



зменшення витрат на експлуатацію, модернізацію та виконання монтажно – демонтажних робіт.

Літературні джерела

1 Беркман М.Б., Бовский Г.Н., Куйбида Г.Г., Леонтьев Ю.С. Подвесные канатные дороги.- М.: Машиностроение, 1984. – 264 с.

2 Мартинців М.П., Адамовський М.Г., Сологуб Б.В. Особливості розрахунку систем із замкнутим рухомим тягово-несним канатом. // Науковий вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць. Вип. 19.8. – Львів: НЛТУ України. 2009. с. 146-152.

3 Мартинців М.П., Сологуб Б.В., Матішин М.В. Динаміка та міцність підвісних канатних систем. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011.-188с.

4 Сологуб Б.В., Данило Я.Я. Підвісна канатна крісельна дорога. Патент на корисну модель №97581 від 25.03.2015р. 5 с.

УДК 621.644

## **ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ БАГАТООПОРНОГО ПЕРЕХОДУ МАГІСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДУ**

*А.Р. Дзюбик<sup>1</sup>, І.А. Прокопишин<sup>1,2</sup>, Л.В. Дзюбик<sup>1</sup>, Я.А. Зінько<sup>1</sup>*

*1 Національний університет «Львівська політехніка»  
79013, м. Львів – 13, вул. С. Бандери, 12,*

*2 Львівський національний університет ім. Івана Франка  
79000, м. Львів, вул. Університетська, 1*

При прокладанні магістральних трубопроводів із подоланням природних та штучних перешкод широко застосовують надземні ділянки, що встановлені на окремих опорах. Така схема дає змогу спростити технологію спорудження та отримати достатньо надійну конструкцію.

Однак, для відкритої ділянки трубопроводу, необхідно враховувати ряд додаткових факторів, які впливають на його експлуатаційні характеристики. Зокрема, сюди слід віднести перерізуючі сили та згинні моменти, зумовлені конструктивним виконанням надземних частин трубопроводу, положенням опорних елементів та прилягаючих підземних ділянок, вагою конструкції та експлуатаційними навантаженнями, температурою навколишнього середовища тощо. Крім того, у процесі експлуатації трубопроводу можуть відбуватися зміни, як навантаження, так і умов взаємодії відкритої лінійної частини трубопроводу з опорами та підземними ділянками, викликані зсувами ґрунту, податливістю опор та їх зміщеннями відносно початкового положення [1-3].



В результаті діагностування технічного стану експлуатованої надземної ділянки трубопроводу отримують його окремі доступні характеристики (відносний прогин трубопроводу, величини деформації в окремих перерізах, температуру труби тощо). Для відтворення загальної картини напружено-деформованого стану та встановлення коефіцієнта запасу міцності з урахуванням експериментальних даних необхідна адекватна математична модель, що достатньо повно враховує конструктивну схему та умови експлуатації надземної ділянки трубопроводу.

У роботі для опису згину трубопроводу з зони прямолінійного надземного переходу, в розвиток результатів робіт [4, 5], використано модель балки кусково-змінної жорсткості, яка складається з трьох ділянок: лівої підземної, надземної та правої надземної (рис. 1). Надземна ділянка балки вільно лежить на пружних опорах, з можливим попереднім вертикальним зміщенням, а підземні – ділянки пружно взаємодіють з ґрунтом. Для оцінки міцності трубопроводу в області надземного переходу при відсутності проміжних опор подібну модель застосовано у роботі [3].

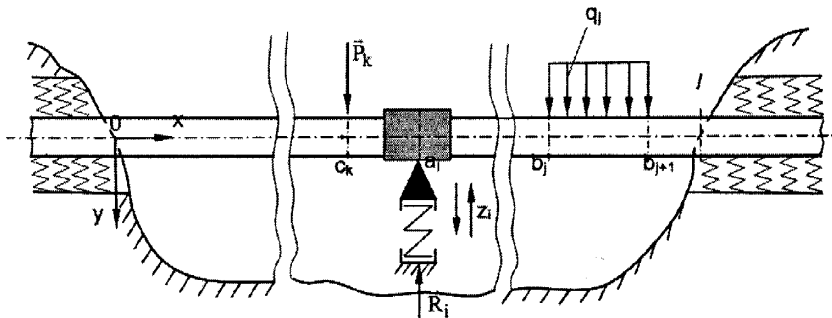


Рис. 1. Схема трубопроводу в зоні надземного переходу

Систему координат  $xOy$  розмістимо на початку надземної ділянки, вісь  $Ox$  направимо вздовж осі балки вправо, а вісь  $Oy$  – вниз. Для побудови розв'язку задачі запишемо загальні вирази для переміщень на окремих ділянках трубопроводу, а невідомі сталі та реакції опор знайдемо з умов спряження ділянок та умов контакту балки з опорами.

Нехай  $a_i, \kappa_i, z_i, i = 1, N_R$  – координати, коефіцієнти податливості та початкові зміщення опор трубопроводу,  $[d_m, d_{m+1}), m = 1, N_D$  – ділянки, де жорсткість труби на згин  $D_m$  – стала. У точках  $x = c_k, k = 1, N_p$  на трубопровід діють зосереджені зусилля  $P_k$ , а на ділянках  $[b_j, b_{j+1}), j = 1, N_q$  (в межах ділянки сталої жорсткості) –



розподілені зусилля сталої інтенсивності  $q_j$ , які враховують масу труби, транспортованого продукту тощо. Не опорах – у точках з координатами і виникають реакції  $R_i$ ,  $i=1, N_R$ .

Прогин надземної ділянки  $w(x)$  задовольняє диференціальне рівняння [4]:

$$(D(x)w'')'' = q(x), \quad x \in (0, l), \quad (1)$$

де зовнішнє навантаження визначається так:

$$q(x) = \sum_{i=1}^{N_R} R_i \delta(x - a_i) + \sum_{k=1}^{N_P} P_k \delta(x - c_k) + \sum_{j=1}^{N_q} q_j [\theta(x - b_j) - \theta(x - b_{j+1})], \quad (2)$$

$\delta(x - \alpha)$  – дельта функція Дірака,

$\theta(x - \alpha) = (0, x < \alpha) \vee (1, x \geq \alpha)$  – функція Гевісайда.

На кожному опорі діє сила, протилежна до реакції опори  $R_i$ , яка зумовлює пружне переміщення опори  $U_i = -\kappa_i R_i$ ,  $i=1, N_R$ . Тому умови контакту балки з опорами матимуть вигляд:

$$w(a_i) = -\kappa_i R_i + z_i, \quad i=1, N_R. \quad (3)$$

Згинний момент та перерізуючу силу в балці визначають через переміщення так:

$$M(x) = -D(x)w''(x), \quad Q(x) = M'(x). \quad (4)$$

Методом функцій Коші [6] загальний розв'язок рівняння (1) запишемо у вигляді [4]:

$$w(x) = w_0 + \theta_0 x + M_0 \frac{\partial}{\partial \alpha} K(x, 0) + Q_0 K(x, 0) + w^*(x, 0), \quad (5)$$

де  $K(x, \alpha) = \int_{\alpha}^x \frac{(x-s)(s-\alpha)}{D(s)} ds$  – функція Коші,

$w_0, \theta_0, M_0, Q_0$  – початкові параметри,

$w^*(x)$  – частковий розв'язок.

Прогини балки  $w_1$  і  $w_2$  на підземних ділянках  $x \in (-\infty, 0)$  та  $x \in (l, \infty)$  задовольняють рівняння:

$$(D_i^0 w_i'')'' = k_i (f_i - w_i) + q_i^0, \quad i=1, 2, \quad (6)$$



де  $D_i^0$  – жорсткість відповідної ділянки трубопроводу на згин;

$q_i^0$  – зовнішнє навантаження на підземні ділянки;

$k_i$  – коефіцієнти жорсткості ґрунту;

$f_1(x) = \alpha_1 x + \delta_1$ ,  $f_2(x) = \alpha_2(x-l) + \delta_2$  – форма осьової лінії після зсуву ґрунту.

За припущення про сталу згинну жорсткість трубопроводу на підземних ділянках, легко записати загальні вирази для прогину на цих ділянках:

$$W_1(x) = A_1 e^{\beta_1 x} \sin \beta_1 x + A_2 e^{\beta_1 x} \cos \beta_1 x + f_1(x) + q_1^0 / k_1, \quad (7)$$

$$W_2(x') = B_1 e^{-\beta_2 x'} \sin \beta_2 x' + B_2 e^{-\beta_2 x'} \cos \beta_2 x' + f_2(x') + q_2^0 / k_2, \quad (8)$$

де  $\beta_i^4 = k_i / 4D_i^0$ ;  $x' = x - l$  – допоміжна координата;

$A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$ ,  $B_2$  – невідомі сталі.

Формули для моментів та перерізуючих сил на цих ділянках аналогічні (4).

Загалом маємо вісім невідомих сталих  $w_0$ ,  $\theta_0$ ,  $M_0$ ,  $Q_0$ ,  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$ ,  $B_2$  та  $N_R$  невідомих реакцій  $R_i$ ,  $i=1, N_R$ . Для їх знаходження використовуємо умови рівності переміщень, кутів повороту, моментів та перерізуючих сил в точках з'єднання ділянок при  $x=0$  та  $x=l$ , а також умови контакту балки з опорами (3).

Для оцінки міцності трубопроводу додатково враховано напруження від внутрішнього тиску та перепаду температури.

Методику розрахунку реалізовано на мові Object Pascal в середовищі Delphi. Вона дозволяє аналізувати вплив зміщень опор та зсуву ґрунту на міцність трубопроводу, розв'язувати задачі раціонального проєктування опор, обернені задачі за результатами експериментальних вимірювань.

Літературні джерела

1 Перун И. В. Магистральные трубопроводы в горных условиях. – М.Ж Недра, 1987. – 175 с.;

2 Б. Білобран, А. Дзюбик Розрахунок напружено – деформованого стану бал кових переходів магістральних трубопроводів чисельними методами // Вісник НУ "Львівська політехніка": "Динаміка, міцність та проєктування машин і приладів". – 2007. – № 588 – С. 8 – 12.;

3 Андрусак, А. В. Інженерна оцінка міцності надземного переходу нафтопроводу, спорудженого в гірській місцевості / А. В. Андрусак, А.



С. Величкович // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2015. - № 1. - С. 89-96.;

4 Дзюбик Л., Кузьо І., Прокопишин Іван. Статична рівновага балки змінної жорсткості на пружних опорах з попереднім зміщенням // Машинознавство. – 2009. – № 11 – С. 27-30.;

5 Дзюбик Л. В. Вплив граничних значень жорсткості корпусу та опор на стан обертового агрегата / Л. В. Дзюбик // Вісник НУ «Львівська політехніка». – 2013. – № 759 : Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – С. 31-36.;

6 Гащук П., Зорій Л.-М. Лійніні моделі дискретно-неперервних механічних систем. – Львів: Українські технології, 1999. – 372 с.

**УДК 621.74.046**

## **ОБЛАДНАННЯ І ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВОК ЛОПАТЕВИХ ДОЛІТ З РДС ВСТАВКАМИ ШЛЯХОМ ВІДЦЕНТРОВОГО ЛИТВА**

*С.Л. Борушак, Т.В. Лукань*

*76019, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, e-mail: lutana.ua@gmail.com*

Значний об'єм бурових робіт по створенню нафтогазових свердловин виконується лопатевими долотами РДС-типу, оснащеними надтвердими різальними елементами. Останні кріпляться в корпусі долота (переважно на торцях лопатей) шляхом впаювання або запресуванням. Стійкість та продуктивність роботи цих доліт залежить, з одного боку, від параметрів власне різальних елементів, а з іншого – від міцності та зносостійкості матеріалу лопатей.

Зазвичай, корпуси лопатевих доліт вказаного типу виготовляють куванням заготовки з наступним фрезеруванням лопатей і пазів для встановлення різальних елементів та свердлінням отворів під циліндричні вставки на калібрувальній частині долота. Існуюча технологія є трудомісткою та енерговитратною, а також супроводжується великим відсотком відходу металу в стружку під час фрезерних та свердлильних операцій. Оскільки кількість типорозмірів і модифікацій доліт є доволі значною, то в умовах серійного виробництва необхідно розробляти оснащення та програмне забезпечення для верстатів з ЧПК.

Ми пропонуємо зменшити енерговитрати і кількість відходів на стадії механічної обробки заготовки долота за рахунок отримання останньої методом відцентрового литва та спеціальної ливарної