

УДК 620.179.2

ОЦІНКА ВПЛИВУ КОНТАКТНОГО ШАРУ РІДИНИ НА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРУБНИХ СТАЛЕЙ АКУСТИЧНИМ МЕТОДОМ

© Лютак І. З., Кісіль І. С., 2002

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Досліджено вплив параметрів контактної шару рідини при проходженні акустичного сигналу через стінку металу. Розроблена математична модель контактної шару.

На даний час при підвищенні точності контролю технічного стану трубопроводів з використанням ультразвукових перетворювачів постає питання оцінки похибок, які пов'язані із впливом контактної шару рідини із-за нерівностей поверхонь контакту хвилеводу та досліджуваного тіла на проходження пружних коливань.

Розглянемо математичну модель контактної шару, яка повинна враховувати мікрогеометрію поверхонь контакту. Розіб'ємо контактний шар на N горизонтальних рівнів, що паралельні границі контакту. Відстань між рівнями виберемо рівною Δd (рис. 1). Виділимо ділянки шару по довжині, що заповнені рідиною, які створюють акустичний контакт і мають однакові товщини $d_j \pm \Delta d$, які вибрані певним чином ($j=1, \dots, n$).

Ймовірність існування в контактному шарі ділянок, які мають однакову товщину $d_j \pm \Delta d$ визначається відношенням суми їх довжин до довжини границі контакту. Тоді реальну контактну поверхню можна представити в вигляді шару, заповненого рідиною, який складається із плоскопаралельних ділянок з різною товщиною. Довжина кожної ділянки моделі чисельно дорівнює сумарній ймовірності існування в реальному шарі ділянок з такою ж товщиною. Точність відображення моделлю реального контактної шару прямо пропорційна числу горизонтальних рівнів, на які розбивається шар при побудові моделі.

Модель контактної шару можна побудувати, розбиваючи на горизонтальні рівні поверхні контакту. Проте отримання профілограми і подальша робота з нею займає доволі багато часу. Моделювання значно спрощується, якщо відомий метод і клас обробки поверхонь контакту.

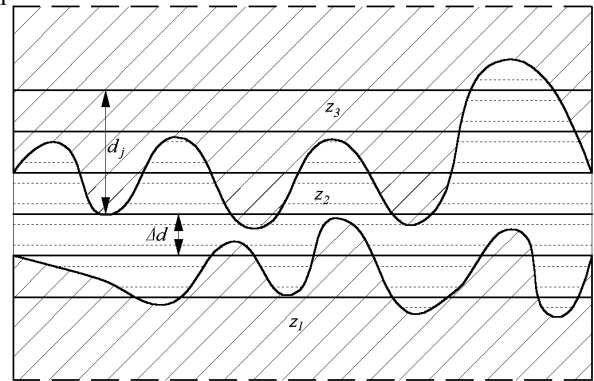
Нехай відомий метод обробки поверхонь контакту. Розглянемо контактний шар, що утворений при контакті гладкої поверхні з поверхнею, що має нерівності. Розподіл нерівностей матеріалу в контактному шарі, а отже, розподіл в моделі ділянок, які заповнені рідиною, залежить від методу обробки досліджуваної поверхні. Поверхні виробів, що оброблені поліруванням чи шліфуванням мають нерегулярні не-

рівності і розподілені за нормальним законом. При грубій механічній обробці поверхню можна розглядати як періодичну нерівність синусоїдальної форми. Нерівності такої поверхні можуть бути описані гармонійним законом розподілу. Для побудови моделі визначимо ймовірність $\bar{P}(d_j)$ існування на j -му рівні рідини, яка створює акустичний контакт. При нормальному законі розподілу нерівностей отримуємо (рис. 2)

$$\bar{P}(d_j) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{s_j} e^{-\frac{s^2}{2}} ds, \quad (1)$$

де $s_j = \frac{H_{\max} - 2d_j}{H_{\text{ск}}}$, H_{\max} – максимальна висота нерівностей, $H_{\text{ск}}$ – середня квадратична висота нерівностей, d_j – відстань від границі контакту до j -го рівня.

рис. 2



z_1, z_2, z_3 – імпеданси для плоскої хвилі відповідно тіла, яке приймає пружні коливання, речовини, що створює акустичний контакт і тіла, з якого передаються акустичні коливання; Δd – відстань між рівнями; d_j – відстань від границі контакту до j -го рівня

Рис. 1. Модель контактної шару

Розглянемо контакт двох поверхонь, що мають нерівності. Такий контакт можна замінити на еквівалентний контакт двох поверхонь, який складається із гладкої поверхні та поверхні з приведеними

нерівностями [1]. Розподіл нерівностей матеріалу в контактному шарі повинен бути однаковим як в контакті з двома поверхнями, що мають нерівності, так і в еквівалентному (рис. 3).

При нормальному законі розподілу нерівностей поверхонь контакту еквівалентна поверхня також буде відповідати нормальному закону розподілу. Отже, максимальна та середня квадратична висоти нерівностей еквівалентних поверхонь будуть відповідно такими:

$$\begin{aligned} H_{\max}^{екв} &= H_{\max 1} + H_{\max 2}, \\ H_{СК}^{екв} &= \sqrt{H_{СК1}^2 + H_{СК2}^2}, \end{aligned} \quad (2)$$

де $H_{\max 1}, H_{\max 2}, H_{СК1}, H_{СК2}$ – відповідно максимальні та середні квадратичні висоти нерівностей поверхонь контакту.

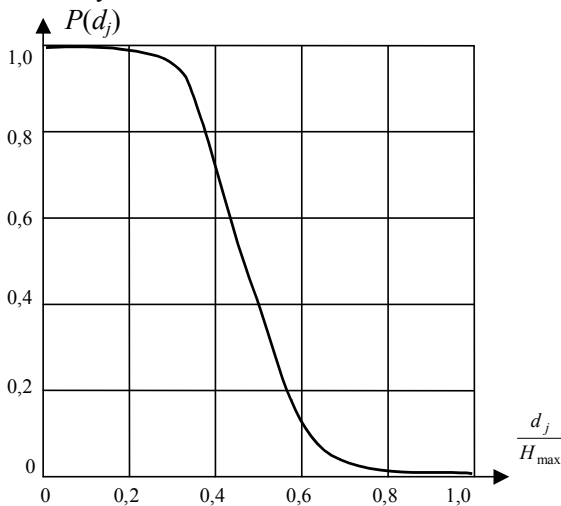


Рис. 2. Нормальний розподіл нерівностей в контактному шарі

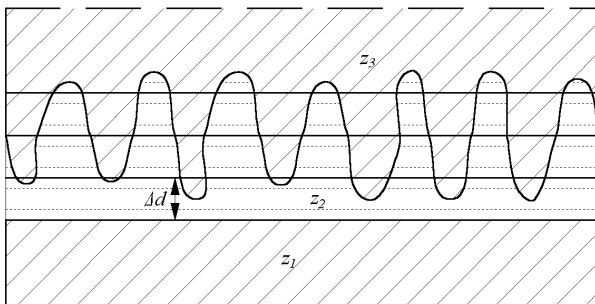


Рис. 3. Модель еквівалентного контактного шару

В цьому випадку для побудови моделі контактного шару можна використати формулу (1), прийнявши, що

$$s_j = \frac{H_{\max}^{екв} - 2d_j}{H_{СК}^{екв}}. \quad (3)$$

Нехай тепер крім методу обробки поверхні відомо клас чистоти поверхонь контакту. Згідно [2] приймемо, що

$$H_{\max} = 6H_{СК}, \quad \lg H_{\max} = 0,79 + 0,98R_a, \quad (4)$$

де R_a – константа, яка залежить від класу шорохуватості поверхні.

Ймовірність існування в контактному шарі заповнених рідиною ділянок, що мають однакову товщину d_j , дорівнює різниці ймовірностей існування рідини на j -му та $j+1$ -му рівнях, які розташовані відповідно від границі контакту на відстані d_j та $d_j \pm \Delta d$.

Тепер контактний шар можна змодельовати шаром, який складається із плоскопаралельних ділянок, кожна з яких має визначену товщину d_j і довжину L_j , яка чисельно рівна різниці ймовірностей $\bar{P}(d_j)$ та $\bar{P}(d_{j+1})$. Причому число таких ділянок рівне числу розбиттів контактного шару на горизонтальні рівні. Наприклад, для нормального закону розподілу нерівностей в контактному шарі

$$L_j = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{s_j} e^{-\frac{s^2}{2}} ds - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{s_{j+1}} e^{-\frac{s^2}{2}} ds. \quad (5)$$

Таким чином, при відомих методах обробки і класах чистоти поверхонь контакту, тобто при відомих видах розподілу нерівностей і величинах R_a або H_{\max} , модель контактного шару може бути побудована без експериментального вивчення поверхонь контакту.

Скористаємось моделлю контактного шару для дослідженні його впливу на передачу пружних коливань. Розв'язок шукатимемо в геометричному наближенні при виконанні наступних умов:

- поверхні контакту мають плавні нерівності;
- хвильове поле досліджується в зоні Фраунгофера, коли точка спостереження достатньо віддалена від контактного шару, тобто накладання фаз від різних плоскопаралельних ділянок до точки спостереження є однаковим.

Дві ці умови, як правило, виконуються при експериментальних дослідженнях стінок трубопроводів.

Нехай на контактний шар падає нормально плоска хвиля:

$$P_{над} = P_0 e^{i(K_3 z - \omega \cdot s)}, \quad (6)$$

де P_0 – амплітуда хвилі; $K_3 = 2\pi / \lambda_3$ – хвильове число; λ_3 – довжина хвилі пружних коливань в тілі, із якого падає хвиля.

Вирази для пройдені і відбиті хвиль за аналогією для проходження хвиль через плоскопаралельний шар з врахуванням нерівностей контактної поверхні запишемо наступним чином:

$$\begin{aligned} P_{пройд} &= \bar{C} P_0 e^{i(K_1 z - \omega \cdot s)}, \\ P_{відб} &= \bar{D} P_0 e^{i(K_1 z - \omega \cdot s)}, \end{aligned} \quad (7)$$

де $K_1 = 2\pi / \lambda_1$; λ_1 – довжина хвилі пружних коли-

вань в тілі, на яке падає хвиля; \bar{C} та \bar{D} - відповідно усереднені коефіцієнти проходження і відбиття, що враховують мікрогеометрію поверхонь контакту.

Отже, задача врахування впливу контактного шару на розповсюдження пружних коливань полягає в розрахунку коефіцієнтів \bar{C} та \bar{D} .

Для розрахунку припустимо, що нам відомі коефіцієнти проходження і відбиття кожної ділянки шару C_j та D_j . Вони можуть бути визначені за відомими формулами для плоскопаралельного шару [1]:

$$C_j = \frac{4z_1z_2}{(z_1 - z_2)(z_2 - z_3)e^{iK_2d_j} + (z_1 + z_2)(z_2 + z_3)e^{iK_2d_j}},$$

$$D_j = \frac{(z_1 + z_2)(z_2 + z_3)e^{iK_2d_j} + (z_1 + z_2)(z_2 + z_3)e^{iK_2d_j}}{(z_1 + z_2)(z_2 + z_3)e^{iK_2d_j} + (z_1 - z_2)(z_2 - z_3)e^{iK_2d_j}},$$
(8)

де $K_2 = 2\pi / \lambda_2$, λ_2 - довжина пружної хвилі в речовині, що створює акустичний контакт.

Розподіл нерівностей в поверхнях контакту має випадковий характер, а отже розподіл ділянок в моделі також є випадковим. Тоді коефіцієнти відбиття і проходження можна розрахувати, скориставшись відомою формулою теорії ймовірності для середнього значення дискретної випадкової величини:

$$\bar{C} = \sum_{j=1}^N C_j \bar{P}(C_j),$$

$$\bar{D} = \sum_{j=1}^N D_j \bar{P}(D_j),$$
(9)

де $\bar{P}(C_j)$ та $\bar{P}(D_j)$ - ймовірності існування в контактному шарі ділянок, що мають відповідно коефіцієнт проходження C_j і коефіцієнт відбиття D_j .

Повертаючись до моделі шару, відмітимо, що ймовірність існування плоскопаралельної ділянки з коефіцієнтами C_j та D_j є не що інше, як ймовірність існування ділянки шару з довжиною L_j , оскільки сума цих коефіцієнтів завжди дорівнює одиниці, тобто

$$\bar{P}(C_j) \equiv \bar{P}(D_j) = L_j. \quad (10)$$

Звідси

$$\bar{C} = \sum_{j=1}^N C_j L_j = \sum_{j=1}^N |C_j| e^{i\varphi_j} L_j,$$

$$\bar{D} = \sum_{j=1}^N D_j L_j = \sum_{j=1}^N |D_j| e^{i\psi_j} L_j,$$
(11)

де $\varphi_j = \arctg \frac{\text{Im} C_j}{\text{Re} C_j}$, $\psi_j = \arctg \frac{\text{Im} D_j}{\text{Re} D_j}$ - відповідно

фази коефіцієнтів проходження і відбиття.

Отже, коефіцієнти проходження і відбиття, що враховують мікрогеометрію поверхонь контакту, відповідно дорівнюють сумі коефіцієнтів проходження чи відбиття від всіх можливих плоскопаралельних ділянок моделі шару, помножених на відповідні довжини цих ділянок.

Нами досліджено коефіцієнт проходження при поширенні поздовжньої хвилі ультразвуку частотою 5 МГц за модулем і фазою (матеріал хвилеводу досліджуваного об'єкту - сталь Ст20, з якої виготовлені трубопроводи автомобільних газонаповнюючих компресорних станцій (АГНКС), контактна рідина - трансформаторне масло) табл. 1.

Таблиця 1 - Еквівалентна товщина плоскопаралельного шару при нормальному законі розподілу.

H_{\max} / λ_2	$ \bar{C} $	$\frac{\sum_{j=1}^N \varphi_j}{N}$
0,05	2,1	2,3
0,10	2,1	2,7
0,15	2,2	3,3
0,20	2,2	3,9
0,25	2,2	2,9
0,30	2,1	2,3
0,35	2,1	2,1
0,40	2,1	1,9

З табл. 1 видно, що еквівалентна товщина шару, яка визначена за модулем або за фазою коефіцієнта проходження, має різну величину і змінюється при зміні чистоти поверхні, частоти ультразвуку і методу обробки поверхні контакту.

При луно-імпульсному методі вимірюванні швидкості ультразвуку фаза коефіцієнтів проходження і відбиття впливає на точність вимірювання. Оцінимо похибки, що будуть мати місце при запропонованій моделі, приймаючи до уваги, що плоскопаралельний шар має товщину, яка дорівнює півсумі висот нерівностей.

В ідеальному випадку поверхні перетворювача і досліджуваного металу є гладкими і тому час проходження коливань через контактний шар буде мати форму прямої лінії 1, кут нахилу якої залежить від типу рідини (рис. 4) [3].

З врахуванням нерівностей поверхонь контакту виникає додаткова похибка, викликана фазовими зміщеннями хвилі.

Похибка, з врахуванням вищевказаного, визначається часом проходження коливань через контактний шар, тобто

$$\Delta t = \frac{\bar{\varphi}}{2\pi f} = \frac{1}{2\pi f} \arctg \frac{\text{Im} \bar{C}}{\text{Re} \bar{C}}, \quad (12)$$

де f - частота коливань, $\bar{\varphi} = \frac{\sum_{j=1}^N \varphi_j}{N}$ - середнє значення фази коефіцієнта проходження плоскопаралельного шару.

Як приклад на рис. 4 (крива 2) приведені результати розрахунку сталюого хвилеводу, який контактує із кварцовим перетворювачем ($z_3 = 13,0 \cdot 10^6$ кг/(м²с), частота коливань $f=5$ МГц, поверхні контакту оброблені за 7 класом точності, довжина зразка 100 мм).

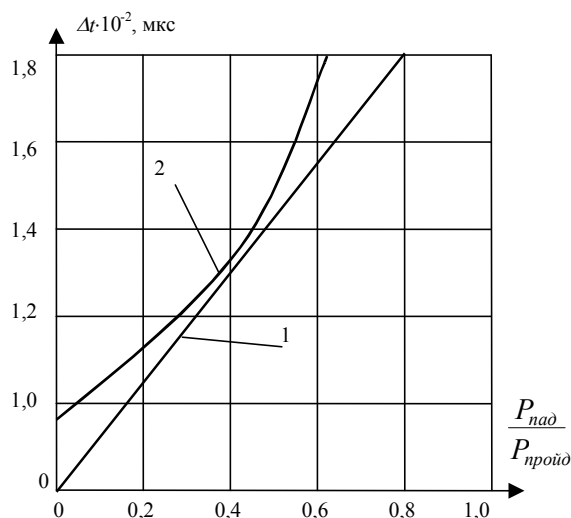


Рис. 4. Похибка вимірювання часу проходження пружних коливань в об'єкті контролю

Із приведених графіків видно, що різниця між похибками, яка визначена з врахуванням мікрогеометрії поверхонь контакту і оцінена за затримкою в плоскопаралельному шарі, складає в середньому $1,6 \cdot 10^{-3}$ мкс. Це важливо при визначенні напружено деформованого стану трубопроводів АГНКС. Набуті деформації трубопроводу під дією зовнішніх факторів (просідання фундаментів, температурні деформації, тощо) приводять до зміни параметрів металу на мікроструктурному рівні, які впливають на зміну швидкості ультразвуку. Врахування затримки в контактному шарі може підвищити абсолютну точність вимірювання швидкості ультразвуку для стінок трубопроводу товщиною 4...10 мм, які використовуються на (АГНКС), в середньому на $\pm 0,004$ %.

1. Демкин Н. Б. *Контактирование шероховатых поверхностей*. - М.: Наука, 1974. - 227 с. 2. Бреховских Л. М. *Волны в слоистых средах*. - М.: Наука, 1983. - 343 с. 3. Королев М. В. *Широкополосные ультразвуковые пьезопреобразователи*. - М.: Машиностроение, 1986. - 156 с.

УДК 631.413.6

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ІНТЕНСИВНИХ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ КОМПЛЕКСНИХ ДІАГНОСТИЧНИХ ОБСТЕЖЕННЯХ КОРОЗІЙНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

© Медведик О. В., 2002

ДП "Укрортехдіагностика", м. Львів

Описано методику проведення інтенсивних вимірювань потенціалів в процесі роботи систем захисту підземних нафтогазопроводів від корозії з використанням відповідної вітчизняної вимірювальної техніки.

Забезпечення надійної та довготривалої роботи трубопроводних транспортних систем досягається проведенням періодичних обстежень корозійного стану трубопроводів та технологічно зв'язаних із ним споруд.

Загальна довжина українських магістральних трубопроводів становить більше 40 тис. км в тому числі магістральних газопроводів – 34 тис. км, нафтопроводів – 4,5 тис. км. Станом на 2000 р. – 40 % трубопроводів експлуатуються менше 16 років, 30 % - від 16 до 25 років; 15 % - від 25 до 32 років; 15 % - більше 32 років. Діагностика трубопроводних систем на даний час має принципово важливе значення у зв'язку з тим, що стає головним джерелом інформації про технічний стан та про ті процеси, що проходять у трубопроводних системах: корозійні, вібраційні, деформаційні, температурні.

Існують як наземні, так і внутрішньотрунні методи діагностувань, які при комплексному прове-

денні дають більш повну картину технічного стану трубопроводу.

Істотною перешкодою до широкого використання методу внутрішньотрубної дефектоскопії є його висока вартість (3...4 тис. доларів США за 1 км), відсутність камер пуску та прийому поршня на трубопроводах діаметром менше 700 мм, які збудовані за нормами проектування до 1970 р., та ряд інших факторів. Через високу вартість його рекомендують проводити 1-2 рази за весь період функціонування трубопроводу.

Крім того, даний метод не дає інформації про стан електрохімічного захисту та стан протикорозійного ізоляційного покриття.

Найбільш доступним і поширеним являється метод наземних діагностувань. Він оснований на визначенні методами електрометрії: стану засобів електрохімічного захисту, стану протикорозійного ізоляційного покриття, рівня захисного потенціалу,