

# ĐÁNH GIÁ KỸ THUẬT ĐỘ BỀN ĐƯỜNG ỐNG DẪN DẦU ĐẶT Ở VÙNG ĐỒI NÚI

KS. Nguyễn Văn Lam, TS. A. S.Velychkovych, TS. A.V.Andrusiak  
Đại học quốc gia Kỹ thuật Dầu khí Ivano-Frankivsk  
E-mail: songlam0@gmail.com

## Tóm tắt

**Bài viết giới thiệu phương pháp đánh giá độ bền trạng thái ứng suất - biến dạng cho đoạn ống dẫn nổi của đường ống dẫn dầu đặt ở vùng đồi núi, bằng cách sử dụng các mô hình toán học và phân tích kết quả của bài toán mô tả trạng thái ống dẫn nổi chịu tải trọng khai thác. Nhóm tác giả đã mô hình hóa các đoạn ống dẫn như các thanh dầm tiếp xúc với tầng đất nền theo thuyết Fuss-Winkler; xây dựng trạng thái thứ nguyên nhiệt - đàn hồi của ống dẫn nổi để xác định tải trọng chiều trục cực đại sinh ra trong quá trình khai thác ống dẫn, từ đó đánh giá độ bền ống dẫn theo các thuyết năng lượng. Phương pháp này giúp tính toán mức độ ảnh hưởng của đất nền lên ống; biểu thị sự phân bố lại nội lực trong ống dẫn nổi khi có sự biến thiên độ cứng của đất nền; xác định trạng thái giới hạn của ống dẫn đặt được tại bề mặt dưới ở khoảng cách không xa tính từ đầu mút của ống dẫn ngầm.**

**Từ khóa:** Ống dẫn đặt nổi chuyển tiếp, ống dẫn dầu, đất nền, trạng thái ứng suất.

## 1. Giới thiệu

Ống dẫn nổi chuyển tiếp (hay còn gọi là ống dẫn nổi - dạng thanh dầm) được sử dụng khá phổ biến trong ngành công nghiệp dầu khí đặc biệt là các đường ống vận chuyển dầu ở vùng đồi núi do ưu điểm dễ sử dụng và chi phí thấp [1 - 3]. Do yêu cầu kỹ thuật đặc thù nên các ống dẫn nổi có kết cấu siêu trọng và khi thiết kế chỉ chọn loại ống dẫn có hệ số dự trữ bền cao [4]. Trong quá trình tính toán, yêu cầu kiểm tra độ cứng và độ bền của vật liệu cấu thành ống dẫn, cần phải xác định các yếu tố trực tiếp ảnh hưởng đến hiệu quả làm việc của ống dẫn. Trên cơ sở đó, phát triển mô hình và phương pháp đánh giá trạng thái ứng suất - biến dạng của ống dẫn nổi giúp nâng cao độ an toàn cho đường ống dẫn dầu.

Tính chất đặc biệt của các đoạn ống dẫn nổi là sự ảnh hưởng qua lại với các đoạn ống dẫn chạy ngầm trong lòng đất kết nối với nó. Ống dẫn nổi thường không được kẹp chặt cố định. Khối đất nền tác dụng lên ống dẫn tải trọng nhưng lại chịu tác dụng lực biến thiên từ ống dẫn khi ống dẫn biến dạng. Bài toán về trạng thái ứng suất - biến dạng của ống dẫn trở thành bài toán "ống dẫn - đất nền" [3, 4].

Kết quả nghiên cứu được công bố gần đây cho thấy, trạng thái ứng suất - biến dạng và đánh giá độ cứng của các đoạn ống dẫn nổi thường được biểu diễn bằng 2 cách sau:

- Biểu diễn đối tượng và xây dựng các mô hình cơ - toán học, từ đó có thể phân tích và sử dụng các phương pháp cơ học cổ điển về biến dạng của vật rắn [1, 2, 5 - 8]. Ở đây, các đoạn ống nổi được mô hình hóa như các thanh

dầm bị kẹp chặt cả 2 phía. Trong cơ học mô hình này được gọi là "mô hình cứng". Cách tiếp cận này giúp đơn giản hóa vấn đề, nhưng không thể tính toán được ảnh hưởng của đất nền lên ống dẫn. Ví dụ, sử dụng "mô hình cứng" sẽ làm tiêu tốn quá mức vật liệu chế tạo ống dẫn, từ đó giảm hiệu quả kinh tế. Một vài tác giả không xây dựng mô hình dạng thanh dầm mà sử dụng công thức Barlow's [1, 8].

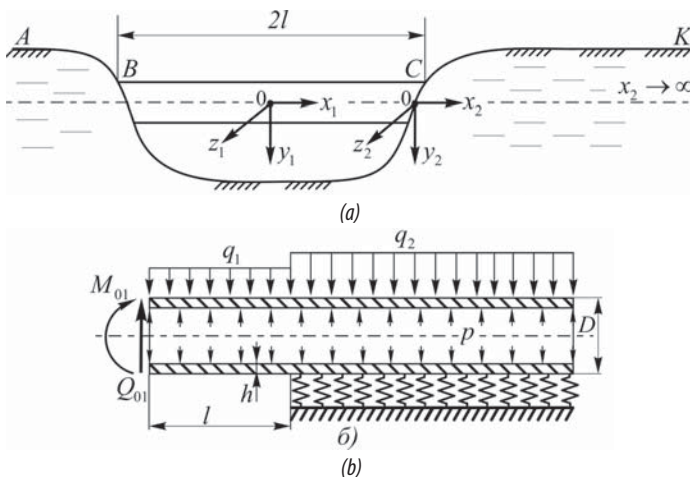
- Dùng các phương pháp số để biểu diễn độ biến dạng của các đoạn ống dẫn nổi và đoạn ống dẫn ngầm [8 - 12]. Các phương pháp phần tử hữu hạn hoặc các chương trình ANSYS, SolidWorks, Nastran, 3D PipeMaster thường được sử dụng để xây dựng phương pháp tính toán. Trong các chương trình đó, các mô hình phi tuyến tính được dùng để mô hình hóa tầng đất nền, từ đó tính toán ứng suất nén và biến dạng của tầng đất nền [13 - 15].

Trên cơ sở đó, nhóm tác giả đã xây dựng mô hình toán - cơ học cho các đoạn ống dẫn nổi, nhờ đó có thể tính toán chính xác mức độ ảnh hưởng của tầng đất nền lên ống dẫn; sử dụng kết quả phân tích từ mô hình để thực hiện các tính toán thực tế. Mục tiêu nghiên cứu nhằm phát triển một phương pháp tính toán độ bền của các đoạn ống dẫn nổi, đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố địa hình đến độ bền của ống dẫn.

## 2. Xây dựng phương pháp tính toán

### 2.1. Xây dựng bài toán

Ống dẫn được mô tả trong Hình 1a gồm 1 đoạn ống dẫn nổi BC chiều dài  $2l$  bắc qua một đáy trũng sâu và tiếp nối với 2 đoạn ống dẫn ngầm trong lòng đất AB và CK.



Hình 1. Ống dẫn nổi; a: Hình dạng thực tế; b: Dạng mô hình trong tính toán

Chiều dài các đoạn ống dẫn ngầm lớn hơn rất nhiều so với đoạn ống dẫn nổi. Tính chất của các đoạn ống dẫn ngầm giống nhau. Ống dẫn nổi đối xứng qua trung điểm của nó, giúp khảo sát trạng thái ứng suất - biến dạng của các đoạn ống dẫn BC và CK. Chọn các hệ trục tọa độ vuông góc Descartes (Hình 1a), gốc hệ tọa độ theo thứ tự đặt tại trung điểm ống dẫn nổi BC và đầu mút trái của ống dẫn ngầm CK.

Nhóm tác giả đã mô hình hóa các đoạn ống dẫn như các thanh dầm tiếp xúc với tầng đất nền theo thuyết Fuss-Winkler. Để xây dựng trạng thái ứng suất - biến dạng của đoạn ống dẫn ngầm CK, cần xem CK như là một đường ống dài vô tận chịu áp lực từ 2 bên bởi tầng đất nền. Trong mô hình nền Wikler, các lực tác dụng lên đoạn ống dẫn nổi BC phân bố đồng đều lên tất cả các điểm của đường ống, tỷ lệ với độ cong của đường ống và phụ thuộc vào tính chất của tầng đất nền [6, 7]. Lực tác dụng lên đoạn ống dẫn nổi BC gồm: trọng lượng của ống dẫn, trọng lượng của khí, khối lượng dầu mỏ vận chuyển, trọng lượng đất nền tác dụng lên ống, tải trọng này phân bố theo chiều dài với cường độ tải trọng tương ứng lần lượt cho 2 đoạn ống dẫn BC, CK lần lượt là  $q_1$  và  $q_2$ . Ngoài ra, cần xác định ứng suất sinh ra bởi áp suất bên trong đường ống và độ biến dạng nhiệt của ống. Để tiện cho việc khảo sát độ bền, xem độ dày thành ống nhỏ, không đáng kể.

Điều kiện cân bằng của các thanh được viết dưới dạng phương trình vi phân:

$$EJ_z \frac{d^4 w_{y1}}{dx_1^4} + q_1 = 0, \quad x_1 \in [0, l); \tag{1}$$

$$EJ_z \frac{d^4 w_{y2}}{dx_2^4} + Dk_y w_{y2} = q_2, \quad x_2 \in [0, \infty), \tag{2}$$

Trong đó:

$w_{y1}, w_{y2}$  chuyển vị theo thứ tự của đoạn ống dẫn BC và CK;

E: Module đàn hồi Young;

$J_z$ : Moment quán tính trục;

$k_y$ : Hệ số nền của đất nền.

## 2.2. Tính toán

Lấy tích phân 4 lần liên tiếp 2 vế của phương trình (1) nhận được hàm số của độ uốn và vi phân của nó. Liên hệ vi phân giữa chuyển vị với nội lực và moment uốn dành cho đoạn ống dẫn nổi BC được viết như sau:

$$\begin{cases} EJ_z \frac{d^3 w_{y1}}{dx_1^3} = Q_{y1}(x_1) = Q_{01} - q_1 x_1; \\ EJ_z \frac{d^2 w_{y1}}{dx_1^2} = M_{z1}(x_1) = M_{01} + Q_{01} x_1 - \frac{1}{2} q_1 x_1^2 \end{cases} \tag{3}$$

Chuyển vị:

$$\begin{cases} \frac{dw_{y1}}{dx_1} = \varphi_1(x_1) = \varphi_{01} + \frac{M_{01} x_1}{EJ_z} + \frac{Q_{01} x_1^2}{2EJ_z} - \frac{q_1 x_1^3}{6EJ_z}; \\ w_{y1}(x_1) = w_{01} + \varphi_{01} x_1 + \frac{M_{01} x_1^2}{2EJ_z} + \frac{Q_{01} x_1^3}{6EJ_z} - \frac{q_1 x_1^4}{24EJ_z} \end{cases} \tag{4}$$

Trong đó:

$Q_{y1}(x_1), M_{z1}(x_1), \varphi_1(x_1), w_{y1}(x_1)$ : Hàm số của nội lực, moment uốn, góc xoắn và chuyển vị ở đoạn ống dẫn nổi BC;

$Q_{01}, M_{01}$  và  $\varphi_{01}, w_{01}$ : Giá trị ban đầu của các đại lượng trên.

Tìm nghiệm của phương trình (2), vì  $EJ_z = \text{const}$  nên (2) được viết lại như sau:

$$\frac{d^4 w_{y2}}{dx_2^4} + 4\beta^4 w_{y2} = \frac{q_2}{EJ_z}, \quad x_2 \in [0, \infty) \tag{5}$$

Trong đó  $\beta = \sqrt[4]{k_y D / 4EJ_z}$  là hằng số phụ thuộc vào độ cứng của đất nền và độ cứng của ống dẫn.

Nghiệm cơ bản của phương trình (5):

$$w_{y2}(x_2) = e^{-\beta x_2} (C_1 \sin \beta x_2 + C_2 \cos \beta x_2) + e^{\beta x_2} (C_3 \sin \beta x_2 + C_4 \cos \beta x_2) + \frac{q_2}{Dk_y} \tag{6}$$

Trong đó, hằng số tích phân  $C_1 - C_4$  xác định nhờ điều kiện giới hạn ở các đầu mút của ống dẫn ngầm.

Để xác định các hằng số tích phân, 4 điều kiện giới hạn được đưa ra. Hai điều kiện ban đầu là tại đầu mút bên phải đoạn ống dẫn ngầm CK lực cắt và moment uốn có giá trị bằng 0:

$$EJ_z \frac{d^3 w_{y2}}{dx_2^3} \Big|_{x_2 \rightarrow \infty} = 0, \quad EJ_z \frac{d^2 w_{y2}}{dx_2^2} \Big|_{x_2 \rightarrow \infty} = 0 \tag{7}$$

Vi vậy, từ phương trình (7) và (6) xác định được  $C_3 = C_4 = 0$ .

Hai điều kiện tiếp theo là tại đầu mút bên trái ống dẫn ngầm CK, đạo hàm cấp 2 và cấp 3 của hàm số của chuyển vị lần lượt bằng moment uốn và lực cắt tại đoạn ống dẫn ngầm CK:

$$EJ_z \frac{d^2 w_{y2}}{dx_2^2} \Big|_{x_2 \rightarrow 0} = M_{02}, EJ_z \frac{d^3 w_{y2}}{dx_2^3} \Big|_{x_2 \rightarrow 0} = Q_{02} \quad (8)$$

Từ điều kiện (8) cho ra:

$$C_1 = -\frac{M_{02}}{EJ_z 2\beta^2}, C_2 = \frac{\beta M_{02} + Q_{02}}{2\beta^3 EJ_z} \quad (9)$$

Thay các hằng số tích phân vừa tìm được ở công thức (9) vào phương trình (6) có được nghiệm đầy đủ của phương trình (5) viết cho đoạn ống dẫn ngầm CK ở dạng biểu thức tính lực cắt  $Q_{y2}(x_2)$ , moment uốn  $M_{z2}(x_2)$ , góc xoắn  $\varphi_2(x_2)$  và chuyển vị  $w_{y2}(x_2)$ :

$$\begin{aligned} Q_{y2}(x_2) &= 2\beta M_{02} \eta_4(x_2) - Q_{02} \eta_2(x_2), \\ M_{z2}(x_2) &= -M_{02} \eta_1(x_2) - \frac{Q_{02}}{\beta} \eta_4(x_2) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \varphi_2(x_2) &= \frac{2\beta^2}{Dk_y} [2\beta M_{02} \eta_3(x_2) + Q_{02} \eta_1(x_2)], \\ w_{y2}(x_2) &= -\frac{2\beta}{Dk_y} [\beta M_{02} \eta_2(x_2) + Q_{02} \eta_3(x_2)] + \frac{q_2}{Dk_y} \end{aligned} \quad (11)$$

Thay các giá trị mới sau vào biểu thức (10):

$$\begin{aligned} \eta_1(x_2) &= e^{-\beta x_2} (\cos \beta x_2 + \sin \beta x_2); \\ \eta_2(x_2) &= e^{-\beta x_2} (\cos \beta x_2 - \sin \beta x_2); \\ \eta_3(x_2) &= e^{-\beta x_2} \cos \beta x_2; \quad \eta_4(x_2) = e^{-\beta x_2} \sin \beta x_2 \end{aligned}$$

Tiếp tục viết điều kiện tại điểm có tọa độ = 0 cho đoạn ống dẫn nổi. Tại  $x_1 = 0$  để thỏa mãn điều kiện đối xứng, tiếp tuyến của đoạn ống dẫn song song với trục  $x_1$ , vì vậy  $\varphi_{01} = 0$  và  $Q_{01} = 0$ . Ở tiếp điểm nối của đoạn ống dẫn nổi BC và đoạn ống dẫn ngầm CK ta có điều kiện sau:

$$\begin{aligned} Q_{y1}(l) &= Q_{y2}(0), \quad M_{z1}(l) = M_{z2}(0); \\ \varphi_{y1}(l) &= \varphi_{y2}(0), \quad w_{y1}(l) = w_{y2}(0). \end{aligned} \quad (12)$$

Để thỏa mãn điều kiện (12), từ (3), (4) và (10), (11) ta nhận được biểu thức xác định các giá trị ban đầu:

$$\begin{aligned} M_{01} &= \frac{q_1 l}{\frac{l}{EJ_z} + 2\zeta\beta} \left[ \frac{l^2}{6EJ_z} + \zeta(1 + \beta l) \right]; \\ M_{02} &= -M_{01} + \frac{1}{2} q_1 l^2, \quad Q_{02} = q_1 l; \\ w_{01} &= -\zeta \left( M_{02} + \frac{Q_{02}}{\beta} \right) - \frac{1}{EJ_z} \left( \frac{M_{01} l^2}{2} - \frac{q_1 l^4}{24} \right) + \frac{q_2}{Dk_y}, \end{aligned}$$

Trong đó,  $\zeta = 2\beta^2/Dk_y$ .

Các nghiệm nhận được (3), (4), (10), (11) với các giá trị  $Q_{01}, M_{01}, \varphi_{01}, w_{01}$  và  $Q_{02}, M_{02}, \varphi_{02}, w_{02}$  vừa được xác định giúp

phân tích sự phân bố nội lực và độ biến dạng của đoạn ống dẫn nổi dưới tác dụng của hệ thống và tính chất của đất nền.

### 3. Phân tích kết quả

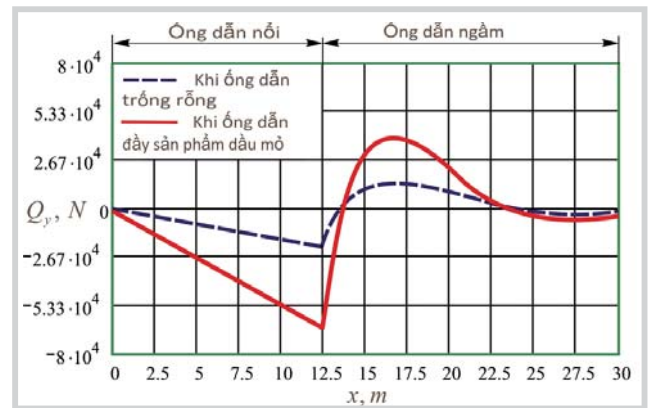
#### 3.1. Phân tích nội lực

Nhóm tác giả khảo sát hình dạng cơ bản của ống dẫn nổi đặt tại vùng núi Karpatya, Ukraine (Hình 2).

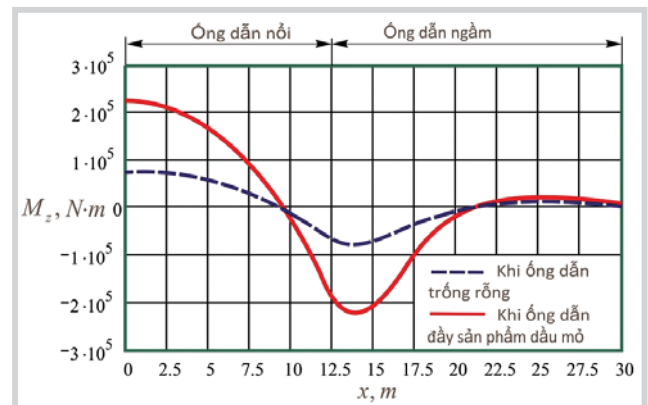
Chiều dài ống dẫn nổi - 25m, đất nền - đất sét có đá dăm, module đàn hồi Young  $2,06 \times 10^5$ MPa, hệ số giãn nở nhiệt  $12 \times 10^{-6}K^{-1}$ , giới hạn chảy 364MPa, đường kính



Hình 2. Ống dẫn nổi Druzha tại vùng Karpatya, Ukraine



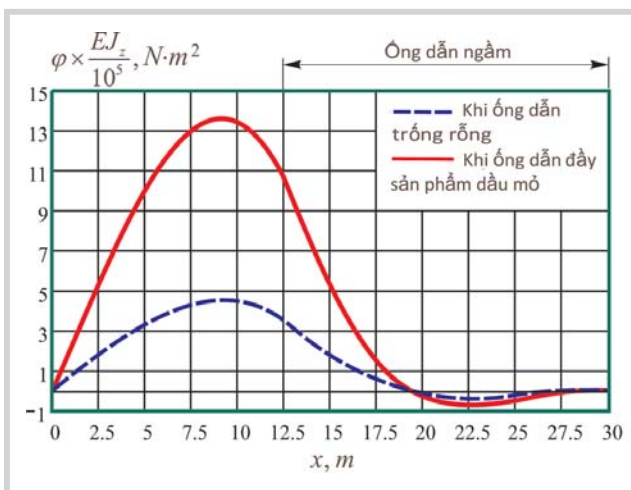
Hình 3. Biểu đồ nội lực cho ống dẫn



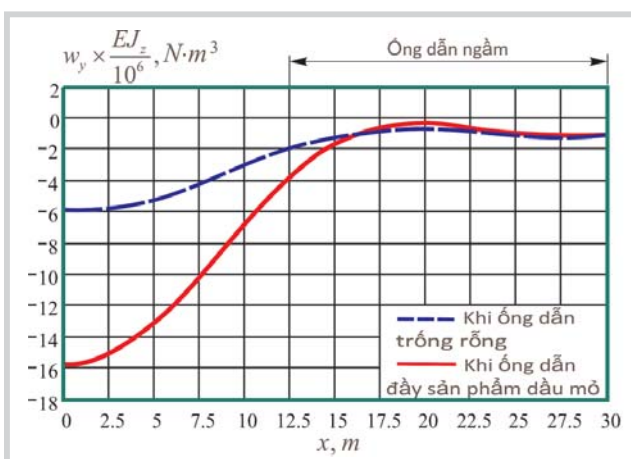
Hình 4. Biểu đồ moment uốn của ống dẫn

ống 720mm, độ dày thành ống 9,5mm. Nhiệt độ - 22°C. Ống dẫn vận chuyển dầu, áp suất làm việc 3,1MPa. Cường độ tải trọng tính theo giá trị tiêu chuẩn, giá trị được kỳ vọng như sau: khi ống dẫn chứa đầy sản phẩm dầu mỏ:  $q_1 = 5,2\text{kN/m}$ ,  $q_2 = 28,5\text{kN/m}$ ; khi ống dẫn trống rỗng:  $q_1 = 1,7\text{kN/m}$ ,  $q_2 = 25\text{kN/m}$ .

Hình 3 và 4 biểu diễn sự phân bố nội lực theo chiều dài của đường ống dẫn, từ đó có thể xây dựng được trạng thái biến dạng của đường ống. Lực cắt có giá trị cực đại 65kN tại giao điểm tiếp nối giữa ống dẫn nổi và ống dẫn ngầm và = 0 tại trung điểm của ống dẫn nổi. Lực cắt đạt thêm một giá trị cực đại 58kN ở tọa độ 3m tính từ nút trái của ống dẫn ngầm. Tại trung điểm của ống dẫn nổi, moment uốn đạt giá trị 220kN/m và từ đó sinh ra ứng suất nén trên bề mặt trên của ống dẫn. Moment uốn đạt giá trị cực đại 232kN/m tại tọa độ 1,4m tính từ nút phải của ống dẫn ngầm và sinh ra ứng suất nén trên mặt dưới của ống dẫn. Giá trị cực đại của nội lực sinh ra trong ống khi ống dẫn đầy sản phẩm dầu mỏ lớn hơn nội lực sinh ra khi ống dẫn trống rỗng là 67%.



Hình 5. Góc xoay của ống dẫn



Hình 6. Chuyển vị của ống dẫn

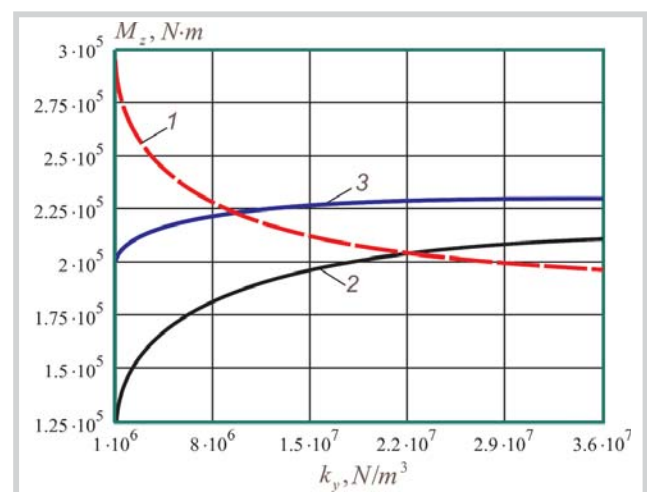
Đặc biệt, sự xuất hiện các hàm sóng của hàm số nội lực và moment uốn tại đầu ống dẫn ngầm khi chiều dài tính từ nút của ống dẫn này giảm dần (Hình 3 và 4). Đó còn gọi là “hiệu ứng đầu nút” khi biến thiên độ đàn hồi của ống dẫn. Chiều dài của ống dẫn mà tại đó xuất hiện hiệu ứng đầu nút được gọi là chiều dài của hiệu ứng nút. Sự suy giảm cường độ hiệu ứng được giải thích bằng sự có mặt trong biểu thức (10) các hàm  $\eta_i$  có chứa nhân tử  $e^{-\beta x_2}$ . Nhân tử này tiến về 0 khi  $\beta x_2$  tiến về  $\infty$ . Có thể sử dụng hàm số  $f(\beta x_2) = e^{-\beta x_2}$  để đánh giá hiệu ứng nút. Nếu  $x_2 = 0$  thì hàm số đạt giá trị = 0. Nếu  $\beta x_2 = \pi$  thì  $f(\pi) = 0,046$  với độ chính xác 5% có thể kỳ vọng hàm sóng tắt dần. Khi  $\beta L = \pi$ , tính được hiệu ứng nút của đoạn ống dẫn ngầm biểu thị trực tiếp ở độ dài 11,2m.

### 3.2. Phân tích chuyển vị của ống dẫn

Hình 5 và 6 biểu diễn sự phân bố chuyển vị ngang theo chiều dài của các ống dẫn. Các hàm số này miêu tả đầy đủ độ biến dạng của ống dẫn đang khảo sát. Giá trị cực đại của chuyển vị đạt được tại trung điểm của ống dẫn nổi. Đạo hàm của hàm số này là hàm số biểu diễn góc lệch trục của ống dẫn, với giá trị tại trung điểm của ống dẫn ngầm = 0. Tại nút của ống chuyển vị tăng mạnh, và giá trị cực đại thứ 2 của chuyển vị đạt được ở tọa độ 7,5m tính từ nút ống dẫn ngầm. Phân tích chi tiết độ uốn của ống dẫn cho thấy, phụ thuộc vào độ cứng của đất nền, hàm số  $w_y(x)$  có thể có 1, hoặc 3 giá trị cực đại.

### 3.3. Ảnh hưởng của đất nền

Quá trình lắp đặt đoạn ống dẫn nổi phụ thuộc vào địa hình, vào độ sâu của rãnh mà đường ống đi qua. Độ bền của đường ống phụ thuộc vào chu kỳ thời tiết ngay cả khi tính chất của đất nền là đồng nhất. Hình 7 thể hiện sự phụ



1 - Moment uốn tại trung điểm của ống dẫn nổi; 2 - Moment uốn tại đầu nút của ống dẫn ngầm; 3 - Moment uốn cực đại của ống dẫn ngầm

Hình 7. Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của moment uốn theo hệ số nền của đất nền

thuộc của moment uốn vào hệ số nền của đất nền. Khi độ cứng của đất nền tăng dần, moment uốn của ống dẫn nổi giảm liên tục, trong khi đó moment uốn của ống dẫn ngầm tại các đầu mút lại tăng dần. Như vậy, đất nền càng cứng thì mặt cắt mà tại đó ống dẫn chịu moment uốn lớn nhất càng tiến gần đầu mút của ống dẫn ngầm. Khi tăng dần hệ số nền của đất nền thì moment uốn càng tiến dần tới một giá trị mà khi đó có thể chấp nhận để xây dựng “mô hình cứng” cho đoạn ống dẫn nổi cần khảo sát.

**3.4. Độ bền của ống dẫn**

Độ bền cho ống dẫn nổi được tính toán bằng cách đánh giá kép trạng thái biến dạng nhiệt và biến dạng ngang tại các đầu mút, ta có:

$$\sigma_x = \mu\sigma_\theta \pm \sigma_T \pm \sigma_{M_z}$$

Trong đó:

$\sigma_\theta$ : Ứng suất sinh ra bởi áp suất trong ống;

$\sigma_T$  Ứng suất nhiệt;

$\sigma_{M_z}$ : Ứng suất uốn do moment gây ra;

$\mu$ : Hằng số Poisson.

$$\sigma_x = \mu \frac{pD}{2h} - E\alpha_t \Delta t \pm 4 \frac{M_z(x)}{\pi D^2 h}$$

Trong đó:

$p$ : Áp suất sinh ra trong ống dẫn;

$\alpha_t$ : Hệ số giãn nở nhiệt;

$\Delta t$ : Độ biến thiên nhiệt độ.

Vật liệu cấu thành ống dẫn có giới hạn bền với các giá trị  $\sigma_x$  và  $\sigma_\theta$ .

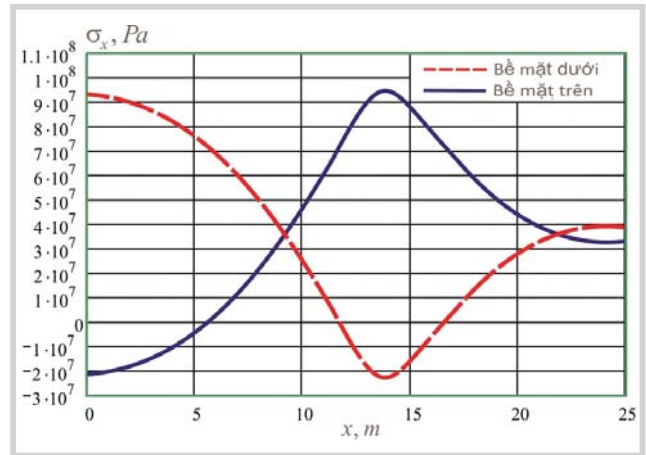
Áp dụng lý thuyết bền cho ống dẫn với độ dày đường ống không đáng kể, tiêu chuẩn Huber-Von Mises được viết như sau:

Ứng suất tương đương xác định theo công thức:

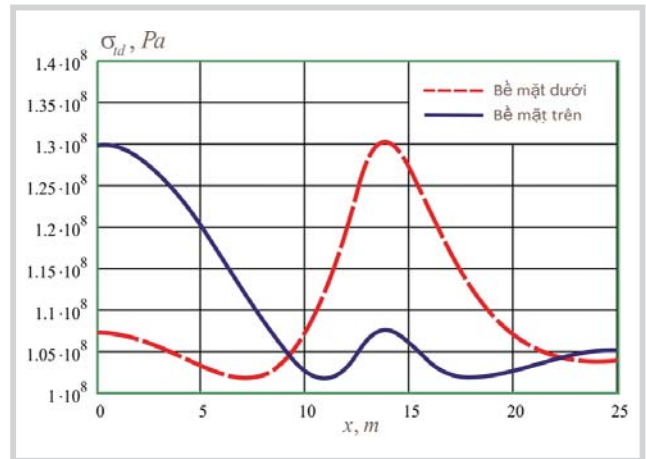
$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_x \sigma_\theta}$$

Yêu cầu độ cứng của ống dẫn tuân theo điều kiện  $\sigma_{td} \leq [\sigma]$ . Trong đó,  $[\sigma]$  là giới hạn bền của vật liệu ống dẫn khi tính đến hệ số dự trữ, điều kiện làm việc, xác suất và các yếu tố khác.

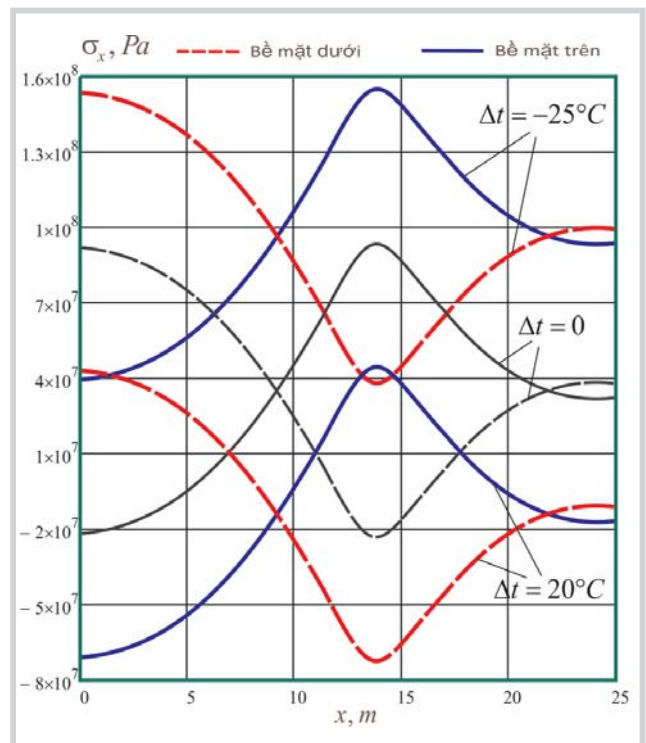
Hình 8 và 9 minh họa sự phân bố ứng suất kéo và ứng suất tương đương trong ống dẫn nổi và tại giao điểm tiếp nối với ống dẫn ngầm. Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của các đại lượng được xây dựng khi không có sự biến thiên của nhiệt độ. Từ đồ thị cho thấy trạng thái ứng suất đạt giá trị giới hạn tại tọa độ 1,4m tính từ đầu mút ống dẫn ngầm.



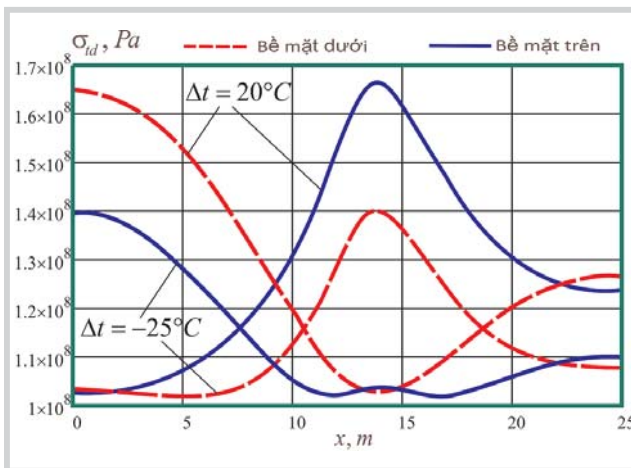
Hình 8. Ứng suất kéo trên 2 bề mặt trên và dưới của ống dẫn nổi



Hình 9. Ứng suất tương đương trên 2 bề mặt trên và dưới của ống dẫn nổi



Hình 10. Biến dạng dọc theo trục của ống dẫn khi biến thiên nhiệt độ



Hình 11. Biến dạng tương đối của ống dẫn khi biến thiên nhiệt độ

### 3.5. Phân tích ảnh hưởng của biến thiên nhiệt độ lên độ cứng ống dẫn

Đoạn ống dẫn chuyển tiếp được lắp đặt khi nhiệt độ môi trường đạt 22°C. Trong quá trình khai thác ống dẫn, sự biến thiên nhiệt độ với giá trị  $\Delta t$  sinh ra biến dạng nhiệt trong ống dẫn.

Chọn giá trị của  $\Delta t$  phù hợp với thời tiết môi trường đặt ống dẫn: nhiệt độ tăng lên 20°C hay  $\Delta t = 20^\circ\text{C}$ , hoặc giảm xuống 25°C hay  $\Delta t = -25^\circ\text{C}$ .

Hình 10 và 11 biểu diễn sự phân bố độ biến dạng dọc theo trục và độ biến dạng tương đối của ống dẫn nổi khi có sự biến thiên nhiệt độ. Khi nhiệt độ ống tăng lên sinh ra biến dạng nén, khi giảm nhiệt độ ống dẫn sinh ra biến dạng kéo. Để đánh giá chính xác độ cứng của ống dẫn, dễ thấy nhất là sự ảnh hưởng của độ tăng nhiệt độ lên độ biến dạng tương đối của ống dẫn nổi, đặc biệt khi nhiệt độ tăng thêm 20°C độ biến dạng cực đại của ống dẫn tăng thêm 27%.

### 4. Kết luận

Bằng cách xây dựng phương pháp tiếp cận đánh giá trạng thái ứng suất - biến dạng của đoạn ống dẫn nổi, nhóm tác giả đã mô hình hóa đối tượng như một ống mảnh, đặt tiếp nối với các đoạn ống dẫn chày ngầm trong lòng đất và tác động trực tiếp lên đối tượng là tầng đất nền theo mô hình Winkler. Trên cơ sở đó, nhóm tác giả đánh giá sự phân bố lại nội lực trong ống dẫn khi thay đổi độ cứng của tầng đất nền và các hiệu ứng sinh ra tại các nút của ống dẫn ngầm và ống dẫn nổi; tính toán đồng thời trạng thái biến dạng nhiệt và ứng suất kéo cực đại sinh ra trong quá trình khai thác và sử dụng ống dẫn; đánh giá độ bền của ống dẫn theo các tiêu chuẩn bền đã biết.

Phương pháp này đã được ứng dụng để đánh giá kết cấu và độ bền thực tế của đường ống dẫn dầu Druzhba đặt ở vùng núi Karpatya, Ukraine. Kết quả nghiên cứu đã mở rộng việc ứng dụng các mô hình toán học để thiết kế các đoạn ống dẫn đặt nối chuyển tiếp tựa trên các gối tựa, đánh giá độ bền của đường ống dẫn dầu đặt tại vùng núi mà tại đó tầng đất nền có độ lún cao, xác định tải trọng tác dụng lên ống dẫn dầu đặt tại vùng núi đá vôi...

### Tài liệu tham khảo

1. E.Shashi Menon. *Pipeline planning and construction field manual*. Gulf Professional Publishing. 2011
2. Я. В.Дорошенко. *Спорудження магістральних трубопроводів*: Підручник. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. 2009.
3. Бородавкин П. П. *Механика грунтов*. П.П. Бородавкин. М.: Недра - Бизнесцентр. 2003.
4. Ориняк І.В. *Визначення напружено - деформованого стану повітряного переходу трубопроводу при виконанні ремонтних робіт*. І. В. Ориняк, І. В. Лохман, М. Д. Сидор та ін. Проблемы прочности. 2009; 5(401): с. 169 - 181.
5. George A.Antaki. *Piping and pipeline engineering: Construction, maintenance, integrity, and repair*. New York, U.S.A. 2003.
6. Бородавкин П.П. *Сооружение магистральных трубопроводов*. Учебник для вузов/ П. П. Бородавкин, В.Л.Березин. - 2 - е изд., перераб. и доп. - М.: Недра. 1987.
7. Бабин Л.А. *Типовые расчеты по сооружению трубопроводов*. Учебное пособие/Л.А. Бабин, Л.И. Быков, В.Я. Волохов. - М.: Недра, 1999.
8. NOV Fiber Glass Systems. *Engineering and piping design guide. Fiberglass reinforced piping systems*. www.fgs-PIPE.com. 2011.
9. Fahad Bakhtyar, S.Kenny. *Development of a fatigue life assessment tool for pipelines with local wrinkling through physical testing and numerical modelling*. Pipeline and Riser Technology. ASME 2014 33<sup>rd</sup> International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, California, USA. 8 - 13 June, 2014.
10. Xiaolin Wang, Jian Shuai, Yuanxi Ye, Shangzhi Zuo. *Investigating the effects of mining subsidence on buried pipeline using finite element modeling*. 2008 7<sup>th</sup> International Pipeline Conference. Alberta, Canada. 29 September - 3 October, 2008.

11. I.V.Orynyak, I.V.Lokhman, M.D.Sidor, S.A.Radchenko. *Analysis of the stress-strain state of an air crossing of pipeline in the course of repair*. Strength of Materials. 2009; 41(5): p. 581 - 591.
12. A.В.Яваров. *Численное моделирование сопротивления массива грунта перемещениям подземного трубопровода*. Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012; 3: с. 360 - 374.
13. T.Benz. *Small-strain stiffness of soils and its numerical consequences*. Instituts für Geotechnik der Universität Stuttgart. 2007; 55.
14. В.В.Алешин. *Численный анализ прочности подземных трубопроводов*. М.: Изд-во Едиториал УРСС. 2003.
15. В.Е.Селезнев, В.В.Алешин, С.Н.Прялов. *Математическое моделирование магистральных трубопроводных систем: дополнительные главы*. М.: Изд-во МАКС Пресс. 2009.
16. J.R.Williams, R.O'Connor. *Discrete element simulation and the contact problem*. Archives of Computational Methods in Engineering. 1999; 6(4): p. 279 - 304.
17. X.Хан . *Теория упругости: Основы линейной теории и ее применение*. М.: Мир. 1988.
18. James M.Gere, Barry J.Goodno. *Mechanics of materials (8<sup>th</sup> edition)*. Cengage Learning Custom Publishing. 2012.

## Evaluation of the strength of oil pipelines built in the mountains

Nguyen Van Lam, A. S. Velychkovych, A. V. Andrusiak  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

### Summary

**The article presents the methodology for evaluating stress-strain state of aboveground oil pipelines which are constructed in mountainous areas based on mathematical formulation and the analytical solutions of the problem that describes the behaviour of aboveground pipeline under operational loads. Sections of pipeline have been modelled as tubular rods in contact with foundation soil according to the Fuss-Winkler hypothesis; and the two-dimensional thermoelastic state of aboveground pipeline established to determine maximum axial stresses that occur during operation, from which the strength of the pipeline is assessed based on energy hypotheses. This method allows the impact of foundation soil on the pipeline to be taken into account; demonstrates the re-distribution of internal force inside the aboveground pipeline when the rigidity of its foundation soil changes; and determines the boundary state which the pipeline reaches in its lower fibres at a short distance from the edge of the underground area.**

**Key words:** Aboveground transition, oil pipeline, foundation soil, stress state.