

А. Г. Поздеев, Ю. А. Горинов, А. Н. Чемоданов,
С. Я. Алибеков, Э. Р. Хайруллина

АРБОЛИТОВАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Ключевые слова: подводная прокладка теплопроводов, теплоизоляционно-балластное арболитовое покрытие, расчет устойчивости.

Представлена схема и расчет устойчивости проложенных по дну водоема трубопроводов централизованного теплоснабжения, представляющих собой стальную трубу в защитном полиэтиленовом кожухе с межтрубным пространством, заполненным арболитом в качестве теплоизоляционно-балластного материала. Выведена зависимость устойчивости трубопровода от массы трубопроводной конструкции, действующих сил и воздействий.

Keywords: underwater laying heating pipes, heat-insulating coating wood-concrete ballast, stability calculation.

The paper under discussion covers the area of wood manufacturing and deals with a wood concrete. It's key idea is to consider a technique for obtaining and of the calculation district heating pipelines which on the lake bottom located. The engineering approach to the problem is based on the experimental method of research to suggest some innovative solutions by means of influence definition a factor on the pipeline stability. Special attention is paid to the conduit structure. The data obtained are backed up by the figures given to illustrate the main transformation processes. The material presented can open new prospects for further research studies. It seems to be interesting to those who work in the field of wood manufacturing.

Введение

Под устойчивым состоянием подводного трубопровода понимается такое состояние, при котором он будет находиться в покое в заранее заданном (проектом) положении при самой неблагоприятной комбинации нагрузок, стремящихся вывести его из этого положения [1].

В общем случае такими нагрузками являются: выталкивающая Архимедова сила, горизонтальная и вертикальная составляющие гидродинамического воздействия потока. Для компенсации этих сил и воздействий используется собственная масса трубопроводной конструкции и заполняющего его перекачиваемого продукта, а также балластные устройства. Описание способов балластировки изложено в [2].

Расчет выполняется при самом неблагоприятном сочетании нагрузок, которое имеет место, когда трубопровод не заглублен, т.е. находится на дне водоема в траншее без засыпки грунтом. При обтекании потоком жидкости подводные трубопроводы подвергаются силовому воздействию потока и действию подъемной силы Архимеда. При положении, когда трубопровод уложен в подводную траншею, засыпан грунтом и заполнен транспортируемым продуктом, число нагрузок, снижающих устойчивость трубопровода, значительно уменьшается.

Расчет устойчивости подводного трубопровода

Силы, действующие на трубопровод:

1. Вес трубопроводной конструкции складывается из веса транспортируемого теплоносителя, стальной трубы, теплоизоляционно-балластного покрытия и полиэтиленовой трубы:

$$n_1 mg = \frac{1}{4} \pi (\rho_1 D_1^2 + \rho_2 (D_2^2 - D_1^2) + \rho_3 (D_3^2 - D_2^2) + \rho_4 (D_4^2 - D_3^2)) g \quad (1)$$

где n_1 - коэффициент перегрузки по весу трубопровода и конструкции; $m\vec{g}$ - сила тяжести трубопроводной конструкции с теплоносителем и балластом; ρ_1 - плотность теплоносителя; ρ_2 - плотность материала стальной трубы; ρ_3 - плотность теплоизоляционно-балластного арболитового покрытия; ρ_4 - плотность материала защитной полиэтиленовой оболочки; D_1 - внутренний диаметр стальной трубы; D_2 - наружный диаметр стальной трубы - внутренний диаметр теплоизоляционно-балластного арболитового покрытия; D_3 - наружный диаметр теплоизоляционно-балластного арболитового покрытия - внутренний диаметр защитной полиэтиленовой оболочки; D_4 - наружный диаметр защитной полиэтиленовой оболочки.

2. Выталкивающая сила Архимеда определяется по

$$\text{формуле: } F_A = \frac{1}{4} n_2 \rho g \pi D_4^2 \quad (2)$$

где n_2 - коэффициент перегрузки выталкивающей силы Архимеда; ρ - плотность воды водоема.

3. Сила трения трубопровода о грунт определяется по формуле: $F_{TP} = f_{TP} N$ (3)

где f_{TP} - коэффициент трения поверхности трубы о грунт; $\vec{N}$ - реакция опоры.

4. Составляющие гидродинамического воздействия потока: сила лобового сопротивления и подъемная сила потока со скоростью v определяются по формулам, в которой коэффициенты C_X, C_Y характеризуют следующие виды сопротивлений: сопротивление трения, обусловленное касательными напряжениями, приложенными к поверхности обтекаемого трубопровода; сопротивление давления, обусловленное нормальными напряжениями, приложенными к поверхности обтекаемого трубопровода:

$$P_X = \frac{1}{2} C_X \rho v^2 D_4; P_Y = \frac{1}{2} C_Y \rho v^2 D_4 \quad (4)$$

В общем виде уравнение условия равновесия для трубопроводной конструкции, помещенной в водоем:

$$m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{N} + \vec{F}_{TP} + \vec{P}_X + \vec{P}_Y = 0 \quad (5)$$

Расчетная схема нагрузок и воздействий приведена на рис.1.

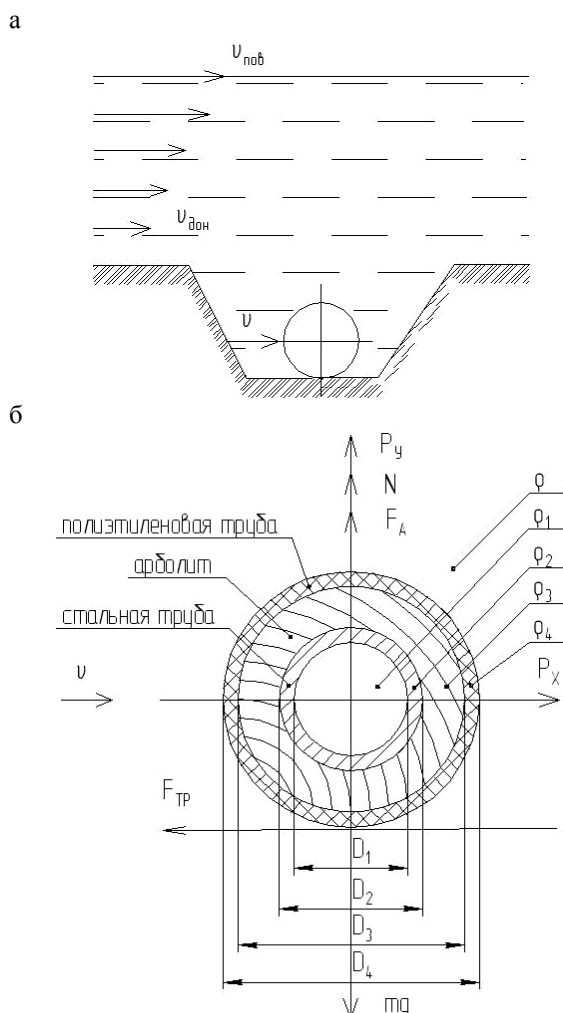


Рис. 1 - Расчетная схема нагрузок и воздействий на подводный трубопровод в траншее: а) общая схема размещения трубопровода на дне водоема; б) схема сил, действующих на трубопровод

Проекция сил на ось X: $\vec{F}_{TP} - \vec{P}_X = 0 \quad (6)$

Проекция сил на ось Y:

$$-m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{N} + \vec{P}_Y = 0 \quad (7)$$

Из уравнения (6) следует: $F_{TP} = P_X \quad (8)$

Из уравнения (7) следует: $N = mg - F_A - P_Y \quad (9)$

Таким образом, устойчивость трубопроводной конструкции в пространстве определяется из условия:

$$P_X \langle (mg - F_A - P_Y) f_{TP} \quad (10)$$

В общем случае условие устойчивости единицы длины трубопровода с учетом коэффициента запаса устойчивости $k_{y.c.}$ имеет вид:

$$P_X \cdot k_{y.c.} \leq (mg - F_A - P_Y) f_{TP} \quad (11)$$

Левая половина уравнения представляет собой горизонтальную сдвигающую силу, а правая половина уравнения - силу трения трубы о грунт.

Авторы [1,3,4,5,6], обобщая результаты выполненных ими опытов и исследований, рекомендуют принимать:

- коэффициент лобового сопротивления $C_X = 1,2$;
- в практических расчетах при касании трубопровода дна коэффициент подъемной силы $C_Y = 0,6$;
- коэффициент перегрузки по весу трубопроводной конструкции n_1 для двухтрубной конструкции с заполнением межтрубного пространства цементно-песчаным раствором при диаметре трубы $D \leq 600$ мм равен 1,00, для трубы $D > 600$ мм равен 0,95;
- коэффициент перегрузки выталкивающей силы Архимеда n_2 при диаметре трубы $D \leq 700$ мм для пресной воды равен 1,00, для трубы $D \geq 700$ мм равен 1,05;
- донную скорость $v_{дон}$ потока 0,4 – 0,6 от поверхностной скорости $v_{пов}$;
- коэффициент устойчивости $k_{y.c.}$ равен 1,10 при диаметре трубы $D \leq 600$ мм и 1,15 при $D > 600$ мм;
- наибольшее значение коэффициента трения поверхности трубы о грунт f_{TP} равно $tg \varphi_{ГР}$.
- наименьшее значение угла внутреннего трения грунта примем для глины $\varphi_{ГР} = 18^\circ$;
- средняя скорость течения потока принимается 5 км/ч.

Используя приведенные выше расчетные формулы и рекомендации по определению составляющих, выполнены расчеты устойчивости подводной конструкции трубопроводов, представляющей собой стальную трубу в защитном полиэтиленовом кожухе с межтрубным пространством, заполненным арболитом в качестве теплоизоляционно-балластного материала [7,8,9,10,11,12,13].

Необходимые для расчета данные о стальных электросварных трубах принимаются согласно [14],

о полиэтиленовых трубах, применяемых в качестве наружной защитной оболочки, принимаются согласно [15].

Толщина нанесенного на стальную трубу теплоизоляционно-балластного арболитового покрытия определяется как разность между внутренним диаметром полиэтиленовой трубы D_3 и наружным диаметром стальной трубы D_2 :

$$\delta = \frac{D_3 - D_2}{2} \quad (12)$$

С учетом этого, принимая плотность теплоизоляционно-балластного материала $\rho = 1160 \text{ кг/м}^3$, определяем массу арболитового покрытия.

Массу транспортируемого теплоносителя для каждого типоразмера стальной трубы принимаем согласно [16].

По формулам (1) и (2) определяем вес трубопроводной конструкции и величину выталкивающей силы Архимеда с учетом коэффициентов перегрузки.

Результаты расчетов сведены в табл.1.

Таблица 1 - Расчет веса трубопроводной конструкции и силы Архимеда с учетом коэффициентов перегрузки

Условный диаметр стальной трубы, мм	Вес трубопроводной конструкции с коэфф. n_1 , Н/п.м	Сила Архимеда с коэфф. n_2 , Н/п.м
50	206.42	150.9367
70	285.12	197.1418
80	354.79	249.5075
100	308.03	308.034
125	678.06	481.3031
150	838.95	603.7466
200	1349.10	970.4996
250	2098.28	1559.422
300	2594.18	1925.213
350	3196.75	2414.987
400	3638.18	2772.306
450	3992.02	3056.467
500	4712.57	3881.998
600	6006.60	5174.971
700	7454.30	6549.573
800	10992.85	9783.93
900	17903.63	16419.42
1000	18085.68	16419.42
1200	22435.17	20699.88

Используя формулы (3), (4), (9) выполним расчет устойчивости.

Как видно из табл.1,2 для всего ряда типоразмера труб условие отрицательной плавучести соблюдается, в то время как условие устойчивости подводной трубопроводной конструкции соблюдается только для

трубопроводов, имеющих условный диаметр стальной трубы $D_y \geq 100$ мм.

Таблица 2 - Результаты расчет устойчивости подводного трубопровода

Условный диаметр стальной трубы, мм	Горизонтальная сдвигающая сила, Н/п.м.	Сила трения трубы о грунт, Н/п.м.
50	27.95	13.90
70	31.94	23.87
80	35.94	28.91
100	39.93	42.67
125	49.91	56.57
150	55.90	68.18
200	70.88	112.58
250	89.84	161.86
300	99.83	202.67
350	111.80	237.56
400	119.79	263.71
450	125.78	285.47
500	141.75	249.00
600	159.72	246.68
700	187.85	267.49
800	229.60	360.45
900	297.43	440.34
1000	297.43	499.51
1200	333.96	516.78

Выводы

1. Условие устойчивости подводной трубопроводной конструкции, состоящей из стальной трубы, помещенной в защитную полиэтиленовую оболочку с заполнением межтрубного пространства теплоизоляционно-балластным арболитовым материалом с плотностью 1160 кг/м^3 , соблюдается для трубопроводов, имеющих условный диаметр стальной трубы $D_y \geq 100$ мм.

2. При необходимости прокладки подводных трубопроводов $D_y = 50, 70, 80$ мм требуется дополнительная балластировка пригрузами весом более 14.05 Н/п.м , 8.07 Н/п.м , 7.03 Н/п.м соответственно.

3. Выполненные расчеты доказывают возможность применения трубопроводной конструкции, состоящей из стальной трубы в защитном полиэтиленовом кожухе с межтрубным пространством, заполненным арболитом [7] для прокладки тепловодов по дну водоемов.

Литература

- Бородавкин П.П., Березин В.Л., Шадрин О.Б. Подводные трубопроводы. М., Недра, 1979. 415 с.
- Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 6-е изд., перераб. – М.: Издательство МЭИ, 1999. – 472 с.: ил.

3. Бородавкин П.П. Подземные магистральные трубопроводы (проектирование и строительство). – М.: Недра, 1982. – 384 с.
4. Основания, фундаменты и подземные сооружения /М.И.Горбунов-Посадов, В.А.Ильичев, В.И.Крутов и др.; Под общ.ред Е.А.Сорчана и Ю.Г.Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480с.: ил. – (Справочник проектировщика).
5. Строительные конструкции нефтегазовых объектов: учебник /Ф.М.Мустафин, Ю.Л.И.Быков, В.Н.Мохов и др. – СПб.: ООО «Недра», 2008. – 780 с.
6. П.И.Тугунов, В.Ф.Новоселов, А.А.Коршак, А.М.Шаммазов Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов.Изд. 2-е, переработанное. Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2002. – 658 с.
7. Пат. на ПМ РФ 122746 (2012)
8. Зиятдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Тимербаев Н.Ф., Левашко Л.И. Анализ современного состояния производства теплоизоляционных материалов и возможности создания новых материалов на основе отходов деревопереработки // Вестник Казанского технологического университета. – 2011, №8, 63-68 с.
9. Сафин Р.Г., Тимербаев Н.Ф., Степанов В.В., Хайруллина Э.Р. Высокоэффективный теплоизоляционный материал на основе древесного наполнителя // Вестник Казанского технологического университета Herald of Kazan Technological University. - 2012, Т. 15, №11, 90-92 с.
10. Сафин Р.Г., Игнатъева Г.И., Галлиев И.М. Исследование высоконаполненных древесно-полимерных композиционных материалов, получаемых экструзивным методом // Вестник Казанского технологического университета Herald of Kazan Technological University. -2013, Т. 16, №2, 87-88 с.
11. Сафин Р.Г., Степанов В.В., Хайруллина Э.Р., Шаяхметов Ф.Ф. Производство поризованной древесно-цементной смеси // Вестник Казанского Технологического Университета Herald of Kazan Technological University. - 2013, Т. 16, №13, 84-86 с.
12. Сафин Р.Г., Левашко Л.И., Филиппова Ф.М., Байгильдеева Е.И. Производство пористого теплоизоляционного материала на основе отходов деревообработки и пенополиуретана // Деревообрабатывающая промышленность. - 2013, №1, 15-18 с.
13. Сафин Р.Г., Садртдинов А.Р., Хуснуллин И.И. Энергозависимая установка непрерывной переработки древесных отходов // Вестник Казанского технологического университета Herald of Kazan Technological University. – 2013, Т. 16, №14, 181-182 с.
14. ГОСТ 10704-91 Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент. Стандартинформ. – М.2007. – 7 с.
15. ГОСТ 18599-2001 Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия. Стандартинформ. – М.2008. – 111 с.
16. Николаев А.А. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей. – М.: Стройиздат, 1965. – 359 с.

© **А. Г. Поздеев** - д-р техн. наук, проф., зав. каф. водных ресурсов Поволжского госуд. технол. ун-та, pozdeeva@marstu.ru;
Ю. А. Горинов - нач. цеха тепловых сетей МУП «Йошкар-Олинская ТЭЦ-1»; **А. Н. Чемоданов** - д-р техн. наук, проф., зав. каф. ДОП Поволжского госуд. технол. ун-та; **С. Я. Алибеков** - д-р техн. наук, проф., зав. каф. ММ Поволжского госуд. технол. ун-та; **Э. Р. Хайруллина** – асп. каф. переработки древесных материалов КНИТУ.