

ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ДОВГОТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

© Карпаш М.О., Доценко Є.Р., 2007

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Запропоновано новий підхід до розрахунку інформативного параметру, який характеризує теплопровідність. Даний параметр в комплексі із твердістю використовується для визначення фактичних фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкцій довготривалої експлуатації. Запропоновано удосконалений нейромережевий підхід для визначення межі текучості матеріалу. Описані результати експериментальних досліджень на зразках матеріалу магістральних трубопроводів

Питання достовірного визначення фактичного стану металоконструкцій довготривалої експлуатації в базових галузях вітчизняної промисловості нерозривно пов'язане із визначенням фактичних фізико-механічних характеристик матеріалу таких конструкцій неруйнівними методами [1].

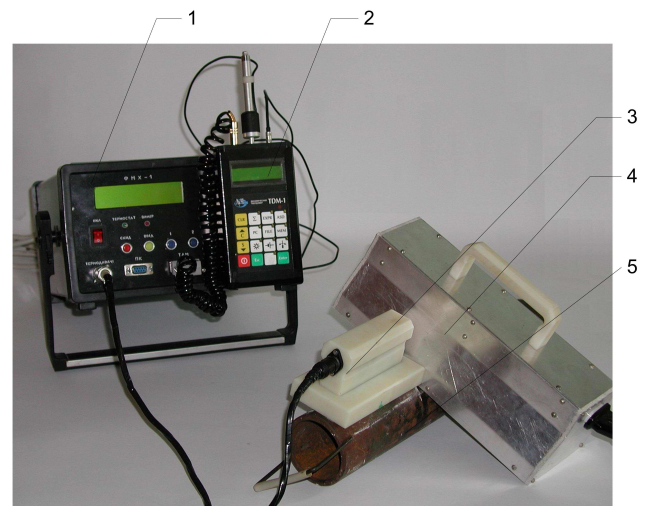
Раніше був запропонований метод для визначення фізико-механічних характеристик [2], який полягає у вимірюванні твердості та параметру, який характеризує теплопровідність [3] та їх використання для розрахунку значень межі текучості/міцності за допомогою штучних нейронних мереж. Було також розроблено прилад ФМХ-1 для реалізації запропонованого методу [4].

Загальний вигляд експериментального зрізця приладу ФМХ-1 показаний на рис. 1.

Промислову апробацію розроблених методу та технічного засобу було здійснено на зразках магістральних трубопроводів із різним терміном експлуатації [5]. Результати апробації загалом були оцінені як успішні. Проте, було відзначено ряд недоліків: незадовільна повторюваність, неадекватність алгоритму обробки даних фізичному процесу переносу тепла в об'єкті контролю.

Дана робота націлена на усунення цих недоліків шляхом удосконалення алгоритму розрахунку інформативного параметру та обробки вимірювальної інформації.

На теоретичному рівні перша частина поставленого завдання зводиться до зміни алгоритму розрахунку інформативного параметру, який дозволив би підвищити повторюваність результатів вимірювання теплопровідності та збільшити коефіцієнт кореляції з дійсними значеннями межі текучості матеріалу об'єкта контролю.



1 – блок обробки інформації; 2 – твердомір ТДМ-1; 3 – блок термодавачів; 4 – блок нагрівача; 5 – об'єкт контролю (зрізець насосно-компресорної труби)

Рис. 1. Комплект установки ФМХ-1

Фізична суть інформативного параметра – це кількість тепла, що проходить за одиницю часу через певний переріз об'єкта контролю.

Виходячи із теоретичних основ процесу теплопереносу [6] було запропоновано використання наступної залежності для теплового потоку q , що проходить через поперечний переріз об'єкта:

$$q = |\text{grad}T| \cdot \lambda, \quad (1)$$

де $\text{grad}T$ – градієнт температури теплового поля, що поширюється в об'єкті контролю; λ – коефіцієнт теплопровідності.

З формули (1) легко визначити теплопровідність:

$$\lambda = \frac{q}{|\text{grad}T|}. \quad (2)$$

На рис. 2 зображено графіки зростання температури при нагріванні в шести точках, розташованих в лінію з кроком в 1 см і вимірних за допомогою приладу ФМХ-1 [7]. За допомогою виразу (2) можна визначити теплопровідність, користуючись рис.2, який відображає характер поширення тепла по поверхні об'єкта контролю.

Гradient температури $\text{grad}T$ може бути визначений як різниця температур в крайніх точках x_0 та x_5 (відстань між ними складає 5 см), тобто як довжина відрізка FE на рис.2.

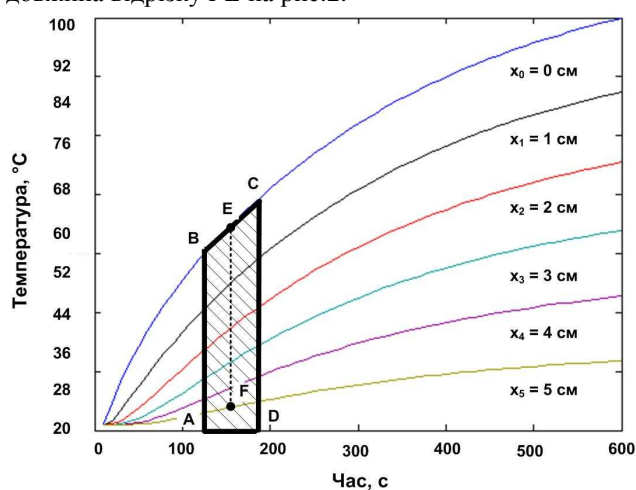


Рис. 2. Зміна температури поверхні об'єкта контролю в часі в шести точках з кроком 1 см

Інформативний параметр, який характеризує теплопровідність M , може бути визначений як відношення площі $ABCD$ до довжини відрізка FE .

Керуючись приведеними міркуваннями, було змінено алгоритм роботи приладу ФМХ-1 і проведено серію експериментальних досліджень, які підтверджували висунуті припущення.

Перша стадія експериментальних досліджень була виконана на трьох зразках (рис.3), виготовлених із сталі марки 17ГС (згідно ГОСТ 19282-73), кожен із яких мав різну товщину (11,8мм, 18,6мм та 23,5мм).

Метою таких досліджень було встановлення повторюваності результатів вимірювання інформативного параметра, який характеризує теплопровідність, а також наявності та характеру його залежності від товщини об'єктів контролю.

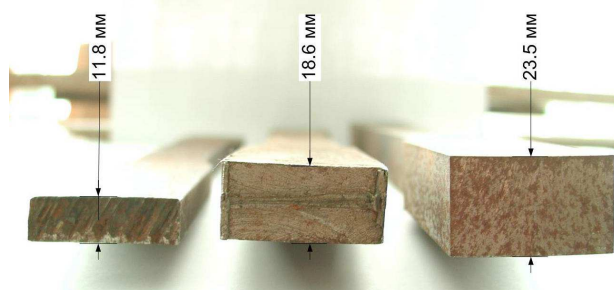


Рис. 3. Зразки об'єктів контролю, які використовувались при проведенні експериментальних досліджень

Результати експериментальних досліджень приведені в табл. 1

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень

№ п/п	Зразок 1 (h=11,8 мм), у.о.	Зразок 2 (h=18,6 мм), у.о.	Зразок 3 (h=23,5 мм), у.о.
1	186,22	194,25	217,31
2	186,13	197,28	214,58
3	182,82	196,62	202,34
4	179,54	197,58	207,44
5	186,67	204,92	208,75
6	189,89	200,05	213,66
7	191,65	194,99	211,79
8	188,31	199,78	201,44
9	183,76	201,12	199,40
Середні значення	186,1	198,3	207,9
СКВ	20,68	22,06	23,18

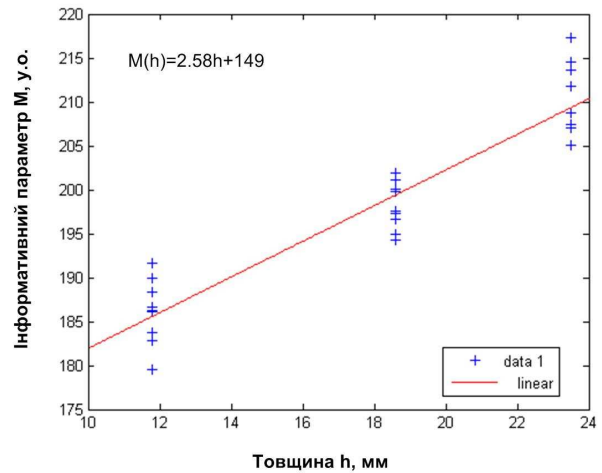
На основі приведених результатів досліджень (табл. 1) можна зробити висновок, що розкид даних при багатократних вимірюваннях інформативного параметру M зменшився [7] в середньому на (10÷15)% (за значеннями СКВ).

Для оцінки залежності значень інформативного параметру M від товщини зразків було виконано відповідну графічну побудову (рис. 4), на основі якої можна стверджувати, що між інформативним параметром M та товщиною об'єктів є залежність

(коефіцієнт кореляції складає 0,95) і вона може бути апроксимована лінійною функцією. При подальших дослідженнях для приведення результатів вимірювань до однієї товщини слід користуватись співвідношенням $1 \text{ мм} \equiv 2,58 \text{ у.о.}$

Наступна стадія досліджень передбачала встановлення наявності і характеру залежності інформативного параметру M від значень механічних характеристик (границі текучості). Такі дослідження було виконано на зразках, виготовлених із марок сталей, які використовуються в газотранспортній галузі (17ГС, 10Г2СБ, 9Г2С, Ст.3вп).

В ході експерименту були здійснені 9-кратні вимірювання інформативного параметру M (за допомогою приладу ФМХ-1) та твердості (динамічний твердомір ТДМ-1) кожного із зразків матеріалів. Межа текучості була визначена шляхом проведення випробувань на розтяг на розривній машині [8]. Результати досліджень приведені в табл.2.



”+” - виміряні значення; ”—” – лінійна апроксимація

Рис. 4. Залежність інформативного параметру M від товщини об'єктів контролю

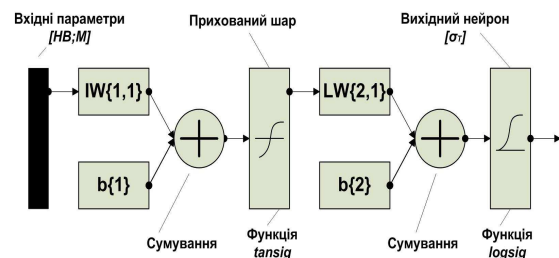
Таблиця 2 – Результати експериментальних досліджень

№ п/п	Зразок	Товщина, мм	Інф.параметр M , у.о.	M (прив. до 10 мм), у.о.	Твердість HB	Межа текучості, МПа
1	2	3	4	5	6	7
1	10Г2СБ	19,1	237,98	214,5	206,2	490
2	17ГС	17,8	221,82	201,7	213,3	540
3	9Г2С	7,3	182,24	189,2	149,2	470
4	Ст.3вп	8,0	192,07	197,2	112,8	300
5	Ст.3вп	14,7	218,20	223,4	130,0	300
6	Ст.3вп	10,0	220,16	226,2	133,0	200
7	Ст.3вп	14,4	239,30	227,9	111,5	240

В четвертій колонці табл.2 наведені значення, які були приведені до однієї товщини (10мм) шляхом перерахунку згідно співвідношення $1 \text{ мм} \equiv 2,58 \text{ у.о.}$

Коефіцієнт кореляції межі текучості σ_T із твердістю HB становить 0,86; а з інформативним параметром M – -0,65. Знак мінус для параметра M вказує на обернений характер залежності.

Наступним етапом при обробці результатів досліджень було застосування комплексного підходу до визначення межі текучості [2] шляхом використання алгоритмів штучних нейронних для апроксимації залежності межі текучості як нелінійної функції від двох параметрів твердості та інформативного параметра M , який характеризує теплопровідність (рис.5).



$IW\{1,1\}$ – вагові коефіцієнти першого шару нейронів – матриця 16×2 ; $b\{1\}$ – затримки першого шару – матриця 16×1 ; $LW\{2,1\}$ – вагові коефіцієнти другого шару – матриця 2×16 ; $b\{2\}$ – затримки другого шару – матриця 1×1

Рис. 5. Структура нейронної мережі

Згідно загальної методики роботи із нейронними мережами [9] було здійснено попередню підготовку даних перед тренуванням згідно формули:

$$hb = (HB - \min HB) / \max HB, \quad (3)$$

де HV – вимірне значення твердості, hb – підготовлене значення, $minHB$ – мінімальне значення твердості, $maxHB$ – діапазон значень твердості. Аналогічно проводиться попередня підготовка значень параметру M та межі текучості. При цьому реальні значення були наступними:

$$minHB = 100, maxHB = 200, min \sigma_T = 180, \\ max \sigma_T = 420, minM = 150, maxM = 100.$$

Як базова була використана вже перевірена архітектура нейронної мережі [7], яка передбачає два входи, один прихований шар і один вихід. Всього в ході досліджень було натреновано 7 мереж і після тестування (на відібраних даних, які не використовувались в ході тренування) була відібрана найкраща мережа. Результат тестування відібраної мережі наведений в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати тестування нейронної мережі

Зразок	10Г2СБ	17ГС	9Г2С	Ст3_1	Ст3_2	Ст3_3	Ст3_4
Дійсні значення межі текучості, МПа	490	540	470	300	300	200	240
Реальні виходи нейронної мережі, МПа	496,6	552,4	469,8	350,3	272,5	243,0	238,2

Середня абсолютна похибка визначення межі текучості склала $\pm 20,3$ МПа.

Вище описані труднощі із врахуванням товщини для перерахунку значень інформативного параметру M та потенціал штучних нейронних мереж щодо апроксимації складних нелінійних функцій послужили приводом для наступних досліджень. Було створено нейронну мережу, аналогічну попередній, яка відрізнялась тим, що у неї було три

входи і у прихованому шарі було не 16, а 24 нейрони. Це означає, що на вхід мережі було додано значення товщини зразків, а значення інформативного параметру M брались без перерахунку за товщиною (на вхід мережі подавались значення колонок 3, 4 та 6 табл.2).

Аналогічно були проведені тренування та тестування 7 нейронних мереж, відібрано найкращу, результат роботи якої наведений в табл. 4.

Таблиця 4 – Результати тестування нейронної мережі

Зразок	10Г2СБ	17ГС	9Г2С	Ст.3_1	Ст.3_2	Ст.3_3	Ст.3_4
Дійсні значення межі текучості, МПа	490	540	470	300	300	200	240
Реальні виходи нейронної мережі, МПа	505,3	536,1	473,8	310,5	295,0	190,0	259,7

Середня абсолютна похибка визначення межі текучості в даному разі склала $\pm 9,5$ МПа, приведена до діапазону значень межі текучості похибка – 2,3%.

Обидва результати тестувань свідчать про покращення точності методу після удосконалення алгоритму розрахунку значень інформативного параметру – попереднє значення приведеної до діапазону похибки визначення межі текучості становило 11% [7].

В результаті проведених досліджень та розрахунків можна зробити наступні висновки.

1. Запропонований новий алгоритм розрахунку інформативного параметру M , який дозволив зменшити розкид результатів вимірювань і підвищити точність визначення межі текучості.

2. Запропоновані зміни в обробці результатів вимірювання твердості та теплопровідності, які дозволили підвищити точність визначення межі текучості на зразках матеріалів магістральних газопроводів. Таке нововведення дозволить спростити роботу із приладом ФМХ-1 на нових зразках матеріалів, а також спростить метрологічний аналіз запропонованого методу та засобу визначення

фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкцій завдяки усуненню похибки від апроксимації залежності інформативного параметру M від товщини досліджуваних матеріалів.

1. *Постанова Кабінету Міністрів України від 8 жовтня 2004 р. № 1331 „Про затвердження Державної науково-технічної програми „Ресурс”*. 2. *Карпаш М.О. Обґрунтування комплексного підходу до визначення фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкцій // Методи та прилади контролю якості. – 2004. - № 12. – С. 30-33*. 3. *Карпаш М.О., Мойсичин В.М. Розв’язання оберненої одномірної задачі теплопровідності для цілей неруйнівного контролю // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2005. - № 3. – С.148-154*. 4. *Кісіль І.С., Карпаш М.О., Ващишак І.Р. Прилад для контролю фізико-механічних характеристик сталей ФМХ-1 // Методи та прилади контролю якості. – 2005. - № 14. – С.77-80*. 5. *Карпаш М.О., Кісіль І.С. Щодо можливості контролю фізико-механічних характеристик сталей*

магістральних трубопроводів // Матеріали 5-ої Національної науково-технічної конференції і виставки „Неруйнівний контроль та технічна діагностика”, 10-14 квітня 2006, Київ, С. 362-365. 6. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука, 1964. – 848 с. 7. Кісіль І.С., Карпаш М.О. Метрологічна оцінка результатів контролю фізико-механічних характеристик матеріалів металоконструкцій // Фізичні методи та засоби контролю середовищ матеріалів та виробів (серія), вип.11: Електромагнітний, ультразвуковий та

оптичний неруйнівний контроль матеріалів: Зб.наук.праць. – Львів: Фізико-механічний інститут ім.Г.В.Карпенка НАН України, 2006. – С.175-181. 8. ГОСТ 1497-84 Металлы. Методы испытания на растяжение. 9. Карпаш М.О., Кісіль І.С., Карпаш О.М., Молодецький І.А. Застосування комплексного підходу до визначення фізико-механічних характеристик нафтогазового обладнання // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2006. – № 2.- С.49-52.