

выражения для равномерно распределенного по поперечному сечению напряжения, напряжения от изгиба и продольно растягивающего напряжения. Составлены условия прочности, на основе которых определены максимальные глубины укладки для рассмотренных вариантов. Определены также минимально допустимые значения радиуса кривизны провисающего участка трубопровода в зависимости от значения силы натяга на судне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев, Г.Т. Напряженно-деформированное состояние искривленного полубесконечного стержня / Г.Т. Абдуллаев, А.С. Гулгазали, Г.А. Исмаилов // Изв. АН Азерб. ССР. Сер. физ.-техн. и матем. наук. – 1984. – № 5. – С. 122 – 126.
2. Айнбиндер, А.Б. Расчет магистральных трубопроводов на прочность и устойчивость / А.Б. Айнбиндер, А.Г. Камерштейн. – М.: Недра, 1982. – 344 с.
3. Атаров, Н.М. Расчет на прочность подводных трубопроводов при свободном нагружении / Н.М. Атаров, М.А. Белов // Строительство трубопроводов. – 1979. – № 12. – С. 19 – 20.

УДК 666.972.16:006.354;624

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДВОДНЫХ ТЕЧЕНИЙ НА ПРОЦЕСС ПРОКЛАДКИ ГЛУБОКОВОДНЫХ ПРОДУКТОПРОВОДОВ

М. Г. Акберов¹, Р. М. Абышова²

¹Азербайджанская государственная нефтяная компания,
г. Баку, Азербайджанская Республика

²Азербайджанская государственная нефтяная академия,
г. Баку, Азербайджанская Республика

При укладке подводного трубопровода на большие глубины имеют место большие деформации. Поэтому при расчетах на прочность провисающей части трубопровода необходим учет геометрической нелинейности [1]. Для вывода выражений по напряжениям система координат выбрана с таким расчетом, чтобы ее начало было совмещено с точкой соприкосновения трубопровода с морским дном. Ось x направлена горизонтально в направлении укладки, ось y – горизонтально, перпендикулярно оси x , ось z – вертикально вверх. Предполагается, что до начала деформирования трубопровод расположен на дне в направлении оси x , а конец трубопровода приподнят на высоту H , где H – глубина водоема. Тогда точка с координатами $(x, 0, 0)$ до деформации трубопровода занимает положение, определяемое координатами (ξ, η, ζ) после деформации. Если обозначить компоненты вектора перемещения точки через $u(x), v(x), w(x)$, то между коор-

динатами до деформации (переменные Лагранжа) и после деформации (переменные Эйлера) существуют нижеследующие зависимости:

$$\left. \begin{aligned} \xi &= x + u(x) \\ \eta &= \vartheta(x) \\ \zeta &= w(x) \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

Уравнения равновесия элемента длиной $d(x)$ до деформации и длиной ds после деформации имеют вид [2]:

$$\frac{d}{ds} \left(T \cdot \frac{d\xi}{ds} \right) = 0; \quad \frac{d}{ds} \left(T \cdot \frac{d\eta}{ds} \right) = -q; \quad \frac{d}{ds} \left(T \cdot \frac{d\zeta}{ds} \right) = g, \quad (2)$$

где T – сила натяжения;
 g – вес единицы длины;
 q – сила давления подводного течения на единицу длины.

$$ds = \sqrt{(d\xi)^2 + (d\eta)^2 + (d\zeta)^2}. \quad (3)$$

Подстановкой (1) в (3) для $d\zeta$ получается выражение вида

$$ds = \sqrt{(1+u')^2 + v'^2 + w'^2} dx. \quad (4)$$

Относительное удлинение с учетом геометрической нелинейности и равенства (4) может быть определено как

$$e_x = \frac{ds - dx}{dx} = \sqrt{(1+u')^2 + v'^2 + w'^2} - 1. \quad (5)$$

Из закона Гука

$$T = E \cdot e_x = E \left(\sqrt{(1+u')^2 + v'^2 + w'^2} - 1 \right), \quad (6)$$

где E – модуль Юнга материала трубы.

Из условия прочности провисающей криволинейной части трубопровода после некоторых преобразований определяется выражение для вычисления силы натяга:

$$[T] = P_0 S \cdot \left(\frac{[\sigma] - \sqrt{[\sigma]^2 - 4P_0 ER}}{2P_0} + H \right), \quad (7)$$

где $[T]$ – допускаемое значение силы натяга;

$$P_0 = \sqrt{q_0^2 + g_0^2};$$

q_0 и g_0 – значения q и g для недеформированной трубы;

$[\sigma]$ – допускаемое значение напряжения при растяжении;

R – внешний радиус трубы;

H – глубина укладки.

Формула (7) позволяет определять силу натяга для безопасной укладки трубопровода в зависимости от глубины укладки, механических и геометрических характеристик трубопровода, а также от силы давления подводных течений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гулгазли, А.С. О геометрических соотношениях при учете геометрической нелинейности / А.С. Гулгазли // Материалы междунар. конф., посвящ. 80-летию акад. Я. Дж. Мамедова, Баку, 27 – 28 дек. 2010 г. – С. 189 – 191.

2. Гасанов, Р.А. Об уравнениях равновесия трубопровода, укладываемого на большие глубины / Р.А. Гасанов, А.С. Гулгазли, М.Г. Акперов // Материалы междунар. конф., посвящ. 80-летию акад. Я. Дж. Мамедова, Баку, 27 – 28 дек. 2010 г. – С. 188 – 189.

УДК 621.926

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТРАНСПОРТНОГО ПРОДУКТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОДВОДНОГО ПРОДУКТОПРОВОДА

Р. А. Гасанов¹, А. С. Гулгазли², М. Г. Акперов², Ф. К. Байрамова¹

*¹Азербайджанская государственная нефтяная академия,
г. Баку, Азербайджанская Республика*

*²Азербайджанская государственная нефтяная компания,
г. Баку, Азербайджанская Республика*

Известны две технологии укладки подводных продуктопроводов:

- укладка в подводную траншею, заранее проведенную вдоль маршрута укладки;
- укладка непосредственно по дну моря. Эта технология реализуется при отсутствии благоприятного обстоятельства для выполнения первой технологии (например, когда дно моря скалистое).

При выполнении второго варианта нередко подводные течения уносят грунт из под трубы и некоторая часть трубопровода остается подвешенной. При транспортировке по трубопроводу горячего продукта температура трубы увеличивается и возникают температурные напряжения. Это способствует в свою очередь потере устойчивости провисающей части трубопровода в виде выпучивания вверх. Во избежание подобных явлений продуктопровод, предназначенный для транспортировки горячего продукта, выполняется двухслойным (рис.).

Между слоями располагаются стержни из материала с низкой теплопроводностью. По образовавшимся пустотам нагнетается воздух или газ. Это буферное пространство, заполняемое воздухом или природным газом, охраняет внутреннюю трубу от охлаждения течениями и морской водой.