

УДК 622.691.4

А.А. Филатов, И.И. Велиюлин, д.т.н., А.С. Добров, ДОО «Оргэнергогаз»,
Э.И. Велиюлин, д.ф.-м.н., ООО «Эксиком»

НОМОГРАММЫ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПРОТЯЖЕННОСТЕЙ СВОБОДНЫХ ПРОЛЕТОВ НА УЧАСТКАХ РЕЧНЫХ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ МГ

Данная работа выполнена в развитие публикации [1] с целью получения удобной для практического применения графической карты, позволяющей оценить предельную допустимую протяженность свободных пролетов речных подводных переходов МГ из забалластированных кольцевыми утяжелителями трубопроводов произвольно выбранных диаметров и толщин стенки.

Расчеты базируются на принятых в работе [1] механизмах воздействий и методах получения параметров напряженно-деформированного состояния для полностью размывтого участка речного подводного перехода [2].

При появлении на речных подводных переходах свободных пролетов, лишенных поддержки грунта, переход оказывается в новых условиях воздействия сил. В горизонтальной плоскости это сила давления водного потока на трубопровод (сила лобового сопротивления). Она определяется величиной гидродинамического давления (скоростным напором) и площадью наибольшего сечения трубопровода в плоскости, перпендикулярной потоку.

При векторе скорости течения реки, лежащем в горизонтальной плоскости, величина горизонтальной силы воздействия потока на свободный пролет может быть вычислена по формуле

$$q_{гор.} = 0,5C\gamma_v v^2 D_{max} L,$$

где C – коэффициент лобового сопротивления забалластированного трубопровода; γ_v – плотность воды;

v – скорость течения на глубине прохождения трубопровода; D_{max} и L – соответственно максимальный диаметр и длина снаряженного утяжелителями трубопровода.

В вертикальной плоскости наряду с силой тяжести и архимедовой выталкивающей появляется дополни-

тельная подъемная сила, действующая на свободный пролет. Она связана с разностью гидродинамических давлений на глубинах верхней и нижней образующих трубопровода [3]. Аддитивное сложение этих сил дает результирующую силу, действующую в вертикальной плоскости. В таком

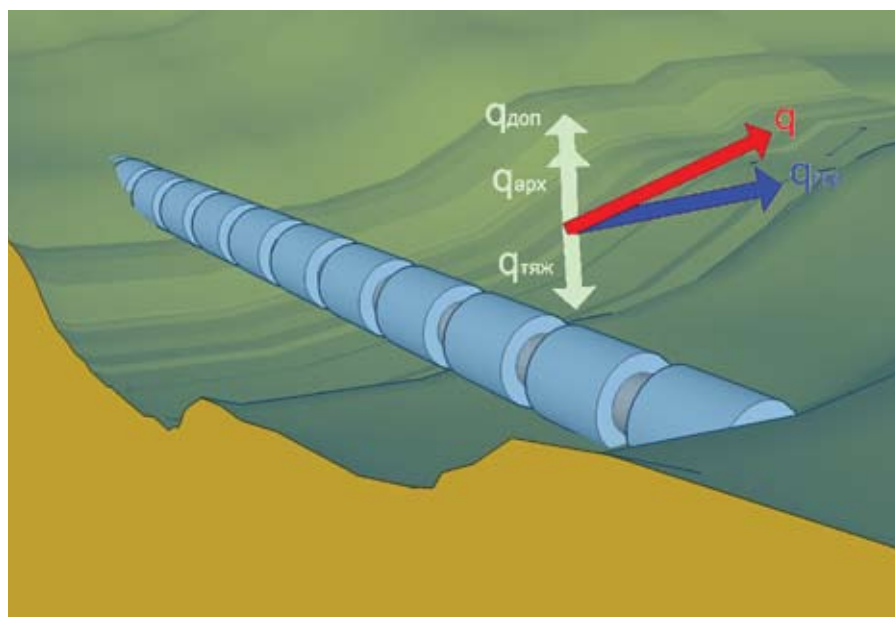


Рис. 1. Модель участка свободного пролета речного подводного перехода с кольцевыми утяжелителями и векторы равномерно распределенных нагрузок

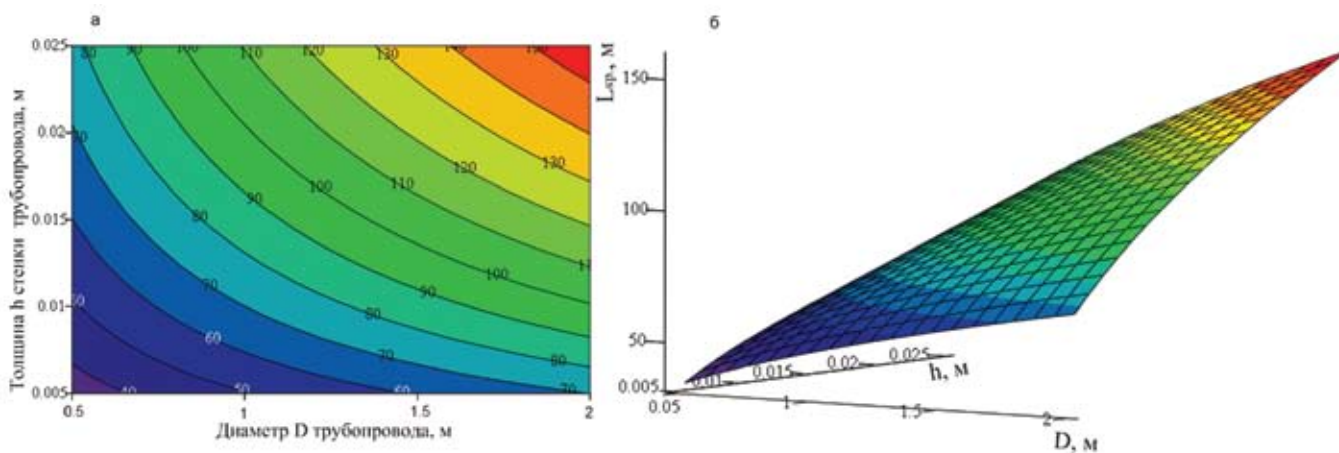


Рис. 2 а, б. Соответственно 2D- и 3D-изображения зависимости максимальной допустимой длины L_{кр.} (м) свободного пролета от диаметра D трубопровода и толщины h его стенки

распределении сил, действующих на свободный пролет, доминирующей оказывается горизонтальная q_{гор.}, так как результирующая вертикальная сила минимизируется балластировкой. Векторное сложение горизонтальной силы давления водного потока и результирующей вертикальной представляет собой равнодействующую силу общего воздействия водной среды на свободный пролет (рис. 1).

Основным критерием ограничения предельной допустимой протяженности свободного пролета принято допустимое максимальное напряжение (до 0,4 от предела текучести материала) на краях пролета.

Горизонтальная равномерно распределенная нагрузка на 1 м длины q_{гор.} не зависит от толщины h стенки трубопровода, а при заданной скорости течения определяется его диаметром D_{макс.} с учетом размеров утяжелителя и футеровки. Сопоставление диаметров труб различных сечений и соответствующих им размеров утяжелителей привело к следующим зависимостям:

$$D_{\text{макс.}}(D)=1,43D; q_{\text{гор.}}(D)=2,7 \cdot 10^3 D.$$

Равномерно распределенная вертикальная нагрузка на забалластированные трубопроводы рассмотренных номиналов близка к усредненному значению q_{вер.}=330Н/м.

Равнодействующая равномерно распределенная нагрузка при этом может быть выражена следующим образом:

$$q(D)=\sqrt{q_{\text{гор.}}^2+q_{\text{вер.}}^2}=\sqrt{(2,7 \cdot 10^3 D)^2+330^2}.$$

В соответствии с принятым критерием ограничения максимального напряжения σ_{макс.} в теле трубопровода

$$\sigma_{\text{макс.}}(D,h)=\frac{qL_{\text{кр.}}^2}{3\pi hD^2}$$

не должна превышать фиксированное значение 140 МПа. Тогда критическую протяженность свободного пролета как функцию диаметра и толщины стенки трубопровода можно представить так:

$$L_{\text{кр.}}(D,h)=\sqrt{\frac{\sigma_{\text{макс.}} \cdot 3\pi hD^2}{7,3 \cdot 10^6 D^2+1,1 \cdot 10^5}}.$$

От этого выражения можно перейти к простой приближенной зависимости L_{кр.} от D и h

$$L_{\text{кр.}}(D,h)=0,7 \cdot 10^3 \sqrt{Dh}.$$

Все необходимые для расчетов параметры условий обтекания приняты такими же, как в [1].

Расчеты и графические построения проведены в программной среде MathCAD.

На рисунке 2 представлены карты номограммы критических протяженностей свободных пролетов речных подводных переходов как функции диаметра и толщины стенки трубы.

Предлагаемые номограммы позволяют избежать расчетных работ больших объемов и определять в экспресс-режиме предельную допустимую протяженность свободного пролета речного подводного перехода. Возможности построенных номограмм могут быть полезны для совершенствования критериев вывода размытых участков подводных переходов в ремонт.

Результаты работы могут быть использованы как справочный материал по критическим длинам размытых участков, включающих данные для широкого сортамента труб от 500x5 мм до 2000x25 мм.

Литература:

1. Филатов А.А., Велиулин И.И., Добров А.С., Велиулин Э.И. Формирование напряженно-деформированного состояния свободного пролета речного подводного перехода магистрального газопровода / Территория НЕФТЕГАЗ, №8, 2010. – С. 78–80.
2. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.: Отв. ред. Писаренко Г.С.
3. Алимов С.В., Велиулин И.И., Велиулин Э.И. и др. Расчет плавучести магистральных газопроводов на речных подводных переходах / Газовая промышленность, №2, 2009. – С. 33–36.

Ключевые слова: газопровод, подводный переход, речной поток, свободный пролет, балластировка.