

УДК 624.691.4

С. Хазін¹, канд. техн. наук; В. Хазін², канд. техн. наук;
Ю. Винников², докт. техн. наук;

¹«СГК-Трубопроводстрой-1», м. Інта, Республіка Комі

²Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка

РОЗРАХУНОК ВІДСТАНІ МІЖ ПАЛЬОВИМИ АНКЕРАМИ ЗА УМОВИ СТІЙКОСТІ ТРУБОПРОВОДУ НА СПЛИВАННЯ

Резюме. Проаналізовано відомі способи баластування трубопроводів від спливання на обводнених територіях. Для закріплення трубопроводів розроблено клиноподібні палі з анкерними виступами, зверненими уширеною стороною до поверхні. Запропоновано інженерну методику розрахунку відстані між пальовими анкерами з розширеннями по довжині стовбура для забезпечення стійкості нафто- і газопроводів при дії виштовхуючої сили води на обводнених ділянках.

Для закріплення трубопроводів розроблено клиноподібні палі з анкерними виступами. Перевагою таких анкерів є кращий контакт із ущільненим ґрунтом. Досліджено взаємодію пальового анкера з основою у натурних умовах. Статичні випробування довели, що внаслідок наявності конструктивних розширень уздовж стовбура анкера зростає його опір висмикуюючому зусиллю в 1,7 раза, а питомий опір (з розрахунку на 1 м³ бетону) – у 1,4 раза порівняно з анкерами без розширень.

Ключові слова: обводнена територія, трубопровід, спливання, пальовий анкер, несуча здатність, стійкість.

S. Khazin, V. Khazin, Y. Vynnykov

THE DISTANCE CALCULATION BETWEEN PILE ANCHORS ON THE CONDITION OF PIPELINE STABILITY FOR EMERSION

Summary. The known methods of pipelines ballasting means of emersion on the flooded areas are analysed. To consolidate the conduits, anchor performances wedge-shaped piles with turning of their extended side to the surface are developed. The principle of these anchors is to attract a larger volume of compacted soil that provides the growth of the pile capacity for pulling loads. Interaction of pile anchor with the foundation is researched in natural conditions. Static tests showed that due to the length of the barrel extension anchor increases its carrying capacity for pulling load in 1,7 times, and specific resistance (per 1 m³ of concrete) in 1,4 times compared with the anchors without extensions, which is explained by the significant increase in prism soil. The stress- strain state of the soil around the pile anchors is estimated using the modeling. Finite element method and stepper-iterative procedures were used in the software sector. Axisymmetric solutions of physically and geometrically nonlinear formulation were implemented in this software. An engineering method of the distance calculating between pile anchors with expansion of the barrel length to ensure the oil and gas pipelines stability under the action of water force on the flooded areas is proposed. The value of the estimated pulling force is defined as the load bearing capacity of single pile anchor, working on pulling the load, which primarily depends on the design of the anchor. Calculation of the wedge-shaped anchor piles with variable cross section along the length of the barrel with performances has the following features. The total resistance of a single pile anchor the device upright pulling load depends not only on the number of performances and of their size, but also on the physical and mechanical properties of the natural structure of the soil to a depth of immersion of the pile.

Key words: flooded area; pipeline; emersion; pile anchor, bearing capacity, stability.

Постановка проблеми. У зв'язку з тим, що протяжність ділянок нафто- і газопроводів, що проходять по заводненій і заболоченій території як у Росії, так і в Україні доходить до 15–20%. Проблема захисту їх від спливання під дією виштовхуючої сили води є актуальною [1–3].

Спосіб баластування трубопроводів від спливання привантажувачами (нині ними закріплюється до 70% трубопроводів) – дорогий і не універсальний (на запобігання спливання трубопроводу використовується лише близько 60% власної ваги вантажу). Створення перемичок із закріпленого ґрунту, в т.ч. із використанням синтетичних матеріалів, – трудомісткий процес, до того ж з обмеженим застосуванням, а використання металевих анкерних пристроїв хоча й відзначається високою питомою несучою здатністю, вимагає спеціального обладнання та надійного захисту від корозії. При реконструкції трубопроводів заміні підлягають не тільки труби, але й баластувальні привантаження [1–3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зниження матеріаломісткості й трудомісткості робіт без зменшення надійності роботи трубопроводів можливе шляхом створення анкерів підвищеної несучої здатності. При цьому слід удосконалювати і методику їх розрахунку [3, 4]. Автори розробили [3, 4] клиноподібну палю з анкерними виступами, зверненими уширеною стороною до поверхні, в основі якої – концепція залучення в роботу більшого обсягу ґрунту з підвищеними фізико-механічними характеристиками і розмірами ущільнених зон над уширеннями, що забезпечує зростання несучої здатності анкера на висмикуюче навантаження (рис.1).

У натурних умовах досліджено взаємодію пальового анкера з основою [3]. Статичні випробування показали, що за рахунок розширень по довжині стовбура анкера підвищується його несуча здатність на висмикуючі навантаження в 1,7 раза, а питомий опір (з розрахунку на 1 м³ бетону) – в 1,4 раза в порівнянні з анкерами без розширень, що пояснюється істотним збільшенням обсягу призьми випирання ґрунту.

Параметри ущільненої зони ґрунту навколо анкерів з виступами досліджували пошаровою розкопкою їх з відбором ґрунту в кільця з їх лабораторними дослідженнями. Діаметр зони ущільнення ґрунту навколо паль з виступами в пісках на 13–18% більше тих самих параметрів у аналогічних анкерів без виступів унаслідок формування областей додаткового ущільнення під виступами (рис.1). У зоні достатнього ущільнення модуль деформації піску зростає в 3 рази [3].

Оцінювання напружено-деформованого стану масиву при влаштуванні та подальшій роботі в ньому пальових анкерів виконували моделюванням з використанням методу скінченних елементів і кроково-ітераційних процедур у програмному комплексі, орієнтованому на задачі ущільнення, в якому реалізовано рішення осесиметричної задачі у фізично й геометрично нелінійній постановці. При цьому враховується ущільнення ґрунту, проковзування бічної поверхні палі відносно ґрунту, перехід ґрунту в текучий стан [3].

Мета роботи – розробити методику розрахунку відстані між пальовими анкерами з розширеннями по довжині стовбура для забезпечення стійкості нафто- і газопроводів при дії виштовхуючої сили води на обводнених ділянках.

Постановка завдання. Відстань між осями анкерних паль [1] визначається, виходячи з розрахункового навантаження [5, 6], переданого в цілому на анкерний пристрій N_a , за умови забезпечення стійкості положення трубопроводу $Q_{акт.}$ з обов'язковою перевіркою загальної стійкості його в поздовжньому напрямку S [1].

Результати дослідження. За умови несучої здатності пальового анкера розрахунок проводиться за формулою

$$L = N_a / P, \quad (1.1)$$

де N_a – розрахункове навантаження, що передається в цілому на анкерний пристрій (в якому може бути більше одного пальового анкера); P – величина розрахункового висмикуючого зусилля, що припадає на 1 м довжини трубопроводу

$$N_a = Z \cdot m_a \cdot N, \quad (1.2)$$

де Z – число окремих анкерів в одному анкерному пристрої; N – розрахункове навантаження, що передається на пальовий анкер [6], див вираз (1.4); m_a – коефіцієнт умов роботи анкерного пристрою, що дорівнює 1,0 при $Z=1$ або при $Z \geq 2$ и $D/D_a \geq 3$; а при $Z \geq 2$ и $1 \leq D/D_a \leq 3$ визначається за формулою

$$m_a = 0,25 \cdot (1 + D/D_a), \quad (1.3)$$

де D – зовнішній діаметр трубопроводу, см; D_a – максимальний лінійний розмір габариту проекції одного анкера на горизонтальну площину, см;

$$N = F_d / \gamma_k, \quad (1.4)$$

де F_d – несуча здатність анкерної палі, яка визначається за формулою (1.5); γ_k – коефіцієнт надійності, прийнятий $\gamma_k = 1,4$, якщо несуча здатність анкерної палі визначена розрахунком, і $\gamma_k = 1,2$, якщо визначена за результатами польових випробувань статичним навантаженням.

Величина розрахункового висмикуючого зусилля визначається як несуча здатність одиничного пальового анкера, що працює на висмикуюче навантаження, яка, перш за все, залежить від конструкції анкера. Розрахунок клиноподібного пальового анкера змінного перерізу по довжині стовбура з виступами (рис.1) має такі особливості. Загальний опір одиничного пальового анкерного пристрою вертикальному висмикуючому навантаженню (див. розрахункову схему на рис.2) залежить не тільки від кількості виступів (n) та від їх розмірів (a_i), а й від фізико-механічних характеристик ґрунту природної структури по глибині занурення палі. Несуча здатність такого пальового анкера визначається за формулою

$$F_d = 2\gamma_c \left(\gamma_{cf} \sum f_i \cdot A_i + R_i \cdot A_{k,i} \right), \quad (1.5)$$

де γ_c – коефіцієнт умов роботи палі в ґрунті, для паль, коротше 4 м, $\gamma_c = 0,6$; γ_{cf} – коефіцієнт умов роботи ґрунту по боковій поверхні палі, що враховує вплив способу її занурення (табл.3 [6]); f_i – розрахунковий опір ґрунту i -го шару на похилій бічній поверхні палі, кПа, визначається за табл.2 [6]; A_i – площа бічної вертикальної поверхні анкерного пристрою, м², в i -му шарі ґрунту; R_i – розрахунковий опір ґрунту i -го шару, кПа, над анкерними виступами, що визначається за табл.1 [6]; $A_{k,i}$ – площа горизонтальної поверхні виступів, м², в i -му шарі.

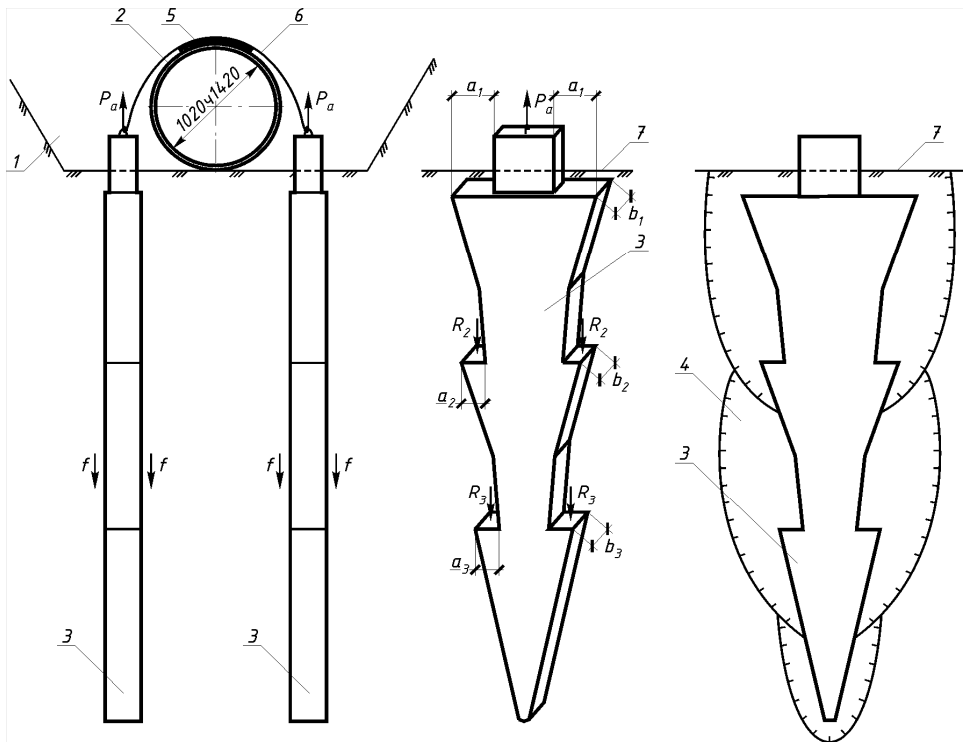


Рисунок 1. Розрахункова схема анкерного пристрою з виступами по довжині стовбура:
 1 – траншея; 2 – трубопровід; 3 – пальовий анкер; 4 – зона ущільненого ґрунту;
 5 – м'яка захисна прокладка; 6 – металевий пояс (бандаж); 7 – основа траншеї

Figure 1. Anchoring device diagram with protrusions along the length of the barrel:
 1 – trench; 2 – pipe; 3 – pile anchor; 4 – compacted soil zone;
 5 – soft protective lining; 6 – metallic belt (band); 7 – the trench foundation

Вираз (1.5) отримано з умови, що в стані граничної рівноваги висмикуюче навантаження на анкер сприймається силами тертя ґрунту по вертикальній утворюючій анкера і лобовим опором анкерних виступів.

Розрахунок умови забезпечення стійкості трубопроводів від дії виштовхуючої сили води рекомендується проводити з урахуванням загальної розрахункової схеми (рис.2).

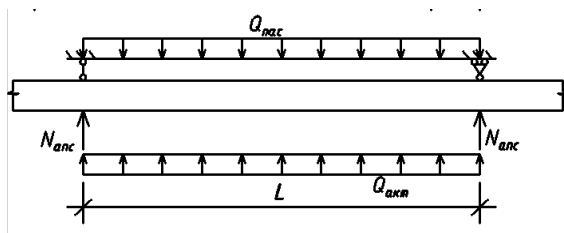


Рисунок 2. Розрахункова схема трубопроводу

Figure 2. Pipeline diagram

Стійкість $Q_{акт}$ трубопроводу перевіряють за формулою (1.6)

$$Q_{акт} \leq \frac{1}{k_{н.г}} Q_{нас}, \quad (1.6)$$

де $Q_{акт}$ і $Q_{нас}$ – відповідно сумарні розрахункові активні й пасивні навантаження на трубопровід, що діють відповідно вгору і вниз (у т.ч. від власної ваги трубопроводу), кН/м; $k_{н.г}$ – коефіцієнт надійності стійкості положення трубопроводу проти спливання,

який приймається згідно з нормами [1], і для заплavnих ділянок переходу за межами виробництва підводно-технічних робіт приймається $k_{н.в} = 1,05$.

Сумарне рівномірно розподілене пасивне навантаження, кН/м, визначають за формулою

$$Q_{нас} = q_m + q_i + q_z, \quad (1.7)$$

де q_m – розрахункове навантаження від ваги трубопроводу, кН/м; q_i – вага ізоляційного покриття, кН/м; q_z – вага газу що транспортується, кН/м; q_m і q_i – визначаються за таблицею 1; $q_z = 10^{-2} \cdot p \cdot D_{in}^2$ (де p – робочий (нормативний) тиск, МПа; D_{in} – внутрішній діаметр трубопроводу, см).

Таблиця 1

Технічні характеристики сталевих трубопроводів

№ з.п.	Показник одиниць виміру	Діаметр і товщина стінки труби, мм									
		1420		1220		1020		820		630	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Вага труби*, кН/м	10	347.57	8	239.10	8	125.10	5	100.45	5	77.03
		20	690.20	20	591.60	20	493.00	20	394.4	20	300.73
2	Момент інерції перерізу труби*, м ⁴	10	111.26	8	56.49	8	20.68	5	10.73	5	4.85
		20	28.11	20	139.14	20	80.92	20	41.74	20	18.72
3	Вага газу в трубі**, кН/м	0.012		0.009		0.006		0.004		0.002	
4	Вага ізоляції***, кН/м	0.168		0.144		0.121		0.097		0.074	

* Вага і момент інерції наведені для найменших і найбільших товщин стінки трубопроводу, проміжні значення можна визначати інтерполяцією.

** Вага газу (наведено, виходячи із умови щільності $\rho_z = 0.781$ кг/м³), а зміни тиску в трубі слід враховувати введенням коригуючих коефіцієнтів.

*** Вага ізоляції (наведено для ізоляції труб екструдованим поліетиленом зі щільністю $\rho = 965$ кг/м³).

Максимальний прогин труби f_{max} , см, (відповідно п.8.25, 8.28 [1]), від виштовхуючої сили води рекомендується визначати відповідно до епюри згинальних моментів (рис.3), складеної на основі схеми трубопроводу (рис.2).

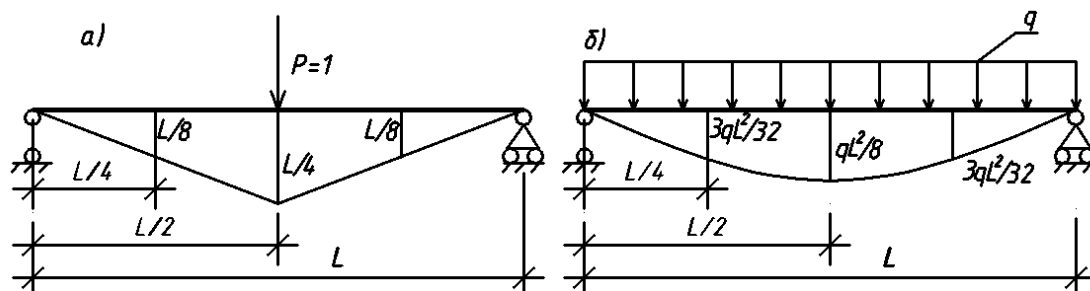


Рисунок 3. Епюри згинальних моментів: а – одиничного; б – вантажного

Figure 3. Bending moments diagrams: a – single; b – freight

Розрахунок проводиться як для балки на двох опорах з шарнірним з'єднанням у зв'язку з наявністю пружної (м'якої) прокладки під анкерними хомутами (позиція 5 на рис.1).

$$f_{\max} = \sum_{i=1}^n \int_0^{l_i} \left(\frac{M \cdot \bar{M}}{EI} \right)_i \cdot dx = \frac{2L}{2 \cdot 6EI} \left(\frac{qL^2}{8} \cdot \frac{L}{4} + 4 \cdot \frac{L}{8} \cdot \frac{3 \cdot qL^2}{32} \right) = \frac{5 \cdot qL^4}{384EI}; \quad (1.8)$$

$$q = Q_{акт} - Q_{нас}, \quad (1.9)$$

де q – розрахункове навантаження на трубопровід з урахуванням пасивного навантаження, кН/м; q – момент інерції перерізу трубопроводу на розрахунковій ділянці, м⁴; E – початковий модуль пружності матеріалу труби (модуль Юнга першого роду), для сталеві труби $E = 2,06 \cdot 10^5$, МПа; \bar{M} – згинальний момент від одиничної сили, кНм; M – згинальний момент від зовнішнього навантаження, кНм; L – відстань між анкерними пристроями.

Висновки. Запропоновано досить просту інженерну методику розрахунку відстані між пальовими анкерами з розширеннями по довжині стовбура для забезпечення стійкості нафто- і газопроводів при дії виштовхуючої сили води на обводнених ділянках.

Conclusions. Relatively simple engineering method of calculating the distance between the pile anchors with extensions along the length of the barrel to ensure the stability of oil and gas pipes under the action of water force into flooded areas is proposed.

Список використаної літератури

1. СНиП 2.05.06-85. Магистральные трубопроводы / Госстрой СССР. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 52 с.
2. Харитонов, В.А. Строительство магистральных трубопроводов нефти и газа: монография [Текст] / В.А. Харитонов. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 496 с.
3. Хазин, С.В. Свайные анкеры для закрепления нефтегазовых трубопроводов: монография [Текст] / С.В. Хазин, В.И. Хазин, Ю.Л. Винников. – К: Укрархстройинформ, 2005. – 252 с.
4. Hazin, S. Modern Constructions of Pile Anchors with Widening at Shaft for Stabilization of Petroleum and Gas Pipelines and his Design / S. Hazin, Y. Vynnykov // Proc. Intern. Conf. on Coastal Geotechnical Engineering in Practice. – Atyrau, 2002. – P. 320 – 323.
5. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция. СНиП 2.02.01-85*. – М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2011. – 161 с.
6. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция. СНиП 2.02.03-85. – М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2011. – 86 с.

Отримано 11.12.2013