

використанням методу Хольта. Розроблена раніше дискретно-подієва математична модель комплексу водовідливу шахти в комплексі з даною прогноною моделлю дозволить забезпечити синхронність і циклічність роботи комплексу водовідливу в стаціонарних і нестаціонарних режимах, що в підсумку дозволить скоротити час роботи водовідливу в години пікового навантаження енергосистеми шахти.

Література

1. Чехлатый Н.А. Оценка потерь электроэнергии при пуске насосов главного водоотлива / Н.А. Чехлатый // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – 2009. – Вып. 29. – С. 40–53.
2. Данильчук Г.И. Автоматизация электропотребления водоотливных установок / Г.И. Данильчук, С.П. Шевчук, П.К. Василенко. – К. : Техника, 1981. – 102 с.
3. Червинская Н.В. Моделирование процессов динамики комплекса шахтного водоотлива в базе Max-plus алгебры / Н.В. Червинская, В.И. Бессараб, В.В. Червинский // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». Вип. 147 (30). – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – 248 с. – С. 51–58.
4. Червинская Н.В. Использование аппарата Max-plus алгебры при описании объектов дискретно-непрерывного класса / Н.В. Червинская // Bulletin d'Eurotalent-Fidjip, 2009. – Volume 4. – France, Romilly sur Seine: Editions du Jipto, 2009. – ISSN 2101–5317. – 74 p. – P. 51–56.
5. Бокс Дж. Анализ временных рядов: прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс ; пер. с англ. А.Л. Лев шин ; ред. В. Ф. Писаренко. – М. : Мир, 1974. – 406 с.
6. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов : [учеб. пособие] / Лукашин Ю.П. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 414 с.

Надійшла 9.6.2012 р.

Рецензент: д.т.н. Чичикало Н.І.

УДК 622.692.6

М.М. СЕМЕГЕН, З.П. ЛЮТАК, Б.В. КОСТІВ
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

УДОСКОНАЛЕННЯ АКУСТИЧНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕРОЗПОДІЛЕННЯ НАПРУЖЕНЬ НА ДІЛЯНЦІ ТРУБОПРОВОДУ

На основі використання швидкості поширення ультразвукової хвилі описана математична модель контролю напруженого стану магістрального трубопроводу. Застосування розробленої моделі дасть можливість визначити місце дії зусиль, які впливають на трубопровід на ремонтних ділянках і тим самим оптимізувати проведення ремонтно-відновлюваних робіт, забезпечивши при цьому цілісність конструкції трубопроводу.

On the basis of physics of propagation of ultrasonic wave the mathematical model of control of stressed state of the main pipeline has been described. The model gives an opportunity to define a place of the application of loads which affect the pipeline on repair sections and gives opportunity to optimize conducting of repair-and-renewal operations, providing thus integrity of a structure of the pipeline.

Ключові слова: ультразвук, напруження, напружено-деформований стан, зусилля, магістральний трубопровід.

Вступ

Стабільна робота магістрального трубопроводу залежить від його технічного стану. Основним технічним станом труб є їх напружено-деформований стан, а параметром, що визначає експлуатаційні характеристики, є величина напружень в його стінці, яка залежить від ряду чинників, наприклад, товщини стінки металу труби, величини прикладених зусиль тощо. Тому згідно з нормативними документами основної експлуатаційної організації газотранспортної мережі „Укртрансгаз” основним критерієм виходу тієї чи іншої ділянки трубопроводу з ладу є граничне значення величини напруження плинності, яке не виходить за межі допустимого значення. При оцінці технічного стану магістрального трубопроводу важливе місце займає достовірне визначення його напружено-деформованого стану. Особливо гостро ця проблема торкається потенційно небезпечних ділянок, які потребують ремонту та експлуатуються в екстремальних умовах, спричинених різними перевантаженнями. Як приклад, можна навести численні випадки перенапружень труб внаслідок зсувів ґрунту на схилах гір та пагорбів, корозію їх стінок, зсувів бетонних опор під трубопроводами на річних переходах, випинання недостатньо закріплених ділянок газопроводів, надмірного згину труби при укладальних роботах тощо, а також різної їх комбінації. В окремих випадках ці додаткові зусилля є основною причиною утворення в трубопроводі пластично-деформованих зон, які нерідко переростають в тріщиновидні дефекти, призводять до утворення поверхневих вм'ятин, розривів по зварних з'єднаннях і по тілу труби [1]. Вони, як концентратори напружень можуть істотно впливати на надійність і довговічність магістральних трубопроводів. Звідси витікає, що характер пошкоджень та

руйнувань може бути різний. Все це створює труднощі в нормальному ритмічному транспортуванні газу, а також загрозу екологічній безпеці на великих територіях.

Із-за складності конструкцій трубопровідних систем, особливо в районах компресорних станцій, із-за наявності в металі труби технологічних напружень, пов'язаних з технологією виготовлення труб великого діаметру, а також дії інших неврахованих проєктом різного роду навантажень та впливів на магістральні трубопроводи точний розрахунок напружень, які діють в стінці труби, не завжди є можливим. Тому задача експериментальної оцінки реального напруженого стану трубних сталей на різних етапах експлуатації та ремонту трубопроводів є в даний час досить актуальною.

Основний розділ

Проблемою визначення механічних напружень в об'єктах контролю, які експлуатуються з метою оцінки їх технічного стану займаються більшість провідних діагностичних центрів світу. Однак, до цих пір ефективність різних методів та засобів контролю напружень залишається низькою при їх використанні безпосередньо на практиці. Відомі методи ультразвукового контролю напружено-деформованого стану трубопроводів, які були розроблені науковцями Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу [2]. У вказаних роботах розроблені методи визначення величини сумарних напружень у стінках трубопроводів залежно від часу або швидкості поширення поперечних ультразвукових хвиль та групової швидкості поширення нульових та перших мод пластинчатих хвиль. На практиці, зокрема при виконанні ремонтних робіт на ділянках підземної частини трубопроводів, крім величини сумарного напруження в стінках трубопроводів необхідно знати та враховувати ще й величини головних векторів напружень. Це дає можливість визначення місця прикладання зусиль як по околу труби, так і вздовж неї, встановити причини їх виникнення для своєчасного реагування на них та запобігання виникненню аварійних ситуацій, що суттєво впливає на продуктивність проведення ремонтних робіт.

Основним підходом визначення величини напружень в стінці металу труби газопроводу, що експлуатується є неруйнівний контроль [3]. На основі загальних фізичних міркувань можна стверджувати, що фізичним параметром, який відповідає величині фактичних напружень в досліджуваному металі є швидкість або час поширення ультразвукової хвилі [4].

В деяких випадках вирішення таких проблем, як звільнення трубопроводу від ґрунту пов'язано з значними затратами, оскільки для цього потрібне додаткове обладнання та підготовка поверхні трубопроводу для проведення контролю його технічного стану. Інтерес в зв'язку з цим представляє можливість визначення місць шурфування магістральних трубопроводів та вибір точок проведення контролю на поверхні трубопроводу, що суттєво підвищує продуктивність виконання робіт.

Фізичним параметром, що відповідає величині фактичних напружень в досліджуваному металі є швидкість поширення ультразвукових коливань:

$$\sigma = f(\Delta v), \quad (1)$$

де σ – напруження визначене ультразвуковим методом;

$f(\Delta v)$ – функція різниці швидкості поширення ультразвукової хвилі в ненапруженому зразку та досліджуваному об'єкті.

Розроблена математична модель визначення напружень при використанні поздовжньої ультразвукової хвилі, що поширюється в деформованому середовищі описана в [5], в результаті отримано рівняння акустопружності для проведення контролю плоского напружено-деформованого стану металу стінки трубопроводу наступного виду:

$$\left. \frac{\Delta v_{вим}}{v_0} \right|_{\perp ij} = A_i \sigma_{ii} + A_j \sigma_{jj}, \quad (2)$$

де $\Delta v_{вим}$ – виміряна зміна швидкості поширення ультразвукової поздовжньої хвилі в напружено-деформованому середовищі відносно швидкості поширення ультразвукової поздовжньої хвилі в ненапруженому середовищі;

v_0 – швидкість поширення ультразвукової поздовжньої хвилі в ненапруженому середовищі;

σ_{ii}, σ_{jj} – величини напружень;

A_i, A_j – акустопружні коефіцієнти, які визначаються експериментально для конкретної марки сталі методом одноосних випробувань на розтяг;

i, j – індекси координатних осей X, Y, Z .

На практиці, зокрема при виконанні ремонтних робіт на ділянках підземної частини трубопроводів, крім величини сумарного напруження в стінках трубопроводів необхідно знати та враховувати ще й величини головних векторів напружень, за якими можна визначати напрям дії зусиль, що діють на трубопровід. Для визначення напружень у стінці металу трубопроводу в околі однієї точки контролю в трьох взаємно перпендикулярних напрямках розглянуто трьохосний напружений стан. Враховано, що осі Декартової системи координат співпадають з головними осями симетрії трубопроводу, як показано на рис. 1.

Використовуючи методи тензорного числення [6] до (2) отримано аналітичну залежність, яка пов'язує величину напружень в середовищі поширення ультразвукових поздовжніх хвиль в околі точки

контролю в трьох напрямках, які співпадають з напрямками головних осей трубопроводу зі зміною величини їх швидкості:

$$\left. \frac{\Delta v_{вим}}{v_0} \right|_{xz} = A_x \sigma_{xx} + A_z \sigma_{zz},$$

$$\left. \frac{\Delta v_{вим}}{v_0^*} \right|_{yx} = 1,4142 (A_{x1} \sigma_{xx} + A_{z1} \sigma_{zz}), \quad (3)$$

$$\left. \frac{\Delta v_{вим}}{v_0^*} \right|_{yz} = 1,4142 (A_{y2} \sigma_{yy} + A_{z2} \sigma_{zz}).$$

де $\Delta v_{вим}$ – виміряна зміна швидкості поширення ультразвукової поздовжньої хвилі в середовищі з прикладеним навантаженням у напрямках осей X, Y, Z ;

v_0^*, v_0 – відповідно швидкість поширення ультразвукової поздовжньої хвилі в середовищі в ненапруженому стані у цих напрямках;

$A_x, A_z, A_{x1}, A_{z1}, A_{y2}, A_{z2}$ – акустопружні коефіцієнти, що визначаються відповідно у нормальній площині XZ до напрямку прикладання зусилля та під кутом α до площин YX та YZ [7].

При виведенні системи рівнянь враховано, як видно з рис. 1, що перше рівняння описує поширення ультразвукової хвилі нормально до площини XZ , два наступні описують поширення хвилі під однаковими кутами до площин YX та YZ . Таким чином, за допомогою системи ультразвукових давачів [8] можна визначати швидкість поширення поздовжніх ультразвукових коливань у трьох площинах, що, в свою чергу, дає можливість визначати величину головних напружень відносно трьох осей.

Для визначення місця прикладання зусилля по околу труби та вздовж неї, а також інтенсивність дії зусилля одного вимірювання є недостатньо. З цієї метою необхідно збільшити кількість точок контролю по колу труби і по довжині. Збільшення кількості точок повинно бути обґрунтованим, оскільки кожне додаткове вимірювання збільшує час проведення контролю.

Кількість точок контролю як по околу труби, так і вздовж неї визначається із рівняння опису розподілу напружень. Слід зауважити, що подальший алгоритм визначення місця прикладання зусиль на ділянці трубопроводу є аналогічним, як при розгляді по околу труби, так і вздовж ділянки трубопроводу. Дві точки контролю описують лінійний закон розподілу напружень. Незважаючи на те, що цей закон дозволяє мінімізувати кількість точок по околу труби, лінійний опис напружень не дозволяє визначити місце максимального напруження, що відповідає місцю прикладання зусилля. В результаті аналізу місць дії зусиль, які є причиною розподілу напружень, встановлено, що кількість точок контролю повинно бути не менша трьох, де в крайніх точках повинні бути напруження меншої величини ніж в центральній. На вибраній ділянці, рис. 2, для визначення розподілу напружень за трьома точками отримані результати апроксимуються параболічним рівнянням:

$$\sigma(x) = ax^2 + bx + c, \quad (4)$$

де $\sigma(x)$ – функція, що описує розподіл напружень по околу труби;

x – координата по околу труби в діапазоні довжини вибраної ділянки;

a, b, c – коефіцієнти апроксимаційного рівняння.

Коефіцієнти, що використовуються в (4), визначаються на основі матричного числення:

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x_1^2 & x_1 & 1 \\ x_2^2 & x_2 & 1 \\ x_3^2 & x_3 & 1 \end{pmatrix}^{-1}, \quad (5)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – значення еквівалентних напружень у точках контролю;

x_1, x_2, x_3 – координати точок контролю по околу труби.

Як видно з рис. 2, ділянка контролю по околу труби повинна бути такою, яка б не дала змогу

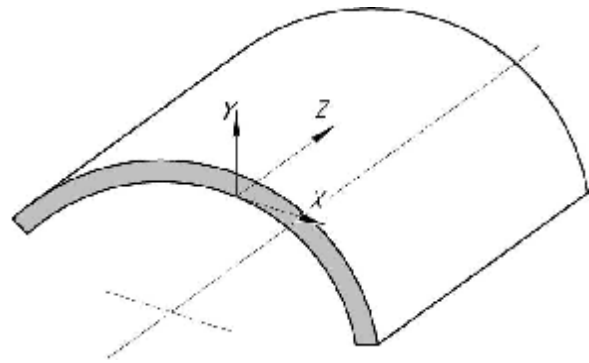


Рис. 1. Елемент поверхні труби

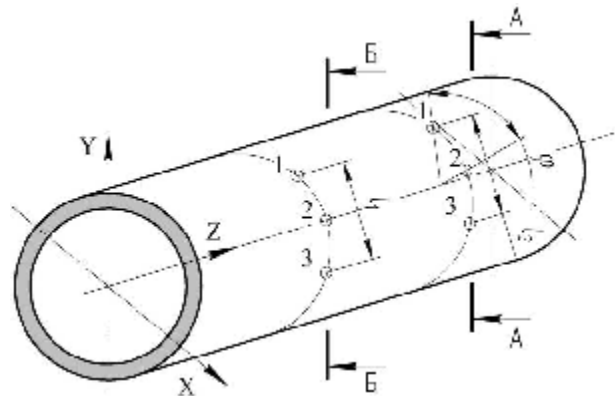


Рис. 2. Вибір точок контролю напружень: 1, 2, 3 – відповідно точки контролю напружень у перерізах А-А та Б-Б; l_1, l_2 – відрізки контролю; ϕ – кут між двома сусідніми точками контролю в напрямку по околу труби

пропустити зміну характеру дії зовнішнього зусилля. Проте її мінімальні розміри повинні задовольняти умові зміни напружень. Ці умови задають оптимальний діапазон величини ділянки контролю в межах від 1/8-ї до 1/4-ї довжини твірної по околу трубопроводу.

Рівняння (4) не може точно екстрапольовати величину напружень на значній віддалі від точок контролю. Вважаємо, що ефективна довжина відрізка екстраполяції складає:

$$x_3 - x_1 \pm (x_3 - x_1)/2 . \quad (6)$$

Екстраполяцію за межами ділянки контролю ефективніше оцінювати за результатами аналізу швидкості зміни напружень на відрізку контролю. Цього можна досягти визначивши похідну із апроксимаційного рівняння (4):

$$\frac{d\sigma(x)}{dx} = 2ax + b . \quad (7)$$

З (7) видно, що швидкість зміни напружень визначається коефіцієнтом $2a$. Чим більше значення цього коефіцієнту, тим ближче місце концентрації напружень до вибраного відрізка проведення контролю по околу труби.

Точність визначення місця максимальних напружень по околу труби залежатиме як від довжини ділянки контролю, так і від близькості цього місця до неї. З аналізу (7) встановлено три випадки розподілу напружень:

- а) якщо $2a \approx 0$, то напруження є рівнорозподіленими по околу труби, місця їх концентрації не має;
- б) якщо $2a \gg 0$, то максимальні напруження знаходяться в напрямку від координати x_1 до x_3 ;
- в) якщо $2a \ll 0$, то максимальні напруження знаходяться в напрямку від координати x_3 до x_1 .

Очевидно, що максимальної точності досягається у випадку, коли довжина відрізка (6) дорівнює довжині околу труби. Проте, таку умову не практично реалізувати в натурних умовах проведення ремонтних робіт чи експлуатації трубопроводів. Для вирішення умови точного визначення місця дії максимальних напружень необхідно розв'язати задачу оптимізації, яка полягає в тому, щоб знайти мінімальне значення різниці між екстрапольованими напруженнями та дійсними при цьому отримати максимальне значення відношення довжини відрізка контролю до довжини околу труби, тобто:

$$\begin{cases} \Delta\sigma \rightarrow \min, \\ L_{\epsilon}/L_{\text{отр}} \rightarrow \max, \end{cases} \quad (8)$$

де $\Delta\sigma$ – різниця між екстрапольованими напруженнями та дійсними;

L_{ϵ} – довжина відрізка контролю;

$L_{\text{отр}}$ – довжина околу труби.

Розв'язок (8) необхідно проводити для кожного окремого випадку, враховуючи умови доступу до труби.

Для оцінки віддалі максимального напруження від відрізка контролю вводиться коефіцієнт віддалі k_{ϵ} :

$$k_{\epsilon} = \frac{L_{\epsilon}}{2aL_{\text{отр}}}, \quad a \neq 0 . \quad (9)$$

Аналізуючи (9) приходимо до висновку, що при однаковій довжині відрізка контролю зі збільшенням швидкості наростання величини напружень k_{ϵ} буде прямувати до мінімального значення.

Враховуючи (3)–(9) отримаємо математичну модель визначення місця прикладання зусиль як по околу труби, так і вздовж неї:

$$\begin{aligned} \left. \frac{\Delta v_{\text{вум}}}{v_0} \right|_{xz} &= A_x \sigma_{xx} + A_z \sigma_{zz}, \\ \left. \frac{\Delta v_{\text{вум}}}{v_0^*} \right|_{yx} &= 1,4142 (A_{x_1} \sigma_{xx} + A_{z_1} \sigma_{zz}), \\ \left. \frac{\Delta v_{\text{вум}}}{v_0^*} \right|_{yz} &= 1,4142 (A_{y_2} \sigma_{yy} + A_{z_2} \sigma_{zz}); \end{aligned} \quad (10)$$

$$\sigma_i(x_i) = ax_i^2 + bx_i + c ;$$

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x_1^2 & x_1 & 1 \\ x_2^2 & x_2 & 1 \\ x_3^2 & x_3 & 1 \end{pmatrix}^{-1} .$$

Якщо $a \approx 0$, то $\sigma_i = const$;

якщо $2a \gg 0$, то $\sigma = F(k_g)$ в напрямку $x_1 \rightarrow x_3$;

якщо $2a \ll 0$, то $\sigma = F(k_g)$ в напрямку $x_3 \rightarrow x_1$.

Отже, виявити дійсний розподіл діючих у стінці трубопроводу напружень на ремонтній ділянці можна, провівши відповідні заміри як по околу труби, так і вздовж її вісі у певних перерізах, при цьому звільнивши від ґрунту верхню твірну труби, шляхом шурфування.

Висновки

Розроблена і описана математична модель визначення складових напружень в стінці металу трубопроводу в трьох взаємно перпендикулярних напрямках дає можливість знайти найбільш небезпечні перерізи ремонтної ділянки трубопроводу та визначити місце дії зусиль, які впливають на трубопровід на ремонтних ділянках при звільненні від ґрунту верхньої твірної труби шляхом шурфування. Дані залежності дають можливість оптимізувати проведення ремонтно-відновлюваних робіт, забезпечивши при цьому цілісність конструкції трубопроводу.

Література

1. Аварийно-восстановительный ремонт магистральных нефтепроводов / [А.Г. Гумеров, Х.А. Азметов, Р.С. Гумеров, М.Г. Векштейн]; за ред. А.Г. Гумерова. – М.: Недра, 1998. – 271 с. – ISBN 5-247-038193.
2. Лютак І.З. Ультразвуковий контроль параметрів технічного стану магистральних трубопроводів / І.З. Лютак, І.С. Кісіль. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. – 285 с. – ISBN:978-9-666941-25-4.
3. Головкина Е. «Дефектоскопия-2006». Круглый стол – площадка для профессионального общения / Е. Головкина // Материалы конференции «Дефектоскопия-2006». – СПб, 2006.
4. Семенен М.М. Акустичний контроль складних ділянок газопроводу в осесиметричному напруженому стані / М.М. Семенен, З.П. Лютак // Наукові вісті галицької академії. – 2007. – № 1 (11). – С. 152–158.
5. Семенен М.М. Визначення напружено-деформованого стану трубопроводів на ремонтних ділянках / М.М. Семенен, З.П. Лютак // Методи та прилади контролю якості. – 2008. – № 21. – С. 43–47. – ISSN 1993-9981.
6. Димитриенко Ю.И. Тензорное исчисление / Димитриенко Ю.И. – М.: Высшая школа, 2001. – 575 с. – ISBN 5-06-004155-7.
7. Семенен М.М. Дослідження напружено-деформованого стану газопроводів акустичним методом / М.М. Семенен, З.П. Лютак // Вісник хмельницького національного університету – 2010. – № 3 (155). – С. 52–55.
8. Семенен М.М. Метод акустичного контролю напруженого стану ремонтних ділянок трубопроводу / М.М. Семенен // Неруйнівний контроль та технічна діагностика: нац. наук.-техн. конф. і виставка, Київ, 9–12 червня 2009 р.: тези доп. і повідомл. – К., 2009. – С. 323–326.

Надійшла 18.6.2012 р.

Рецензент: д.т.н. Кісіль І.С.

УДК 621.762.2

Т.Н. ГАЛЬЧУК

Луцький національний технічний університет

ВДОСКОНАЛЕНА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ПЕРЕРОБКИ ШЛАМОВИХ ВІДХОДІВ МАШИНОБУДУВАННЯ

Запропонована дослідно-промислова технологія переробки шламів шліфувального виробництва підшипників для отримання порошкового матеріалу з наступним використанням у машинобудівному виробництві.

The proposed research and industrial technology of recycling sludge from grinding of bearings for producing powder material with subsequent use in machine tool production.

Ключові слова: технологія, шлам, металевий порошок, подрібнення, машинобудування.

Вступ

Виробництво, що пов'язане з обробкою металів, супроводжується процесами утворення великої кількості відходів у вигляді окалини, стружки, шламів. У виробничій практиці, останнім часом, успішно застосовується різні технологічні прийоми для утилізації та переробки відходів машинобудівного виробництва. Однак, всі вони відносяться до витратних, супроводжуються великою енергоємністю, а якість отриманих матеріалів із відходів не відповідає вимогам існуючих стандартів. Особливо складним видом відходів є шліфувальний шлам, що складається з дрібної металевої стружки, абразиву, технічних масел, мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) тощо. У зв'язку з значною кількістю в металовмісних відходах