

ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ АСПЕКТИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ ГАЗОТРАНСПОРТУЮЧИХ КОМПЛЕКСІВ

© Лютак З.П., 1998

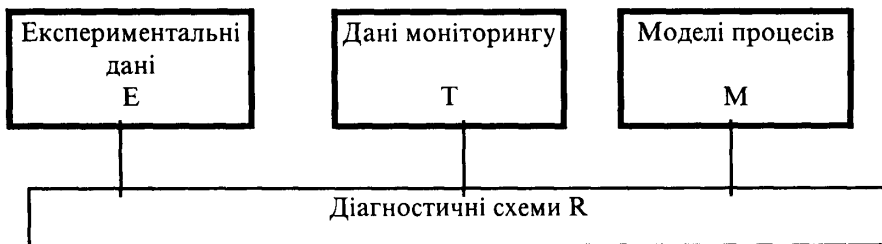
Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу

У статті наведено одну з діагностичних розрахункових схем конструкцій газотранспортуючих систем. Показано експрес-спосіб тестування газопроводів при їх відхиленні від проектного положення через зовнішні і внутрішні чинники впливу.

Для діагностики стану окремої конструкції газотранспортуючих комплексів важливе значення мають експериментальні дані по елементах та матеріалах, з яких вона складається, дані про навантаження, моніторинг деяких параметрів, що характеризують її стан. Часто висновки про загальний стан конструкції роблять лише на основі цих груп параметрів. Проте ясно, що навіть великий об'єм інформації про властивості окремих елементів конструкції, навіть докладний моніторинг її за різноманітними фізико-механічними параметрами не може повністю замінити загальне фізичне

розуміння взаємопов'язаних процесів, що призводять до зміни її технічного стану.

Метою даної роботи є розробка простих розрахункових схем (РС), придатних для діагностики трубопроводу. Основною вимогою буде діагностична ефективність, швидкодійність, можливість реалізації даних розрахункових схем на простих вимірювально-обчислювальних комплексах у реальних умовах часу. Розглянемо одну із таких (РС) діагностики, яка показана на рисунку.



Розрахункова схема.

Тут у прямокутниках наведені три множини вхідних параметрів, а в прямокутнику – множина діагностичних схем. Причому, в множину E входять не лише результати експериментів на зразках, але й обсяг інформації про реальні умови експлуатації конструкції та характер пошкоджень. Введемо поняття цінності кожного елемента множини діагностичних схем R , подібно, як це зроблено для функції корисності в роботі [1]. Для цього спочатку розіб'ємо це поняття на суму (алгебраїчну) цінності використання множин E , T , M , та їх обслуговування (алгоритми, програми, прилади...).

У [1] спочатку для деяких пар елементів множини вводиться поняття часткової впорядкованості

$$X_1 > X_2. \quad (1)$$

Розглянемо першу частину цінності елемента r_k , перенесену з множин E , T , M . Для цього на цих множинах також введемо спершу часткову

впорядкованість (по цінності) e , t , m , а пізніше і саму цінність. Очевидно, що

$$e_i > e_j, \quad t_i > t_j, \quad m_i > m_j$$

справедливо тоді, коли елементи з індексом j становлять частини елементів з індексом i . Наприклад, експериментальні дані e_i , на відміну від e_j , містять дослідження при випадкових навантаженнях або при ширшому діапазоні полів навантаження. Модель m_j є деяким спрощеним варіантом моделі m_i (m_i континуальна РС, а m_j – дискретна при тій же кількості компонентів або m_i враховує температурні поля, а m_j – лише механічні). Якщо r_k розроблено на основі елементів e , t , m , то

$$r_k = r_k(e_i, t_i, m_i), \quad (2)$$

а

$$r'_k = r'_k(e'_j, t'_j, m'_j), \quad (3)$$

і мають місце співвідношення

$$e_i > e'_j, \quad t_i > t'_j, \quad m_i > m'_j, \quad (4)$$

то можна вважати, що

$$s'(r_k) > s'(r'_k) \quad (5)$$

Тут s^1 – перша частина цінності системи діагностики. Звичайно, в загальну цінність системи діагностики треба приєднати і внутрішню цінність розробки алгоритмів, програм та зовнішню – введення в експлуатацію. Немале значення мають і точність діагностики та прогноуюча здатність даної системи. На ці параметри впливають те, яка інформація використана з множин E , T , M та наскільки якісно розроблено дану діагностичну схему (а також наскільки вона має прогноуючі здатності). У першому наближенні візьмемо узагальнену цінність (корисність) у такому функціональному вигляді:

$$s(r_i) = s(s^1(r_i), s^2(r_i), \varepsilon(r_i), p(r_i)) \quad (6)$$

Тут s^2 – цінність розробки і впровадження (та експлуатації); ε – прецизійність та інформативність; p – прогностичність.

Звичайно, важко однозначно встановити аналітично чи, навіть, чисельно як вид окремих залежностей $s^{1,2}(r)$, $\varepsilon(r)$, $p(r)$. Тут можливий деякий спрощений підхід на основі перерізів об'єктів контролю. Якщо вважати відомими вимоги до точності та прогноуючої здатності системи, то

$$\varepsilon(r) = C_\varepsilon, \quad p(r) = C_p, \quad (7)$$

де C_ε та C_p деякі константи та виділені ресурси на розробку. Приймемо

$$s^2(r) = C_s, \quad (8)$$

де C_s – константа, яка враховує цінність окремого елемента конструкції. Для загальної оцінки (6) можна застосувати введені оцінки (7), (8). Тут, звичайно, не буде лінійної залежності, але якщо ввести переріз функції s , наприклад

$$s^c(r_i) = s^c(s^1(r_i), C_s, C_\varepsilon, C_p) \quad (9)$$

то для s^c також матиме місце залежність (4)-(5).

Вище введена інтегральна функція цінності (корисності) може бути в першому наближенні мірою оптимальності діагностичної системи. Однак загальна задача набагато складніша. Вона повинна містити як системний, так і економічний аналіз, що виходить за межі даної роботи.

Розглянемо схему діагностики ділянки трубопроводу. Для підвищення надійності трубопроводів необхідні експериментальні дослідження параметрів фізико-механічного стану. Розглянемо чотири множини параметрів, які визначаються експериментальним способом. Перші дві групи параметрів – це скалярні значення:

1) Розподіли температур λ_i і E_i . Це скалярні значення температури в стінці трубопроводу, а також температура газу.

2) Розподіл тиску за об'ємом труби λ_p , E_p .

Третя група – це векторні значення.

3) Кінематичні параметри λ_k , E_k . Це, наприклад, перевищення перерізу на ділянці $x = L_1$ над перерізом $x = L_2$. Множині E_k належать також геодезичні параметри, що чисельно виражають значення просадок опор та фундаментних плит газокompресорних станцій, параметри, що визначають зсуви ґрунту на трубу.

Четверта група – це тензорні значення розподілу напружень у матеріалі стінок труб.

4) Значення тензора напружень λ , E .

Всі ці параметри потрібні для діагностики стану трубопроводу, але вони мають важливе значення і при їх проектуванні. Дійсно, не володіючи достатніми діагностичними даними, приходиться закладати в конструкцію більший запас міцності, що спричиняє зростання матеріаломісткості, до необхідності ускладнювати конструкцію опор, збільшувати їх кількість.

З проектуванням трубопроводів і з їх діагностикою пов'язана ціла низка розрахункових схем, що оперують багатьма чинниками. Визначення лише фізико-механічних властивостей поєднане з такими дисциплінами, як динаміка рідини та газу, термопружність, будівельна механіка та інші.

Розглянемо спрощений експрес- спосіб тестування газопроводів при деформаціях, зумовлених зміщенням ґрунту на основі ультразвукової тензометрії. При діагностуванні лінійної частини газопроводу необхідно визначити моментні напруження, спричинені зсувами ґрунту. Розглянемо деяку ділянку трубопроводу завдовжки ΔL , яка доступна для ультразвукової діагностики. Припустимо, що на цій ділянці розподіл напружень у двох ортогональних площинах буде

$$\sigma_2 = \frac{p \cdot r}{\Delta} = const, \quad \sigma_3 = \sigma_{30} + z \cdot \sigma_{3m}, \quad (10)$$

де p – тиск газу; r – радіус труби; Δ – товщина; z – відстань від нейтральної осі в циліндричній системі координат; σ_{3m} – моментне напруження; σ_{30} – поздовжнє напруження, яке визначається

$$\sigma_{30} = \frac{N_t}{S_t} = \frac{N_t}{2\pi r \delta}, \quad (11)$$

де N_t – поздовжня сила; S_t – площа перерізу.

На основі [2] отримуємо такі значення для суми та різниці частот імпульсів в ортогональних площинах поляризації

$$f_2 + f_3 = (\sigma_{30} + z \cdot \sigma_{3m} + \sigma_{20}) \frac{f_0}{B} + 2f_0, \quad (12)$$

де f_2, f_3 – частоти імпульсів в ортогональних площинах; f_0 – середнє значення частоти; σ_{20} – окружні напруження.

$$f_3 - f_2 = ((\sigma_{30} - \sigma_{20}) + z \cdot \sigma_{3m}) \frac{f_0}{A}, \quad (13)$$

де A, B – коефіцієнти, які характеризують пружні властивості металу трубопроводу в ортогональних площинах.

Вважаємо, що на вибраній ділянці трубопроводу має місце співвідношення

$$\frac{f_0}{A} = \left(\frac{f_0}{A}\right)^0 + \left(\frac{f_0}{A}\right)^\epsilon. \quad (14)$$

Тут величина з індексом $(^0)$ – деяке середнє значення, а з індексом $(^\epsilon)$ – варіація за довжиною труби та за її радіусом.

Якщо враховувати, що значення поздовжнього напруження менше від окружного, а також вважаючи відомою площину згину (наприклад з геодезичних даних), та нехтуючи членами з індексом $(^\epsilon)$, на основі (13) отримаємо

$$\Delta f = -\sigma_{20} \left(\frac{f_0}{A}\right)^0 + z \cdot \sigma_{3m} \left(\frac{f_0}{A}\right)^0. \quad (15)$$

Тепер задачу можна розбити на дві:

- 1) Визначення окружного напруження σ_{20} ;
- 2) Визначення моментних напружень σ_{3m} .

Дійсно, якщо в (15) взяти $z = 0$, то

$$\Delta f = -\sigma_{20} \left(\frac{f_0}{A}\right)^0 = -\frac{p \cdot r}{\delta} \left(\frac{f_0}{A}\right)^0. \quad (16)$$

Співвідношення (16) можна розглядати двояко. У першому випадку за невідоме можна взяти внутрішній тиск p . Тоді (16) – це однопараметричне рівняння лінійної регресії для p

$$\Delta f = -\Theta_1 \alpha_1, \quad (17)$$

де $\Theta_1 = p$; $\alpha_1 = r/\delta(f_0/A)^0$.

Якщо вибрати достатню кількість точок на лінії $z = 0$, то на основі (17) і співвідношень

однопараметричної лінійної регресії отримаємо невідомі значення внутрішнього тиску, а тим самим і окружні напруження

$$\hat{p} = \sum_{i=1}^n \Delta f_i / \left\{ -\frac{nr}{\delta} \left(\frac{f_0}{A}\right)^0 \right\} \quad (18)$$

де $n = 2, 3, \dots, m$; Δf_i – різниця частот m -го вимірювання.

Аналогічно, якщо достовірнішими є дані про внутрішній тиск, то з (17) тим же способом знайдемо невідому константу

$$\left(\frac{f_0}{A}\right)^0 = -\sum_{i=1}^n \Delta f_i / \left\{ -\frac{nr}{\delta} \right\} \quad (19)$$

У кожному з цих випадків значення цієї константи буде відоме, а тим самим буде відома перша складова в (15). Отже, співвідношення (15) також представлятиме формулу однопараметричної регресії для моментного напруження σ_{3m}

$$\Delta f = -(\Delta f)_0 + \sigma_{3m} \cdot z \left(\frac{f_0}{A}\right)^0. \quad (20)$$

Значення σ_{3m} дорівнюватиме

$$\sigma_{3m} = \sum_{i=1}^n (\Delta f_i + (\Delta f)_0) / \left\{ z_i \cdot n \left(\frac{f_0}{A}\right)^0 \right\} \quad (21)$$

У співвідношеннях (19), (21) треба намагатися вибирати точки спостереження на максимальній відстані в перерізі труби, щоб одержати точніші результати. За відомими моментними напруженнями наведених вище співвідношень можлива діагностика і за межами доступного для вимірів відрізка ΔL . Однак у цьому разі розрахунок ускладнюється внаслідок наявності, апріорі невідомих реакцій ґрунту на заглиблену ділянку трубопроводу.

1. Де-Гроот М. *Оптимальные статистические решения*. М., 1974. 2. Шандеров Е.Л. *Волновые задачи гидроакустики*. Л., 1972.