

УДК 622.691.4

А.А. Филатов¹; М.К. Дьячков², e-mail: mail@eksikom.ru

¹ ПАО «Газпром» (Москва, Россия).

² ООО «Эксиком» (Москва, Россия).

Определение сил сопротивления при протаскивании обетонированного трубопровода в подводной траншее

Все более широкое применение в строительстве магистральных трубопроводов находят трубы со сплошным бетонным покрытием. Эффективность их применения в наибольшей степени проявляется на обводненных участках подземной прокладки трубопроводов и на переходах через водные преграды.

Укладка труб со сплошным обетонированием на подводных переходах может производиться разными методами в зависимости от характеристик водной преграды и условий строительства. В частности, применяется традиционный метод укладки трубопровода протаскиванием в подготовленную подводную траншею. При разработке проектной документации на строительство или капитальный ремонт подводного перехода в части технологии укладки трубопровода необходимо учитывать его конструктивные особенности, связанные в данном случае с характерным типом покрытия. От этого зависит выбор технических средств, обеспечивающих технологический процесс укладки.

В статье предложен общий подход к вычислению сил сопротивления при укладке обетонированного трубопровода в подводную траншею методом протаскивания, величина которых определяет как необходимые тяговые усилия, так и распределение в процессе протаскивания продольных напряжений по длине трубопровода.

Расчет сил сопротивления предполагает описание всей трассы протаскивания с точки зрения условий взаимодействия трубопровода с грунтом в каждой точке трассы. Сопротивление перемещению трубопровода, рассматриваемое в какой-либо точке трубопровода при протаскивании по дну траншеи, представляется как продольная сила, зависящая от координаты этой точки и направленная против приложенного тягового усилия.

Рассмотрены основные составляющие сил сопротивления перемещению трубопровода, связанные с параметрами грунтов по трассе протаскивания, характеристиками трубопровода как протяженной упругой конструкции, а также профилем трассы. Сформулирована методическая процедура определения сил сопротивления движению трубопровода при протаскивании, связанных с взаимодействием трубопровода с грунтом.

Ключевые слова: обетонированная труба, протаскивание, подводный переход.

.....

А.А. Филатов¹; М.К. Дьячков², e-mail: mail@eksikom.ru

¹ Gazprom PJSC (Moscow, Russia).

² Eksikom LLC (Moscow, Russia).

Holding power evaluation of dragging concrete coated pipe through the bottom trench

Concrete coated pipe are being discovered ever-growing use in main pipeline construction at the present time. Efficiency of appliance shows up the most at subsurface pipelining on water-bearing area and construction of main pipeline underwater transition.

There are few methods of concrete coated pipe laying may apply. It depends on stream characteristics and constructional conditions. Traditional method of pipeline laying by dragging into prearranged bottom trench also apply in particular. In elaboration of design documents on construction or overhaul of main pipeline underwater transition indispensably to consider it design feature related with coating type in this case. Choice of technology providing pipe laying technological process depends on it.

Holding power evaluation involves the description of the entire pipeline route dragging from point of view of the pipeline conditions of interaction with the ground at each point of the pipeline route. The holding power of the pipeline, considered

in any point of the pipeline at the dragging of the trench at the bottom, is presented as the longitudinal force, which depends on the coordinates of the point and directed against the applied traction.

General approach of holding power evaluation in case of concrete coated pipe laying into bottom trench by dragging method has offered in the article. Holding power value defines both required traction and axial stress distribution in process of dragging. Thus general holding power components of pipe relocation connected with soil characteristics of dragging track reviewed by. General holding power components also related with pipeline characteristics as elastic structure and path profile. Methodical procedure of evaluation holding power related with interaction between pipeline and soil when dragging has been formulated.

Keywords: concrete coated pipe, dragging, main pipeline underwater transition.

Укладка обетонированного трубопровода в траншею методом протаскивания должна сопровождаться расчетом напряженно-деформированного состояния трубопровода на всем его протяжении, с тем чтобы не допустить превышения внутренних напряжений в металле предельных разрывных или пластичных значений. Кроме того, наличие бетонной оболочки требует также оценивать напряжения в бетонном слое, которые не должны превышать прочность бетона (существенно ниже прочности стали) на разрыв. Следует предусмотреть более тщательный, чем в случае применения для балластировки кольцевых утяжелителей, учет всех факторов, влияющих на необходимое тяговое усилие при протаскивании и, как следствие, на внутренние напряжения в снаряженном трубопроводе с железобетонной оболочкой.

В итоге тяговое усилие при протаскивании трубопровода определяется совокупной силой сопротивления перемещению трубопровода, которая, в свою очередь, состоит из:

- силы трения трубопровода о подстилающий слой грунта;
- силы упругого отпора, возникающей при продольном перемещении трубопровода с ускорением;
- силы пассивного сопротивления грунта, возникающей при наличии неровностей на внешней поверхности трубопровода, превышающих по размеру структурный состав грунта;
- гравитационной составляющей сопротивления, присутствующей на вос-

ходящих участках рельефа (имеет отрицательное значение на нисходящих участках рельефа);

- силы сопротивления в виде присоса поверхности трубопровода на площади соприкосновения с грунтом;
- силы сопротивления движению троса и оголовка трубопровода вследствие его возможного частичного погружения в грунт при протаскивании.

В данной ситуации, когда мы говорим о коэффициенте трения трубопровода о грунт в процессе его протаскивания в траншею, необходимо иметь в виду не какое-то конкретное значение, взятое из справочника для, например, пары материалов типа «бетон/песок» или «полиэтилен/глина», а совокупный функционал K , определяющий связь между величиной тягового усилия, развиваемого в процессе укладки трубопровода, и параметрами трубопровода на всем протяжении процесса протаскивания:

$$F_{\text{тяги}} = K\{T_1, \dots, T_n; S_1, \dots, S_m\}, \quad (1)$$

где:

- $\{T_1, \dots, T_n\}$ – совокупность параметров трубопровода, включающих погонную массу, тип внешней поверхности, толщину и упругие свойства металла труб, толщину и прочность бетонного покрытия, характеристики арматуры, а также другие характеристики, многие из которых не могут быть выделены в явном виде и определены количественно, но оказывают влияние на взаимодействие трубопровода с грунтом;

- $\{S_1, \dots, S_m\}$ – совокупность параметров, характеризующих трассу и технологию прокладки трубопровода (характер грунтов по дистанции, рельеф, протяженность береговых и русловых участков, применение разгружающих понтонов, наличие спусковой роликовой дорожки и др.).

Процесс протаскивания трубопровода в подводную траншею можно разделить на несколько этапов, на каждом из которых сопротивление перемещению трубопровода определяется конкретными характерными факторами.

В КАЖДЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ В ПРОЦЕССЕ УКЛАДКИ ТРУБОПРОВОДА ПО ДЛИНЕ МОЖНО РАЗДЕЛИТЬ НА УЧАСТКИ, РАСПОЛАГАЮЩИЕСЯ:

- на береговой линии до входа в воду (частный случай – спусковая дорожка);
- на дне водоема;
- на береговой линии после выхода из воды.

Вследствие неоднородности состава грунта на берегах и в русловой части водоема каждый из указанных участков может быть разделен дополнительно и по данному признаку.

Рассмотрим процесс протаскивания трубопровода на всех стадиях укладки в траншею.

На рисунке 1 показан типовой профиль траншеи при строительстве подводного перехода методом протаскивания.

Дистанция протаскивания делится на участки:

- $\{0 - l_1\}$ – береговой участок до входа в русло;

Ссылка для цитирования (for citation):

Филатов А.А., Дьячков М.К. Определение сил сопротивления при протаскивании обетонированного трубопровода в подводной траншее // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2016. № 9. С. 108–113.

Filatov A.A., Dyachkov M.K. Holding power evaluation of dragging concrete coated pipe through the bottom trench (In Russ.). Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory, 2016, No. 9, P. 108–113.

Таблица 1. Нормативные значения удельных сцеплений и углов внутреннего трения для песчаных грунтов
Table 1. The characteristic values of the specific adhesion C^n and internal friction angles φ_n for sandy soils

Виды песчаных грунтов Types of sandy soils	Обозначения характеристик грунтов Designation of soil characteristics	Характеристики грунтов при коэффициенте пористости Characteristics of soils with porosity factor			
		0,45	0,55	0,65	0,75
Пески гравелистые и крупные Gravelly and large sands	C^n , кгс/см ² C^n , kgf/cm ²	0,02	0,01	–	–
	φ_n , °	40	40	38	–
Пески средней крупности Medium size sands	C^n , кгс/см ² C^n , kgf/cm ²	0,03	0,02	0,01	–
	φ_n , °	40	38	35	–
Пески мелкие Fine sands	C^n , кгс/см ² C^n , kgf/cm ²	0,06	0,04	0,02	–
	φ_n , °	38	36	32	28
Пески пылеватые Sandy slit	C^n , кгс/см ² C^n , kgf/cm ²	0,08	0,06	0,04	0,02
	φ_n , °	36	34	30	26

$\{l_1 - l_2\}$ – русловый участок;

$\{l_2 - L\}$ – береговой участок после выхода из воды.

Если плеть трубопровода полной длины L протаскивается в траншею с вертикальным профилем $h(x)$, то при равномерном движении продольные тяговые напряжения в каждом произвольном поперечном сечении x_0 плети трубопровода определяются силами сопротивления $F_{\text{сопр}}(x_0)$, развиваемыми на участке $\{0, x_0\}$

$$F_{\text{сопр}}(x_0) = \int_0^{x_0} p(x) \sin \alpha dx + \int_0^{x_0} k_{\text{тр}} p(x) \cos \alpha dx, \quad (2)$$

где $p(x)$ – погонный вес трубопровода (зависит от степени погружения трубопровода в воду;

$k_{\text{тр}}(x)$ – коэффициент трения (зависит от состава грунта по дистанции и характера движения);

$\alpha(x)$ – угол уклона траншеи по дистанции (положительный на подъеме и отрицательный на спуске).

Первый член в (2) определяет гравитационную составляющую сил сопротивления, второй – составляющую сил трения при движении по уклону.

Максимальная величина продольных напряжений, вызываемых тяговым усилием, при относительно малых углах

уклона профиля развивается на конечном участке при $x_0 = L$.

Уклон в каждой точке участка определяется по проектному профилю как $\Delta h(x)/\Delta x$.

Максимальная сила сопротивления движению, определяемая на участке протаскивания в точке $x = L$, равна

$$F_{\text{сопр}}(L) = \int_0^L [p(x) \sin \alpha + k_{\text{тр}} p(x) \cos \alpha] dx, \quad (3)$$

или с разбиением на участки интегрирования с разными условиями

$$F_{\text{сопр}} = \int_0^{l_1} m_0 g (\sin \alpha + k_{\text{тр}} \cos \alpha) dx + \int_{l_1}^{l_2} p_b (\sin \alpha + k_{\text{тр}} \cos \alpha) dx + \int_{l_2}^L m_0 g (\sin \alpha + k_{\text{тр}} \cos \alpha) dx,$$

где m_0 – погонная масса забалластированного трубопровода;

g – ускорение свободного падения;

p_b – вес 1 пог. м забалластированного трубопровода в воде.

Развиваемое тяговое усилие лебедки равно силе сопротивления движению, рассчитанной для всей плети $F_{\text{сопр}}(L)$:

$$F_{\text{тяги}}(L) = F_{\text{сопр}}(L). \quad (4)$$

Следует отметить, что сила растяжения $F_{\text{тяги}}(x_0)$, определенная в сечении (x_0) , не зависит от того, какая часть трубопровода расположена за координатой x_0 , если трубопровод уже прошел эту точку при протаскивании, поскольку, как уже

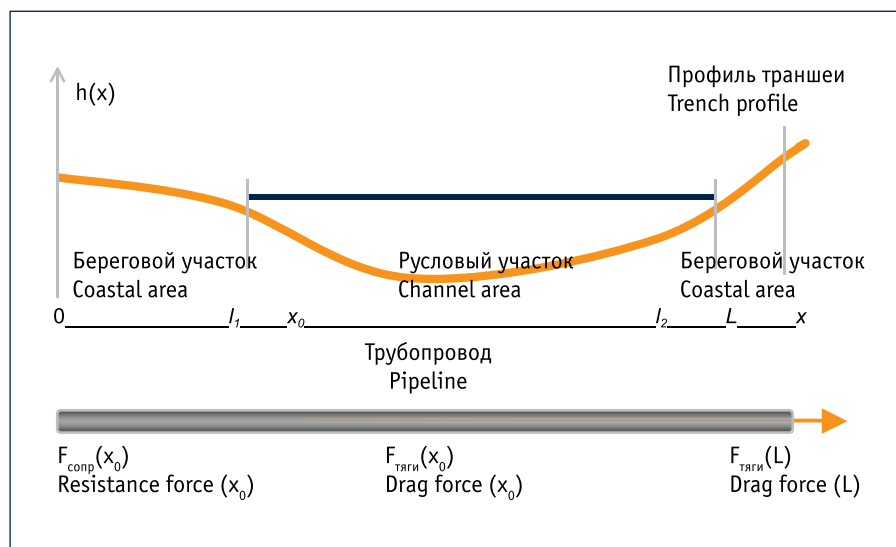


Рис. 1. Схема расчета сил сопротивления на участке протаскивания трубопровода

Fig. 1. The scheme of resistance forces calculation in the area of the pipeline pulling

Таблица 2. Нормативные значения удельных сцеплений и углов внутреннего трения глинистых грунтов четвертичных отложений
Table 2. The characteristic values of the specific adhesion C^h and internal friction angles φ_{in} for clay soils of Quaternary deposits

Виды глинистых грунтов и их консистенций Types of clay soils and their consistencies		Обозначения характеристик Designation of characteristics	Характеристика грунтов при коэффициенте пористости Characteristic of soils with porosity factor						
			0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супеси Clay sands	$0 \leq J_z \leq 0,25$	$C^h, \text{ кгс/см}^2$ $C^h, \text{ kgf/cm}^2$	0,15	0,11	0,08	–	–	–	–
		$\varphi_{in}, ^\circ$	30	29	27	–	–	–	–
	$0,25 \leq J_z \leq 0,75$	$C^h, \text{ кгс/см}^2$ $C^h, \text{ kgf/cm}^2$	0,13	0,09	0,06	0,03	–	–	–
		$\varphi_{in}, ^\circ$	28	26	24	21	–	–	–
Суглинки Clay loams	$0 \leq J_z \leq 0,25$	$C^h, \text{ кгс/см}^2$ $C^h, \text{ kgf/cm}^2$	0,47	0,37	0,31	0,25	0,22	0,19	–
		$\varphi_{in}, ^\circ$	26	25	24	23	22	20	–
	$0,25 \leq J_z \leq 0,5$	$C^h, \text{ кгс/см}^2$ $C^h, \text{ kgf/cm}^2$	0,39	0,34	0,28	0,23	0,18	0,15	–
		$\varphi_{in}, ^\circ$	24	23	22	21	13	17	–
	$0,5 \leq J_z \leq 0,75$	$C^h, \text{ кгс/см}^2$ $C^h, \text{ kgf/cm}^2$	–	–	0,25	0,20	0,16	0,14	0,12
		$\varphi_{in}, ^\circ$			19	18	16	14	12
Глины Clays	$0 \leq J_z \leq 0,25$	$C^h, \text{ кгс/см}^2$ $C^h, \text{ kgf/cm}^2$	–	0,81	0,68	0,54	0,47	0,41	0,36
		$\varphi_{in}, ^\circ$		21	20	19	18	16	14
	$0,25 \leq J_z \leq 0,5$	$C^h, \text{ кгс/см}^2$ $C^h, \text{ kgf/cm}^2$	–	–	0,57	0,50	0,43	0,37	0,32
		$\varphi_{in}, ^\circ$			18	17	16	14	11
	$0,5 \leq J_z \leq 0,75$	$C^h, \text{ кгс/см}^2$ $C^h, \text{ kgf/cm}^2$	–	–	0,45	0,41	0,36	0,33	0,29
		$\varphi_{in}, ^\circ$			15	14	12	10	7

было сказано, эта сила определяется только сопротивлением движению, рассчитанному на участке $(0, x_0)$.

В общем случае сопротивление перемещению трубопровода при протаскивании по дну траншеи можно представить как продольную силу в каком-либо сечении трубопровода, зависящую от положения (x_0) этого сечения на трассе протаскивания и направленную против приложенного тягового усилия.

Расчет сил сопротивления предполагает описание всей трассы протаскивания с точки зрения условий взаимодействия трубопровода с грунтом в каждой точке трассы [1].

Для произвольного достаточно короткого элемента трубопровода dx силу сопротивления dT движению этого элемента можно записать в виде суперпозиции составляющих, определяющих разные факторы сопротивления движению (рис. 2):

$$dT = dx(p \operatorname{tg} \varphi + a \cdot c^1) + dT_{\text{насс}} + dT_{\text{пр}} \quad (5)$$

где p – погонный вес трубопровода в точке.

КАЖДАЯ ТОЧКА ТРАССЫ С КООРДИНАТОЙ X ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ ОПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИМИ СИЛУ СОПРОТИВЛЕНИЯ:

- $\operatorname{tg} \varphi(x)$ – угол внутреннего трения грунта (максимальное значение ко-

эффициента трения). Значения угла внутреннего трения для разных типов грунтов приведены в таблицах 1 и 2 [1];

- $c(x)$ – восстанавливающаяся часть сцепления при скольжении трубопровода по грунту. Под сцеплением понимается сопротивление структурных связей всякому перемещению связываемых ими частиц грунта. Ориентировочные значения удельного сопротивления грунтов составляют: песчаных – 0–0,08, пылевато-глинистых – 0,05–1 кПа. Более подробные зависимости удельного

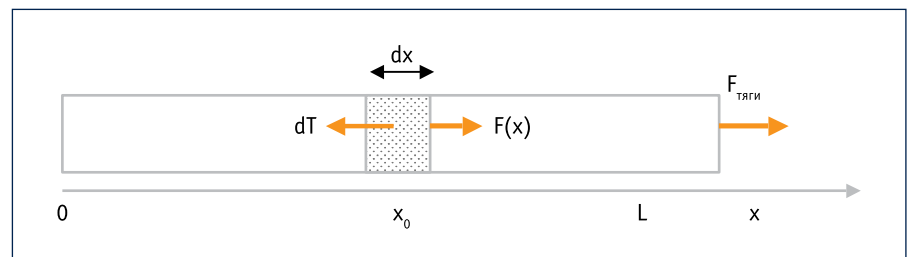


Рис. 2. К расчету общей силы сопротивления движению трубопровода
Fig. 2. For the calculation of the total resistance force to the pipeline movement

Таблица 3. Параметры грунта в зависимости от его влажности

Table 3. Soil parameters, depending on its moisture content

Грунт Soil	Угол внутреннего трения φ , ° Internal friction angle φ , °	Сцепление c , т/м ² Adhesion t_0 , t/m ²
Глина (Clay): • мокрая (moistured) • влажная (humid) • сухая (dry)	15–25 25–35 40–45	0,1 2 20
Гравий (Gravel): • мокрый (moistured) • сухой (dry)	25–35 35–45	– –
Песок (Sand): • мокрый (moistured) • влажный (humid) • сухой (dry)	20–25 40 30–35	– – –

сцепления от типа грунта приведены в таблицах 1 и 2;

- c^1 – восстанавливаемая часть сцепления при скольжении трубопровода по грунту. При отсутствии экспериментальных данных величину c^1 принимают равной 0,1 с;

- $a(x)$ – длина дуги окружности трубопровода, врезающегося в грунт при движении, определяющая площадь соприкосновения трубопровода с грунтом. Эта характеристика зависит не только от твердости и податливости грунта, но также от диаметра и веса трубопровода. Как правило, значение a определяют экспериментально.

В зависимости от характера грунта, а также от технологических решений по протаскиванию площадь соприкосновения трубопровода с грунтом, а также величины $\varphi(x)$ и $c(x)$ могут меняться по дистанции протаскивания. Например, на участке, где трубопровод лежит на роликовой спусковой дорожке, величина $c(x)$ равна нулю.

Характеристики песчаных грунтов в таблице 1 относятся к кварцевым пескам с зернами различной окатанности, содержащими не более 20 % полевого шпата и не более 5 % различных примесей в сумме (слюда, глауконит и т.д.), включая

растительные остатки, независимо от степени влажности.

Характеристики глинистых грунтов в таблице 2 относятся к грунтам, содержащим не более 5 % растительных остатков и имеющим степень влажности $G \geq 0,8$. Указанные характеристики грунта зависят от его влажности. В таблице 3 приведены соответствующие значения параметров c и φ в зависимости от влажности грунта.

Удельная величина пассивного отпора грунта $T_{\text{пасс}}$ для обетонированного трубопровода принимается равной нулю по всей дистанции вследствие однородности поверхности трубопровода и отсутствия на ней какого-либо рода выступов.

Составляющая сопротивления dT_U определяет упругое взаимодействие трубопровода с грунтом. Это взаимодействие проявляется при деформации (растяжении) элемента трубопровода dx , происходящей под действием тягового усилия $F_{\text{тяги}}$, передающегося к элементу dx от оголовка трубопровода. При трогании с места на глинистых грунтах проявляется эффект присоса трубопровода с гладкой поверхностью к грунту. Сила присоса зависит от площади опирания трубопровода на грунт

и от вида грунта. На песчаном грунте присос практически не проявляется. На глинистых грунтах сила присоса увеличивается со временем, поэтому длительных остановок при протаскивании следует избегать.

Сила присоса характеризуется удельной силой q_n на единицу площади опирания. В плотных глинах и суглинках приблизительно принимают $q_n = 0,03$ т/м², в вязких глинах $q_n = 0,06$ т/м².

Параметр K , как уже отмечалось, включает компоненту, зависящую от характера перемещения трубопровода, в частности от его ускорения. Такая компонента должна учитываться в период страгивания трубопровода с места вплоть до достижения им устойчивого равномерного характера перемещения. Быстрое натяжение троса приводит к возникновению инерционного противодействия массивного трубопровода движению. В состав сил сопротивления (5) добавляется составляющая

$$F_{\text{уск}} = m_0 L dv/dt. \quad (6)$$

Минимизируют инерционные процессы с помощью плавного регулирования натяжения троса при страгивании трубопровода с места. При таком режиме состояние трубопровода в каждый момент времени можно принять квазистационарным и не учитывать в расчетах сил сопротивления инерционную составляющую.

Вычисление сил сопротивления движению трубопровода можно проводить отдельно для характерных участков трассы, в частности:

- берегового участка расположения монтажной площадки;
- руслового участка по урезам воды;
- берегового участка на выходе трубопровода из воды.

Для каждого из участков при однородности в его пределах состава грунта интегральные соотношения представляются в виде суммы сил сопротивления по участкам.

Гравитационная составляющая сил сопротивления $F_{\text{гр}}$ может быть определена исходя из соотношения для угла уклона трассы

$$\text{tg } \alpha = dh(x)/dx.$$

Подставляя в первый член формулы (2) и принимая для малых углов уклона $\sin \alpha \sim \operatorname{tg} \alpha$, получаем по участкам:

- в пределах берегового участка входа

$$F_{\text{гр}} = -p_0 \cdot h(0),$$

где p_0 – погонный вес трубопровода на воздухе, $h(0)$ – высота заднего конца трубопровода над уровнем воды. Знак «минус» означает, что уклон отрицательный и гравитационная составляющая действует не как сопротивление, а как добавка к тяговой силе;

- в пределах руслового участка гравитационная составляющая равна

$$F_{\text{гр}} = p_b [h(l_2) - h(l_1)] = 0,$$

где p_b – погонный вес трубопровода в воде, l_2 и l_1 – границы водной преграды;

- соответственно, на берегу выхода

$$F_{\text{гр}} = p_0 h(L).$$

Таким образом, общая величина гравитационной составляющей сопротивления движению трубопровода на всем его протяжении определяется разностью высотных отметок концов трубопровода и равна

$$F_{\text{гр}} = p_0 [h(L) - h(0)].$$

Методика расчета коэффициента трения при перемещении обетонированной трубы по траншее в процессе протаскивания состоит в выполнении следующей последовательности операций:

- 1) на участке протаскивания выделяются области с идентичными по составу видами грунта;

- 2) для каждого участка по табл. 1–3 определяются параметры грунта, определяющие силу сопротивления движению:

- удельное сцепление c , кгс/см²;
 - угол внутреннего трения грунта φ , °;
- 3) с учетом отсутствия на поверхности обетонированных труб неровностей (пригрузов) удельная величина пассивного отпора грунта $T_{\text{пасс}}$ принимается равной нулю на всех участках протаскивания независимо от типа грунта;
 - 4) по формуле (5) определяется составляющая сопротивления движению, определяемая именно трением о грунт, для i -го участка трассы

$$T_i = l_i (\operatorname{ptg} \varphi + 0,1ac),$$

где T_i – сила трения, развиваемая при движении трубопровода на i -м участке; l_i – протяженность i -го участка; p – погонный вес трубопровода (зависит от степени погружения трубопровода в воду на рассматриваемом участке;

a – длина дуги окружности трубы, врезающейся в грунт при движении, определяющая площадь соприкосновения трубопровода с грунтом на данном участке. Для податливых типов грунтов на практике принимается [2]

$$a = 0,3D_{\text{тр}}$$

где $D_{\text{тр}}$ – внешний диаметр трубопровода с покрытием;

- 5) коэффициент трения на данном участке в традиционном представлении можно выразить как отношение силы трения к весу трубопровода

$$f_i = T_i / l_i p = (\operatorname{ptg} \varphi + 0,1ac) / p = \operatorname{tg} \varphi + 0,1ac / p.$$

Результирующая сила трения определяется как сумма вычисленных значений T_i по трассе протаскивания

$$T = \sum T_i.$$

Остальные составляющие сопротивления в формуле (5) T_U и $T_{\text{пр}}$ определяются инерционными и упругими свойствами обетонированного трубопровода и не связаны непосредственно с коэффициентом трения.

Таким образом, можно сделать вывод, что определение коэффициента трения при протаскивании обетонированного трубопровода не является достаточным для учета всех сил сопротивления движению. Обетонированные трубы имеют разную конструкцию, тип внешнего покрытия у разных производителей различается. Для повышения точности оценки коэффициента трения экспериментально должны быть конкретизированы значения параметров, перечисленных в статье.

Кроме того, расчет инерционной составляющей сопротивления и составляющей, определяемой упругим взаимодействием трубопровода с грунтом, требует экспериментального определения продольной жесткости обетонированной трубы, изготовленной по разным технологиям нанесения бетонного покрытия. При высокой адгезии бетона к трубе (даже при наличии полиэтиленовой прослойки) бетонная оболочка фактически «зажимает» трубу, снижая практически до нуля деформации при продольной нагрузке.

Литература:

1. Методические рекомендации по сбору инженерно-геологической информации и использованию табличных геотехнических данных при проектировании земляного полотна автомобильных дорог. М., 1981.
2. СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений».
3. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения: Учебник для вузов. Ч. 2. Технология строительства. М.: Недра-Бизнесцентр, 2007.

References:

1. Guidelines for the collection of geotechnical data and the use of tabular geotechnical data in the design of subgrade of highways. Moscow, 1981. (In Russian)
2. Foundations of buildings and structures SNiP 2.02.01-83*. (In Russian)
3. Borodavkin P.P. Offshore oil and gas constructions, Textbook for high schools, Part 2, Construction technology. Moscow, Nedra-Biznestsentr, 2007. (In Russian)