нагрузок и воздействий проведены исследования. Исследования проведены на выпуклых кривых, конструктивно оформленных сварными и гнутыми отводами. Трубопровод рассматривается как достаточно длинная гибкая балка, находящаяся под действием изменяющихся с ростом перемещений продольного сжимающего усилия и сопротивления грунта

перемещениям трубопровода. Задача решена с использованием дифференциального уравнения четвертого порядка изгиба трубопровода.

По результатам решения задачи выбраны параметры, характеризующие напряженно-деформированное состояние трубопровода и устанавливающие зависимость между продольным усилием на изогнутом участке N , максимальным прогибом v_{\max} , максимальным изгибающим моментом M_{\max} и конструктивным решением криволинейного участка, геометрическими характеристиками трубопровода и свойствами металла трубы и ее веса с перекачиваемым продуктом. К выбранным параметрам относятся параметры продольного усилия α , максимального прогиба \tilde{v} и максимально изгибающего момента ω . Для углов поворота, конструктивно выполненных гнутыми отводами значения α , \tilde{v} и ω определяются по формулам

$$\alpha = \frac{N}{q_T} \cdot \left(\frac{N}{EJ} \right)^{0,5} \operatorname{tg} \varphi ; \quad (1)$$

$$\tilde{v} = v_{\max} \cdot \left(\frac{q_T}{EJ} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \varphi} \right)^{0,33} ; \quad (2)$$

$$\omega = M_{\max} \cdot [q_T (EJ \operatorname{tg} \varphi)^2]^{-0,33} , \quad (3)$$

где J – момент инерции сечения трубы;

E – модуль упругости материала трубы;

q_T – все единицы дины трубопровода с продуктом;

φ – половина угла поворота трубопровода.

С целью установления зависимости параметров усилий α , прогиба \tilde{v} и изгибающего момента ω от начального продольного усилия N_0 проведен анализ характера изменения продольного усилия в процессе изгиба подземного трубопровода. При этом учитывается, что в процессе изгиба трубопровода происходят поперечные и продольные перемещения трубопровода, а продольные сжимающие усилия при этом уменьшаются от первоначального значения N_0 до равновесного N . Рассматривая модель жестко-пластического взаимодействия трубопровода с грунтом при продольных перемещениях трубопровода получены аналитические зависимости комплексного параметра a от начального

продольного усилия N_0 . Параметр a связывает параметры α , \tilde{v} и ω с начальным продольным усилием, конструктивными решениями и свойствами грунта.

Полученные зависимости позволяют при заданных значениях усилия N_0 , свойств грунта, конструкции угла поворота найти значения усилий N , максимального прогиба v_{\max} и максимально изгибающего момента M_{\max} , а также провести анализ влияния исходных величин на напряженно-деформированное состояние трубопровода.

Исследования показали, что в слабонесущих грунтах и в трубопроводах, сооруженных при отрицательной температуре, перемещения и напряжение достигают величин, представляющих в ряде случаев опасность в смысле нарушения прочности трубопровода и разрушения грунтовой засыпки.

Проведен анализ влияния конструктивных решений на напряженно-деформированное состояние трубопровода. Так, например, анализ влияния радиуса кривизны отводов на напряжения и перемещения трубопровода показал, что проектирование и сооружение трубопроводов на углах поворота с использованием отводов холодного гнуща создают более благоприятные условия работы трубопровода. Увеличение радиуса кривизны гнутого отвода позволяет существенно снизить максимальное напряжение изгиба. Уменьшается также прогиб трубопровода, но незначительно.

Параметры, устанавливающие зависимость между продольным усилием N , прогибом v_{\max} и изгибающим моментом M_{\max} и исходными величинами, характеризующими конструкцию угла поворота трубопровода при его укладке упругим изгибом имеют вид:

$$\alpha = \frac{N}{q_T} \cdot \frac{A_0}{EJ}; \quad (4)$$

$$\tilde{v} = v_{\max} \cdot \frac{1}{A_0}; \quad (5)$$

$$\omega = M_{\max} \cdot (EJA_0q_T)^{-0,5}; \quad (6)$$

где A_0 – амплитуда начального упругого прогиба трубопровода при укладке. Получены так же аналитические зависимости комплексного параметра a от начального продольного усилия N_0 , амплитуды A_0 , длины волны ℓ_0 и радиуса кривизны ρ начального прогиба и свойств грунта. По полученным зависимостям

определяются усилия N , прогиб v_{\max} и изгибающий момент M_{\max} . Анализ показал, что в случаях положительного температурного перепада более 50 °С суммарные продольные напряжения от начального упругого изгиба и изгиба под действия продольных сжимающих усилий весьма значительны и должны быть учтены при выборе параметров укладки A_0 , ℓ_0 и ρ . Наиболее существенно на перемещение трубопровода под действием продольных усилий оказывает радиус ρ начального упругого изгиба. Уменьшение ρ приводит к интенсивному росту перемещений и напряжений изгиба.

В связи с тем, что наибольшие напряжения и прогиб возникают, при одинаковых условиях сооружения и эксплуатации, в случаях больших значений угла поворота и выполнения угла поворота с использованием крутозагнутых отводов, нами исследованы методы проектирования, направленные на уменьшение значений угла поворота и использование гнутых отводов с большим радиусом кривизны. Рассмотрено деление одного поворота на несколько отдельных поворотов с прямой вставкой между ними. Установлено, что изменения длины прямой вставки приводят к изменением напряжений и имеется оптимальная длина прямой вставки, при которой напряжения минимальны.

Полученные в результате исследований аналитические зависимости и анализ характера изменений напряженно-деформированного состояния подземных трубопроводов на сложных участках позволили разработать методики расчета на прочность в продольном направлении и выбора оптимального по уровню напряжений конструктивного решения сложного участка подземного трубопровода.

Методика расчета на прочность в продольном направлении включает:

- установление значений исходных величин, включающие геометрические характеристики трубопровода, свойства металла трубы, свойства грунта, давление в трубопроводе, температурный перепад;
- вычисления начального продольного усилия, сопротивления грунта продольным и поперечным перемещениям трубопровода;
- вычисления параметров a , α , ω ;
- вычисления продольного усилия на изогнутом участке, максимальных значений изгибающего момента и суммарных продольных напряжений;

- проверку прочности трубопровода в продольном направлении в соответствии с требованиями СНиП 2.05.06-85* и формирования заключения об обеспечении прочности трубопровода и мер по снижению напряжений.

Использование в практике проектирования изложенных в данной работе методов позволит обеспечить надежной и безопасной эксплуатации трубопроводов на сложных участках трассы.

Литература

1. Бородавкин П.П., Таран В.Д. Трубопроводы в сложных условиях. – М.: Недра, 1968. – 304 с.
2. Ясин Э.М., Черников В.И. Устойчивость подземных трубопроводов. – М.: Недра, 1968. – 120 с.
3. Азметов Х.А. Экспериментальные исследования прочности и устойчивости поворотов в вертикальной плоскости подземных трубопроводов./Сб. науч. тр. «Трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов». – Уфа: ВНИИСПТнефть, 1976. - № 14. – С.168-172.
4. Айнбиндер А.Б. Расчет магистральных и промысловых трубопроводов на прочность и устойчивость. – М.: Недра, 1991. – 287 с.