

нення та розвиток корозії у вказаних температурних умовах. Проведемо порівняння розрахункової величини проникності корозії з отриманою експериментальним шляхом. Для цього приймемо вміст органічних кислот і парціального тиску CO<sub>2</sub>, характерні для одного з родовищ Краснодарського краю (дані наведено в таблиці) [2].

Дані таблиці доводять задовільну збіжність фактичних і розрахункових результатів.

У кінці відзначимо, що такі ж розрахунки були проведені на основі конденсаційних вод Богородчанського підземного газосховища. Внаслідок невисокого вмісту в них органічних кислот величина проникності корозії не перевищувала 0,13 мм/рік, чим на практиці можна знехтувати.

### Висновки

1. Вуглекислотна корозія сталі 17Г1С значною мірою визначається дією мурашиної, оцтової, пропіонової та масляної кислот, що містяться у водному конденсаті.

2. Величини концентрації іонів йоду та бромиду (1...10 мг/л), які відповідають їх вмісту в конденсованих водах за відсутності кисню в агресивному середовищі, практично не активізують корозійний процес.

3. Запропоновано новий параметр для оцінки процесів корозії, що є певним характеристичним значенням концентрації карбонових кислот C<sup>S</sup>, з досягненням якого відбувається різке зростання корозії сталі 17Г1С.

4. Показано, що підвищення концентрації карбонових кислот до певного рівня призводить до зниження темпу росту швидкості корозії та до її стабілізації.

5. Для відповідних температурних умов отримані статистичні моделі, які з точністю ± 5% дають змогу чисельно визначити вплив

міцності і герметичності обсадної чи насосно-компресорної колони, які застосовують для видобування нафти і газу, залежать від деформацій їх муфт і труб. Їх ділянки, описані в [1], пружно змінюють радіус під дією розподіленого контактного тиску при з'єднанні з натягом, а також під дією експлуатаційних тисків у свердловині.

Дії парціального тиску вуглекислого газу та концентрації карбонових кислот на корозійну проникність сталі 17Г1С.

### Література

1. Исследование водных конденсатов газоконденсатных месторождений Краснодарского края / К.С.Зарембо, М.Е.Легезин, З.П.Обухова, А.А.Кутовая // Газовая промышленность. – 1966. – №11. – С. 32-37.

2. Обухова З.П., Кутовая А.А., Ханларова А.Г. Установление потерь органических кислот в конденсационных водах по площади газоконденсатных залежей на примере Березанского месторождения Краснодарского края // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 1970. – №12. – С. 21-25.

3. Розенфельд И.Л., Рубинштейн Ф.И., Жигалова К.А. Защита металлов от коррозии лакокрасочными покрытиями. – М.: Химия, 1987. – 223 с.

4. Вплив параметрів перекачування сірководневих газів на корозійну тривкість трубої сталі / Є.І.Крижанівський, Ю.Д.Петрина, В.П.Рудко, О.О.Онищук, Д.Ю.Петрина // Машинознавство. – 2003. – №6 (72). – С. 24-26.

5. Марченко А.Ф. Почвенная коррозия трубопроводной стали и магистральных трубопроводов // Стр-во трубопроводов. – 1995. – №1. – С. 29-34.

6. Крамер Г. Математические методы статистики. – М.: Мир, 1975. – 246 с.

УДК 621.882:539.3

## КРАЙОВІ ВИГИНИ СТІНОК МУФТ І ТРУБ, З'ЄДНАНИХ З НАТЯГОМ

Т.М.Кулинин, І.І.Палійчук

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42102,  
e-mail: public@ifdtung.if.ua

Участки муфт и труб, соединенные с натяжением, получают осесимметричные изгибы стенок, которые не затухают на коротких участках. Эти изгибы определяются максимальным прогибом каждого из двух краев, пропорциональный разнице радиусов, распределенных давлений и жесткостей со смежным участком-опорой. Предложенная функция затухания позволяет рассчитать результирующий изгиб участка по двух краевых прогибах с учетом влияния дополнительных изгибов смежных и несмежных участков.

The sections of the cylindrical pipes and couplings get the axis-symmetrical curves of their walls by the screw with the strain. These walls curves are proportional to the difference of the radiuses, spreaded pressures, toughnesses at the adjacent prop-sections and do not die out lengthwise the short sections. The proposed fading function gives the possibility to calculate the result curves of the thinwalled cylinder after the maximum turn both of its edges considering the influences of the additional curves from the adjacent and unadjacent sections.

Відомо [4;5], що муфти і труби нафтогазового сортаменту можна віднести до тонкостінних циліндрів, пружно-деформований стан яких описується моментною теорією. Для його визначення у [4;5] використано формули прогинів стінки довгої ділянки, які ґрунтуються на умові затухання крайового вигину на її довжині і тому враховують опирання тільки одного краю.

Встановлено [1], що елементи муфт і труб не є довгими, крайові вигини на їх довжині можуть не затухати і впливають на вигини стінок інших ділянок. Тому необхідно розв'язати задачу знаходження остаточних вигинів короткої ділянки тонкостінного циліндра з урахуванням умов опирання двох країв і впливу прогинів суміжних та несуміжних ділянок. У цій статті термін "труба" об'єднує види тонкостінних циліндрів – муфти, труби, втулки тощо. Їх ділянки навантажені розподіленим тиском, який за природою може бути контактним або експлуатаційним.

**1 Крайові вигини стінок труби внаслідок стрибка тиску**

Якщо на стінку труби діє тиск P, то він спричинює її радіальне переміщення (зміну радіуса) на величину [2-5]

$$u = \frac{P}{4\beta^4 D}; \tag{1}$$

$$D = \frac{E \cdot S^3}{12(1-\mu)}; \quad \beta = \sqrt[4]{\frac{3(1-\mu^2)}{R^2 S^2}}, \tag{2}$$

де: D – циліндрична жорсткість стінки;  
 β – коефіцієнт затухання деформацій;  
 R – радіус серединної поверхні;  
 S – товщина стінки;

E і μ – модуль пружності і коефіцієнт Пуассона матеріалу труби.

Аналіз формули (1) показує, що добуток параметрів β<sup>4</sup>D характеризує взаємозв'язок тиску і зміни радіуса труби: чим менший цей добуток, тим більша зміна радіуса, викликана тиском. Можна ввести позначення G – радіальна податливість стінки труби, яка визначається як

$$G = \frac{1}{4\beta^4 D}. \tag{3}$$

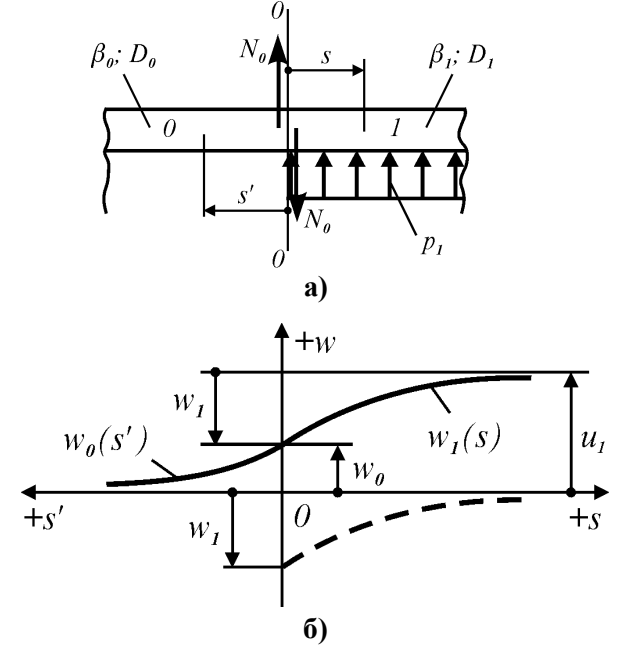
Розглянемо трубу (рис. 1, а), що має дві ділянки 0 і 1, нерозривні в перетині 0-0, з параметрами стінок відповідно D<sub>0</sub>, β<sub>0</sub> і D<sub>1</sub>, β<sub>1</sub>. На ділянці 1, починаючи від перетину 0-0, діє розподілений тиск P<sub>1</sub>. Він спричинює власні деформації стінки ділянки 1

$$u_1 = P_1 \cdot G_1. \tag{4}$$

Величина u<sub>1</sub> є геометричною різницею середніх радіусів ділянок 0 і 1 (рис. 1, б). Таку різницю радіусів, викликану тиском, можна назвати радіальним натягом u в перетині опирання двох ділянок труби. Внаслідок натягу u<sub>1</sub> і нерозривності труби стінки ділянок 0 і 1 отри-

мують осесиметричні крайові вигини (рис.1,б), змінні вздовж осі труби. Радіальне зміщення краю ділянки труби відбувається в напрямку серединної поверхні суміжної ділянки, на яку він опирається (рис. 1, б).

Внаслідок взаємного обпирання двох ділянок труби з різницею радіусів (з натягом u<sub>1</sub>) в перетині їх стику 0-0 діє поперечна (перерізуюча), розподілена по колу сила N<sub>0</sub> (рис. 1, а), для



а) навантаження ділянки 1 тиском P<sub>1</sub>;  
 б) крайові вигини w стінок труби на відстані s від перетину 0-0 стрибка тиску.

**Рисунок 1 – Схеми навантаження і деформацій стінок труби на ділянках 1 і 0**

кожної ділянки однакова, але протилежна за напрямком. Доведено [3, с.325; 4, с.53-54], що в перетині стрибка тиску P<sub>1</sub> розподілений по колу згинальний момент M<sub>0</sub> = 0, а форма вигину серединної поверхні стінки труби вздовж осі описується такими залежностями:

– для ділянки 1 з тиском P<sub>1</sub>

$$w_1(s) = -\frac{N_0}{2\beta_1^3 D_1} \cdot \theta[\beta_1 s] + u_1; \tag{5}$$

– для ненавантаженої ділянки 0

$$w_0(s') = \frac{N_0}{2\beta_0^3 D_0} \cdot \theta[\beta_0 s'], \tag{6}$$

де: s або s' – відстань до перетину, де відбувається стрибок тиску (завжди додатна);

θ[β·s] – функція від аргументу β·s [2-5]

$$\theta[\beta \cdot s] = e^{-\beta s} \cdot \cos(\beta s). \tag{7}$$

Якщо s' = 0, то θ[0] = 1 і максимальний прогин w<sub>0</sub> ділянки 0 в перетині 0-0 (рис. 1, б) буде

$$w_0(0) = \frac{N_0}{2\beta_0^3 D_0} = w_0. \tag{8}$$

Підставимо (6.1) у (4.2) і отримаємо

$$w_0(s') = w_0 \cdot \theta[\beta s'] \tag{9}$$

У функції  $\theta[\beta \cdot s]$  (5) показник степеня від'ємний, тому її значення швидко зменшується зі збільшенням відстані  $s$  [2-4].

Таким чином, якщо внаслідок обпирання на суміжну ділянку край ненавантаженої ділянки отримує максимальне радіальне переміщення  $w_0$ , то вздовж осі труби вигин її стінки затухає пропорційно функції (7). Тому  $\theta[\beta \cdot s]$  можна назвати функцією затухання крайових прогинів стінки труби, де  $s$  – відстань до перетину обпирання труби з максимальним вигином.

У перетині 0-0 стику ділянок 0 і 1, де  $s = 0$ , внаслідок неперервності їх стінок абсолютне переміщення серединних поверхонь однакове (рис.1,б), тому із (5) отримаємо

$$w_1(0) = -\frac{N_0}{2 \cdot \beta_1^3 \cdot D_1} + u_1 = w_0 \tag{10}$$

Із (10) знайдемо  $N_0$ , підставимо в (5) і отримаємо

$$w_1(s) = -w_1 \cdot \theta[\beta_1 s] + u_1; \tag{11}$$

$$w_1 = u_1 - w_0 \tag{12}$$

Із рис. 1, б бачимо, що  $w_1$  – це максимальний прогин краю ділянки 1 з тиском  $P_1$  внаслідок його опирання на ненавантажено ділянку 0 і натягу  $u_1$  між ними. Отже, вигин ділянки 1 складається із натягу  $u_1$  (4) внаслідок тиску  $P_1$  та із прогину її краю  $w_1$  (12), який зменшує радіус ділянки, тому що викликаний його опиранням на ділянку меншого радіуса. Цей прогин затухає на відстані  $s$  від опертого краю за законом  $\theta[\beta \cdot s]$  (11).

Оскільки в перетині опирання ділянок поперечні сили  $N_0$  рівні, то після перетворень із (8) і (10) можна отримати

$$w_0 = \frac{4 \cdot \beta_1^3 \cdot D_1}{4 \cdot \beta_0^3 \cdot D_0 + 4 \cdot \beta_1^3 \cdot D_1} u_1 \tag{13}$$

Із формул (5,6,8,10) випливає, що добуток параметрів  $\beta^3 \cdot D$  характеризує взаємозв'язок поперечної сили і прогину в крайових перетинах труби: чим більший цей добуток, тим менший прогин викликає поперечна сила або тим більшу реакцію опору  $N_0$  стінки труби викликає її осесиметричний прогин. Можна ввести позначення  $J$  – опорна жорсткість краю труби, яка визначається формулою

$$J = 4\beta^3 D = \frac{1}{G\beta} \tag{14}$$

де:  $\beta$  і  $D$  – параметри стінки за (2);  
 $G$  – її радіальна податливість (3).

Із формул (12-14) отримаємо залежність прогину краю ділянки від натягу між суміжними ділянками та від жорсткостей їх стінок

$$w_0 = u_1 \cdot \frac{J_1}{J_0 + J_1}, \quad w_1 = u_1 \cdot \frac{J_0}{J_0 + J_1} \tag{15}$$

Дріб у (15) означає частку прогину краю труби від загального натягу, яка пропорційна жорсткості ділянки-опори. Таким чином, максимальні прогини стінок двох суміжних ділянок труби в перетині їх опирання прямо пропорційні натягу внаслідок різниці їх радіусів і жорсткості краю ділянки, на яку вони опираються, але обернено пропорційні сумі опорних жорсткостей їх країв (15), тобто прогин краю труби тим більший, чим жорсткіша ділянка, на яку він обпирається.

За (15) запишемо (9) і (11) у вигляді

$$w_0(s') = u_1 \cdot \frac{J_1}{J_0 + J_1} \cdot \theta[\beta_0 s'], \tag{16}$$

$$w_1(s) = -u_1 \cdot \frac{J_0}{J_0 + J_1} \cdot \theta[\beta_1 s] + u_1 \tag{17}$$

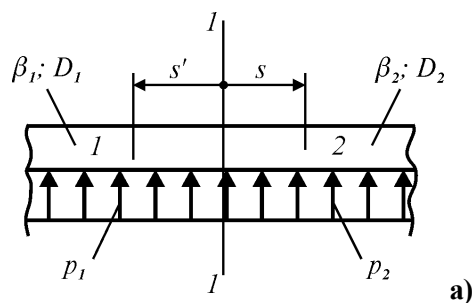
Якщо в перетині обпирання  $J_0 = J_1$ , а замість  $u_1$  підставити (1), то (16-17) повторюють відомі формули [3, с.325; 4, с.54].

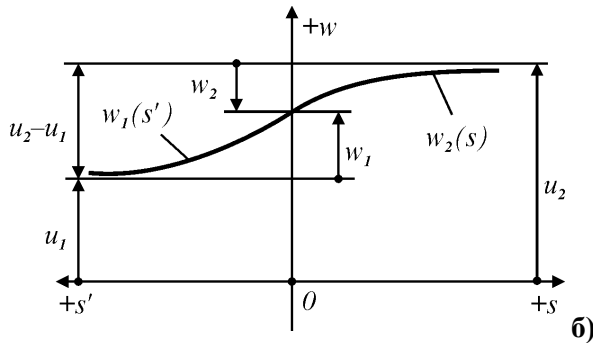
Отже, якщо труба має перетин, в якому відбувається стрибок її радіуса, викликаний тиском, то максимальні крайові осесиметричні прогини стінок двох суміжних ділянок розподіляються обернено пропорційно їх жорсткостям (15). Вони завжди направлені до серединної поверхні суміжної ділянки-опори. Додатним є прогин, який збільшує радіус ділянки. Вигин ділянки вздовж осі визначається сумою натягу (1) від тиску (якщо він є) і добутку максимального прогину в перетині обпирання на функцію затухання (7).

## 2 Крайові вигини стінок труби внаслідок стрибка натягів

Розглянемо трубу (рис. 2, а), що має дві ділянки 1 і 2, нерозривні в перетині 1-1, з розподіленими тисками і параметрами стінок відповідно  $D_1, \beta_1$  і  $D_2, \beta_2$ . Тиск  $P_1$  на ділянці 1 викликає натяг  $u_1$  (4). Аналогічно на ділянці 2 тиск  $P_2$  спричинює натяг

$$u_2 = P_2 \cdot G_2 \tag{18}$$





а) навантаження ділянок тисками  $P_1$  і  $P_2$ ; б) крайові вигини  $w$  стінок труби на відстані  $s$  від перетину 1-1 стрибка натягів.

**Рисунок 2 – Схеми навантаження і деформацій стінок труби на ділянках 1 і 2**

Для знаходження вигинів кожної ділянки використаєм принцип незалежності і суперпозиції як навантажень, так і малих переміщень, викликаних ними [2-5].

Якщо на ділянці 2 тиск  $P_2$  відсутній, то вигин стінки на ділянці 1, де є тиск  $P_1$ , визначається аналогічно до (17)

$$w_1'(s') = -u_1 \cdot \frac{J_2}{J_1 + J_2} \cdot \theta[\beta_1 s'] + u_1. \quad (19)$$

Якщо тиску  $P_1$  немає, а є тільки тиск  $P_2$  на ділянці 2, то вигин на ділянці 1 визначається аналогічно до (16)

$$w_1''(s') = u_2 \cdot \frac{J_2}{J_1 + J_2} \cdot \theta[\beta_1 s']. \quad (20)$$

Загальний вигин на ділянці 1 від дії тисків  $P_1$  і  $P_2$  складається із суми вигинів  $w'$  і  $w''$

$$w_1(s') = w_1 \cdot \theta[\beta_1 s'] + u_1, \quad (21)$$

де  $w_1$  – максимальний прогин краю ділянки 1, обпертого на ділянку 2 (рис. 2, б)

$$w_1 = (u_2 - u_1) \cdot \frac{J_2}{J_1 + J_2}. \quad (22)$$

Якщо натяги  $u_1$  і  $u_2$  рівні, то вигину стінок суміжних ділянок немає. Прогин  $w_1$  краю ділянки 1 відбувається у напрямку серединної поверхні ділянки-опори 2 (рис. 2, б), про що свідчить різниця натягів у (22) з урахуванням їх знаків.

Аналогічно знаходимо загальний вигин на ділянці 2 від тисків  $P_1$  і  $P_2$  (рис. 2, б)

$$w_2(s) = w_2 \cdot \theta[\beta_2 s] + u_2, \quad (23)$$

$$w_2 = (u_1 - u_2) \cdot \frac{J_1}{J_1 + J_2}. \quad (24)$$

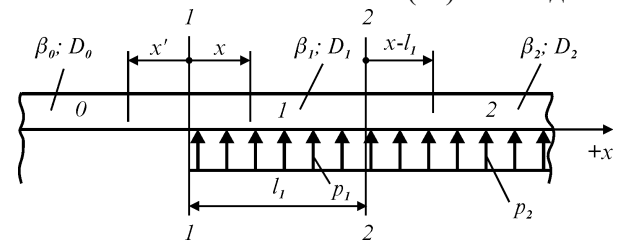
Різниця натягів у формулах (22;24) є одночасно різницею серединних радіусів двох взаємно обпертих ділянок труби. Таким чином, якщо ділянка труби навантажена розподіленим тиском, то вигин її стінки складається із натягу (4;18), спричиненого цим тиском, та вигину (21;23), спричиненого її обпиранням на суміжну ділянку. Причиною крайового вигину сумі-

жних стінок взаємно обпертих ділянок труби є різниця їх серединних радіусів (стрибок натягів), а величина цього вигину пропорційна цій різниці та частці жорсткості ділянки-опори в сумарній жорсткості країв обох ділянок (22;24) і затухає з віддаленням від перетину обпирання за законом функції  $\theta[\beta \cdot s]$  (7).

**3 Взаємний вплив умов обпирання на вигини стінок кількох суміжних ділянок труби**

Розглянемо трубу з трьома ділянками 0, 1 і 2 (рис. 3), умови на яких формулюються аналогічно до п.1-2 (рис. 1-2). Проміжна ділянка 1 має довжину  $l_1$ .

Визначимо вигини ділянки 1 за рис.3. Внаслідок опираючої на ненавантажену ділянку 0 вигин її стінки визначається за (17). Але під час



**Рисунок 3 – Схема навантаження стінок тисками  $P_1$  та  $P_2$  на ділянках 1 і 2 труби з ненавантаженою ділянкою 0**

дії тисків  $P_1$  і  $P_2$  у перетині 2-2 є стрибок натягів між ділянками 1 і 2, внаслідок чого стінка 1 отримує додатковий вигин за (22), який затухає на довжині  $l_1$

$$w_1'(x) = (u_2 - u_1) \cdot \frac{J_2}{J_1 + J_2} \cdot \theta[\beta_1(l_1 - x)], \quad (25)$$

де  $(l_1 - x)$  – відстань від перетину  $x$  до перетину 2-2 обпирання.

Загальний вигин стінки на ділянці 1 від обпирання на ненавантажену ділянку 0 і від стрибка натягів при обпиранні на ділянку 2 складається з суми основного (17) і додаткового (25) вигинів

$$w_1(x) = u_1 - u_1 \cdot \frac{J_0}{J_0 + J_1} \cdot \theta[\beta_1 x] + (u_2 - u_1) \cdot \frac{J_2}{J_1 + J_2} \cdot \theta[\beta_1(l_1 - x)] = u_1 - w_{11} \cdot \theta[\beta_1 x] + w_{12} \cdot \theta[\beta_1(l_1 - x)], \quad (26)$$

де:  $w_{11}$  – прогин ділянки 1 в перетині 1-1 від обпирання на ненавантажену ділянку 0 за пропорцією (15);

$w_{12}$  – прогин ділянки 1 в перетині 2-2 внаслідок обпирання на ділянку 2 з тиском за формулою (22).

Розглянемо ділянку 0. У перетині 1-1 (рис. 3) внаслідок неперервності стінок їх абсолютні переміщення країв ділянок 0 і 1 однакові, причому для ділянки 0 таке переміщення максимальне (див. рис. 1). За (26) при  $x = 0$  одержимо

$$w_1(0) = u_1 - w_{11} + w_{12} \cdot \theta[\beta_1 l_1] = w_0. \quad (27)$$

Тоді на ділянці 0 без тиску вигин її стінки описується за (9) через максимальне  $w_0$

$$w_0(x') = (w_{01} + w_{12} \cdot \theta[\beta_1 l_1]) \cdot \theta[\beta_0 x'], \quad (28)$$

де:  $w_{01}$  – прогин ненавантаженої ділянки 0 в перетині 1-1 від обпирання на ділянку 1 з тиском за пропорцією (15).

Якщо довжина  $l_1$  достатньо велика, то функція затухання  $\theta[\beta_1 l_1] \approx 0$  і вираз (28) перетворюється у вираз (16). Таким чином, вплив на ділянку 0 характерного перетину 2-2 (обпирання ділянки 1 на ділянку 2) визначається другим доданком (28), тобто величиною прогину стінки 1, спричиненого стрибком натягів у перетині 2-2, який затухає на довжині  $l_1$  до початку ділянки 0.

Розглянемо вплив ділянки 0 на ділянку 2 (рис. 3). Якщо довжина  $l_1$  велика, то  $\theta[\beta_1 l_1] \approx 0$  і вигин стінки 1 від обпирання на ділянку 0 на довжині  $l_1$  зникає ще до початку ділянки 2. Тоді форма стінки ділянки 1 визначається за (21), а максимальний прогин  $w_{22}$  ділянки 2 в перетині 2-2 – за формулою (24).

Але якщо довжина  $l_1$  невелика, так що функцією  $\theta[\beta_1 l_1]$  не можна знехтувати, то обпирання ділянки 1 на ділянку 0 буде мати вплив і на ділянку 2 (рис. 3). Внаслідок обпирання на ненавантажено ділянку 0 переміщення стінки на ділянці 1 зменшене, на що вказує від'ємний доданок у формулі (26), який в перетині 2-2 набуває значення

$$w_2' = -w_{11} \cdot \theta[\beta_1 l_1]. \quad (29)$$

З урахуванням впливу (29) максимальний прогин  $w_2$  в перетині 2-2 буде

$$w_2 = w_{22} - w_{11} \cdot \theta[\beta_1 l_1]. \quad (30)$$

Тоді аналогічно до (23) загальний вигин стінки ділянки 2 від дії тисків  $P_1$  і  $P_2$  з урахуванням впливу ненавантаженої ділянки 0 буде

$$w_2(x) = (w_{22} - w_{11} \cdot \theta[\beta_1 l_1]) \cdot \theta[\beta_2(x - l_1)] + u_2, \quad (31)$$

де  $(l_1 - x)$  – відстань від перетину  $x$  на ділянці 2 до перетину 2-2 обпирання.

Розглянемо випадок навантаження труби тиском  $P_1$  тільки на одній ділянці 1 довжиною  $l_1$ , який часто зустрічається [2;5]. Такий випадок одержується, якщо на ділянці 2 натяг  $u_2$  від тиску  $P_2$  (знизу на рис. 3) компенсувати протилежним тиском  $P_2'$  і натягом  $u_2'$  з другого боку стінки 2 (зверху) так, щоб  $u_2' = -u_2$ . Вигин стінки на ділянці 1 від тисків  $P_1$  і  $P_2$  описується формулою (9). Вигин ділянки 1 як уявно ненавантаженої від дії тільки компенсуючого тиску  $P_2'$  (зверху ділянки 2) визначається за (16) з протилежним знаком. Загальний вигин стінки на ділянці 1 одержується накладанням вказаних вигинів і характеризує обпирання ділянки 1 з тиском  $P_1$  на ненавантажені ділянки 0 і 2 (з двох боків)

$$w_1(x) = u_1 - u_1 \cdot \frac{J_0}{J_0 + J_1} \cdot \theta[\beta_1 x] - u_1 \cdot \frac{J_2}{J_1 + J_2} \theta[\beta_1(l_1 - x)]. \quad (32)$$

Якщо параметри труби такі, що  $J_0 = J_1 = J_2$ , то одержуємо відому формулу [2, с.523; 5, с.13], яка є частковим випадком (32). Крім того, множники при функціях затухання  $\theta$  у (32) розкривають природу і величину вигинів стінки ділянки 1 при її обпиранні на ненавантажені ділянки 0 і 2.

Розглянемо випадок труби з трьома ділянками 1', 0, 1, навантаженими тисками  $P_1'$  та  $P_1$  симетрично як на рис. 4. Якщо довжина  $l_0$  ненавантаженої ділянки 0 велика, так що  $\theta[\beta_0 l_0] \approx 0$ , то її можна вважати довгою, вигин ділянки 1 визначати за (17), а на ділянці 0 – за (16) через максимальний прогин в перетині 1-1 згідно із (15).

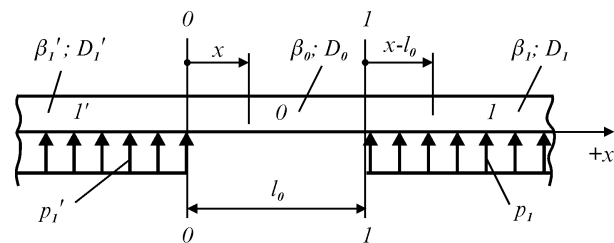


Рисунок 4 – Схема симетричного навантаження стінок тисками  $P_1'$  та  $P_1$  на ділянках 1' і 1 труби з ненавантаженою ділянкою 0

Але при невеликій довжині  $l_0$ , коли функцією  $\theta[\beta_0 l_0]$  знехтувати не можна, в перетині 1-1 мають місце додаткові переміщення внаслідок дії тиску  $P_1'$  на ділянці 1', які за формулою (16) набувають значення

$$w_1' = u_1' \cdot \frac{J_1'}{J_1' + J_0} \cdot \theta[\beta_0 l_0], \quad (33)$$

а максимальний прогин  $w_1$  в перетині 1-1 з урахуванням (33) становить

$$w_1 = -u_1 \frac{J_0}{J_0 + J_1} + u_1' \cdot \frac{J_0'}{J_1' + J_0} \theta[\beta_0 l_0]. \quad (34)$$

Тоді за (17) вигин стінки ділянки 1 від тиску  $P_1$  з урахуванням впливу ненавантаженої ділянки 0 і ділянки 1' з тиском  $P_1'$  буде

$$w_1(x) = u_1 - \left( u_1 \frac{J_0}{J_0 + J_1} - u_1' \frac{J_1'}{J_1' + J_0} \theta[\beta_0 l_0] \right) \theta[\beta_1(x - l_0)]. \quad (35)$$

Якщо ділянки 1' і 1 симетричні та мають однакові параметри  $D_1$ ,  $\beta_1$  і  $P_1$ , то формула (35) набуває вигляду

$$w_1(x) = u_1 - u_1 \frac{J_0 - J_1 \theta[\beta_0 l_0]}{J_0 + J_1} \theta[\beta_1(x - l_0)]. \quad (36)$$

З формули (36) випливає, що прикладання симетричного тиску  $P'_1$  на відстані  $l_0$  до ділянки 1 аналогічне зменшенню жорсткості проміжної ділянки 0.

Аналіз формул (25-35) та їх співставлення із формулами (15-24) дозволяє зробити висновок про вплив несуміжних ділянок труби на прогини стінки даної. Якщо дана ділянка обпирається на суміжну з іншими параметрами  $D$ ,  $\beta$  чи  $P$ , то вона одержує вигини своєї стінки відповідно до (16-24). Ці вигини максимальні в перетині обпирання (15;22;24) і затухають з віддаленням від нього. У свою чергу суміжна ділянка труби може обпиратись на деяку несуміжну. Якщо довжина суміжної недостатня для затухання крайових вигинів, то в максимальному прогині (27;30;34) в перетині обпирання необхідно врахувати додатковий прогин від обпирання на несуміжну ділянку, який затухає на довжині суміжної (27;29;33).

#### 4 Вплив вільного краю на вигин ділянки труби

Розглянемо випадок навантаження труби (рис. 5), подібний до рис. 3, але з вільним краєм короткої ділянки 0 довжиною  $l_0$ . Для цього випадку встановлено [5], що ділянка 0, один край якої є неопертим (вільним), має меншу жорсткість порівняно з нескінченною (довгою). Тому обпертий перетин 1-1 одержує додатковий прогин, чисельно рівний прогину ділянки 0 на довжині  $l_0$  (на відстані до вільного краю) [5, с.32-33].

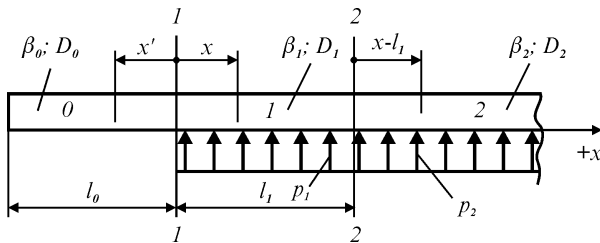


Рисунок 5 – Схема навантаження стінок тисками  $P_1$  та  $P_2$  на ділянках 1 і 2 труби з вільним краєм ненавантаженої ділянки 0

Такий прогин ділянки 0 на довжині  $l_0$  знайдемо за (28)

$$w_0(l_0) = \left( u_1 \frac{J_1}{J_0 + J_1} + (u_2 - u_1) \times \frac{J_2}{J_1 + J_2} \theta[\beta_1 l_1] \right) \theta[\beta_0 l_0]. \quad (37)$$

Цей додатковий прогин зменшує максимальний прогин ділянки 1 при її обпиранні на ненавантажену ділянку 0 в перетині 1-1. Знайдемо вигин стінки 1 (рис.5), використовуючи (26) з урахуванням (37)

$$w_1(x) = u_1 + \left( w_0(l_0) - u_1 \frac{J_0}{J_0 + J_1} \right) \cdot \theta[\beta_1 x] + (u_2 - u_1) \cdot \frac{J_2}{J_1 + J_2} \cdot \theta[\beta_1 (l_1 - x)] = u_1 - u_1 \frac{J_0 - J_1 \cdot \theta[\beta_0 l_0]}{J_0 + J_1} \cdot \theta[\beta_1 x] + (u_2 - u_1) \frac{J_2}{J_1 + J_2} (\theta[\beta_1 (l_1 - x)] + \theta[\beta_0 l_0] \cdot \theta[\beta_1 l_1] \cdot \theta[\beta_1 x]). \quad (38)$$

Із (38) випливає, що вільний край ділянки 0 зменшує її жорсткість на величину  $J_1 \cdot \theta[\beta_0 l_0]$ , а також збільшує вигин ділянки 1 за рахунок впливу вільного краю на перетин 2-2.

А якщо сам перетин 1-1 є вільним краєм, тобто  $l_0 = 0$ ,  $\theta[\beta_0 l_0] = 1$  і  $J_0 = 0$ , то це спростує вигляд (38) для вигину стінки ділянки 1

$$w_1(x) = u_1(x) + u_1 \cdot \theta[\beta_1 x] + (u_2 - u_1) \times \frac{J_2}{J_1 + J_2} (\theta[\beta_1 (l_1 - x)] + \theta[\beta_1 l_1] \cdot \theta[\beta_1 x]). \quad (39)$$

На рис. 3 вигин ділянки 2 за формулою (31) враховує обпирання ділянки 1 на ділянку 0 через максимальний прогин в перетині 1-1 та його затухання. Тому у випадку вільного краю ділянки 0 (рис. 5) при розгляді вигину ділянки 2 у прогині перетину 1-1 враховуємо (37) і за (35) одержимо

$$w_2(x) = u_2 + \left( (u_1 - u_2) \frac{J_1}{J_1 + J_2} + \left( w_0(l_0) - u_1 \frac{J_0}{J_0 + J_1} \right) \theta[\beta_1 l_1] \right) \times \theta[\beta_2 (x - l_1)] = u_2 + \left( -u_1 \frac{J_0 - J_1 \theta[\beta_0 l_0]}{J_0 + J_1} \theta[\beta_1 l_1] + (u_1 - u_2) \frac{J_1}{J_1 + J_2} \right) \theta[\beta_2 (x - l_1)]. \quad (40)$$

А якщо перетин 1-1 є вільним краєм, то аналогічно до (39) це спростує вигляд формули (40) для вигину стінки на ділянці 2

$$w_2(x) = u_2 + \left( u_1 \cdot \theta[\beta_1 l_1] + (u_1 - u_2) \frac{J_1}{J_1 + J_2} \right) \theta[\beta_0 (x - l_1)]. \quad (41)$$

#### Висновки

Ділянки муфти і труби, з'єднані з натягом, одержують осесиметричні вигини стінки, які не затухають на коротких ділянках. Ці вигини ви-

значає максимальний прогин кожного із двох країв ділянки, який пропорційний різниці радіусів, розподілених тисків і жорсткостей із суміжною ділянкою-опорою. Запропонована функція затухання дозволяє розрахувати остаточний вигин ділянки за прогинами двох країв з урахуванням впливу додаткових вигинів суміжних і несуміжних ділянок.

### Література

1. Чернов Б.О., Кулинин Т.М., Палійчук І.І. Деформації елементів муфтового з'єднання обсадних труб з герметизуючою втулкою // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2002. – № 4 (5). – С.56-60.

2. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. – М.: Наука, 1966. – 636с.

3. Бояршинов С.В. Основы строительной механики машин. – М.: Машиностроение, 1973. – 456 с.

4. Мочернюк Д.Ю. Исследование и расчет резьбовых соединений труб, применяемых в нефтедобывающей промышленности. – М.: Недра, 1970. – 136 с.

Мета проектування системи розподілу газу полягає у створенні такої мережі, яка здатна забезпечити споживачів теплоносієм у необхідних кількостях і під заданим тиском. При проектуванні інженерної мережі необхідно визначити кількість і місце розташування окремих підсистем, її структуру, а також режимні параметри з урахуванням стохастичного характеру споживання газу, динаміки розвитку мережі і надійності системи газопостачання.

При розробці принципової схеми газопостачання населеного пункту важливим аспектом є вирішення питання раціонального розміщення газорозподільних станцій (ГРС). Місце розташування ГРС значно впливає на економічність газових мереж високого і середнього тиску.

Свого часу ГипроНИИгаз досліджував питання оптимізації структури газопровідних систем і прийшов до висновку, що найбільш економічний варіант відповідає такому розташуванню газорозподільних станцій, при якому

5. Билик С.Ф. Герметичность и прочность конических резьбовых соединений труб нефтяного сортамента. – М.: Недра, 1981. – 362 с.

УДК 622.691.4

## ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ РОЗПОДІЛУ ГАЗУ ПРОМЕНЕВОЇ СТРУКТУРИ

Ю.І.Зарубіна, М.Д.Середюк

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166,  
e-mail: tznng@ifdtung.if.ua

*Разработан алгоритм и программное обеспечение для оптимизации места размещения газораспределительной станции и выбора диаметров газопроводов при лучевой системе распределения газа в населенных пунктах.*

*The algorithm and the software support was developed for optimization of placement of gas-distribution station and choice of diameter of gas pipelines for radial gas distribution system.*

Значне місце в структурі паливно-енергетичного комплексу займає клас трубопровідних систем енергетики, до якого належать системи газо-, нафто-, тепло- і водопостачання [1].

Інженерна мережа – найбільш складна підсистема трубопровідних систем енергетики, основним призначенням якої є транспортування і розподіл між споживачами рідких чи газоподібних продуктів. Значне ускладнення структури інженерної мережі призвело до того, що старі методи управління і проектування стали неефективними і занадто затратними. Тому постало питання про раціоналізацію методів проектування трубопровідних мереж для транспортування і розподілу енергоносіїв, у тому числі природного газу.

За умов становлення ринкових відносин все актуальнішим стає питання економії коштів на будівництво та експлуатацію систем газопостачання населених пунктів.

транспортна характеристика розподільної системи приймає мінімальне значення [2]. Транспортна характеристика системи розподілу газу буде мінімальною, якщо найбільшим вузловим навантаженням будуть відповідати найменші значення відстаней від ГРС до кожного вузла мережі, і за інших рівних умов сума відстаней від джерела газопостачання до споживачів буде найменша. На основі виконаних досліджень були розроблені такі рекомендаційні принципи вибору місця розташування ГРС:

– розміщення ГРС з боку найбільших споживачів газу;

– забезпечення найменшого середнього радіуса дії ГРС.

Як альтернатива традиційній системі розподілу газу типу “складного дерева” у роботі [3] пропонується променева система розташування газових мереж високого чи середнього