



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **129826** (13) **U**
(51) МПК
G01L 1/12 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2018 06236</p> <p>(22) Дата подання заявки: 04.06.2018</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 12.11.2018</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 12.11.2018, Бюл.№ 21</p>	<p>(72) Винахідник(и): Чабан Назарій Ігорович (UA), Карпаш Олег Михайлович (UA), Карпаш Максим Олегович (UA), Миндюк Валентин Дмитрович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019 (UA)</p>
--	---

(54) СПОСІБ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЕЙ

(57) Реферат:

Спосіб неруйнівного контролю механічних характеристик сталей за комплексом фізичних властивостей полягає у тому, що значення напруження отримується шляхом апроксимації комплексу результатів вимірювання питомого електричного опору, коерцитивної сили та поверхневої твердості.

UA 129826 U

Корисна модель стосується неруйнівного контролю металоконструкцій довготривалої експлуатації, зокрема визначення рівня напружень в металі елементів конструкцій.

Відомий спосіб контролю напружено-деформованого стану виробів за залишковою намагніченістю матеріалу [1]. Запропонований спосіб полягає у вимірі нормальної складової напруженості магнітного поля в рівновіддалених один від одного по кожному каналу вимірювань точках, визначенні відповідних градієнтів і обчисленні відповідних магнітних показників за середньозваженим і максимальним значенням градієнтів нормальної складової напруженості магнітного поля в кожному каналі вимірювань і між даними каналами. Отримані магнітні показники порівнюються з критичним магнітним показником, який визначається як відношення градієнтів нормальної складової напруженості магнітного поля, відповідних меж міцності і плинності зразка досліджуваного матеріалу відповідно. Також визначається граничний час експлуатації об'єкта, що діагностується.

Обмеженнями способу є можливість його використання тільки для виробів з феромагнітного матеріалу; виявлення тільки зон максимальної концентрації напружень і деформації виробу при відсутності визначення кількісного і якісного стану матеріалу виробу і самого виробу в цілому. Так, за рахунок використання відомого способу не можна визначити, чи може виріб продовжувати перебувати в експлуатації або знаходиться в стані, близькому до його руйнування.

Також існує тензометричний спосіб визначення рівня напружень, що викликаний деформацією конструкцій. Тензометрія базується на визначенні напружень та деформацій в зовнішніх шарах конструкції за допомогою тензодатчиків і реєструючої апаратури.

Тензодатчик являє собою резистор, опір якого змінюється при деформації. Його приклеюють до поверхні деталі, що тестується, так, щоб він деформувався разом з нею. Використовуються поодинокі тензорезистори або блоки тензорезисторів, з'єднані за схемою моста або півмоста.

До недоліків даного способу можна віднести обмежений ресурс роботи із-за старіння клеїв та повзучість (зміна опору за незмінного значення деформації), що пов'язана з пружною недосконалістю основи та методу кріплення. Також тензометрія потребує додаткового обладнання (реєструючої апаратури). Висока вартість чутливих елементів, трудомісткий процес правильної фіксації тензодатчиків на поверхні конструкції та важкість переміщення на іншу конструкцію також можна віднести до недоліків даного способу.

Найбільш близьким за технічною суттю до запропонованого є коерцитиметричний спосіб визначення напружень [2]. В основу способу магнітного контролю покладено залежності між фізико-механічними властивостями феромагнітних матеріалів і параметром петлі магнітного гістерезису, який контролюється при статичних і динамічних випробуваннях на всіх стадіях навантаження аж до руйнування. Єдність природи намагнічування металу, пружно-пластичної деформації, накопичення пошкоджень та росту коерцитивної сили дозволяє моделювати на зразках процес навантаження металу при експлуатації за умов складнонапруженого стану. Проте цей спосіб підходить для контролю тільки феромагнітних виробів, що значно обмежує його застосування. Також результати вимірювань сильно залежать від товщини досліджуваного об'єкта.

Задача даної корисної моделі полягає в удосконаленні способу неруйнівного визначення величини напружень металу сталевий конструкції за комплексом фізичних властивостей, який відрізняється тим, що значення напруження отримується шляхом апроксимації комплексу результатів вимірювання, що включає: коефіцієнт теплопровідності, питомий електричний опір, коерцитивну силу та поверхневу твердість.

Для вирішення поставленої задачі було проведено експериментальні дослідження щодо поведінки попередньо вибраних фізичних інформативних параметрів в процесі зміни тиску та напружень у стінках посудин [3].

Як дослідні зразки для подальших експериментальних досліджень було вибрано 2 посудини, у яких створювався надлишковий тиск, що зумовлював появу напружень у стінках посудин заданого значення.

Експериментальний зразок № 1 - посудина (фільтр-сепаратор), яка експлуатувалася на об'єктах ПАТ "Укртрансгаз" понад 20 років. Матеріал посудини - сталь марки 09Г2С.

Експериментальний зразок № 2 - посудина, яка виготовлена з трубного елемента, який був у експлуатації понад 20 років на об'єктах ПАТ "Укртрансгаз". Матеріал посудини - сталь марки 17Г1С.

Корпус посудин № 1 та № 2 було розділено на три умовні зони [3]. Зона 1 та зона 2 розташовані паралельно осі посудини та діаметрально протилежно одна одній. Зона 3 зміщена на 90° від зони 1 за годинниковою стрілкою і розташована між зонами 1 та 2. Кожна із зон

ділиться на три ділянки контролю у трьох однакових перерізах корпусу посудини (дві ділянки по краях і одна ділянка по центру корпусу посудини).

5 Вимірювання фізичних інформативних параметрів на зразках посудин проводилися при зміні навантаження тиском рідини. Поступове збільшення тиску дало змогу визначити наявність та характер зміни вибраних інформативних параметрів від росту напруження у стінці корпусу посудин.

Алгоритми та цикли випробувань експериментальних посудин № 1 та № 2 наведені у табл. 1.

10 Забезпечення плавного збільшення надлишкового тиску у дослідних посудинах із заданим кроком та чітка фіксація його значення здійснювалась ручною насосною установкою ГН-500 та запірною арматурою, значення тиску у посудині контролювалося манометром типу МПЗ-У.

Таблиця 1

Алгоритм циклів випробування посудин

№ циклу	Навантаження, кгс/см ²																		
	Посудина № 1																		
1	1-310 (крок збільшення навантаження 10)																		
Посудина № 2																			
1	0	20	0																
2	0	20	40	0															
3	0	20	40	60	0														
4	0	20	40	60	80	0													
5	0	20	40	60	80	100	0												
6	0	20	40	60	80	100	120	50	0										
7	0	20	40	60	80	100	120	140	50	0									
8	0	20	40	60	80	100	120	140	150	100	50	0							
9	0	20	40	60	80	100	120	140	150	160	150	130	100	50	0				
10	0	20	40	60	80	100	120	140	150	160	170	150	130	100	50	0			
11	0	20	40	60	80	100	120	140	150	160	170	180	150	130	100	50	0		
12	0	20	40	60	80	100	120	140	150	160	170	180	190	150	130	100	50	0	
13	0	20	40	60	80	100	120	140	150	160	170	180	190	200	150	130	100	50	0
14	0	20	40	60	80	100	120	140	150	160	170	180	190	200	210	150	130	100	50

15 На фіксованих значеннях внутрішнього надлишкового тиску посудин проводилися вимірювання фізичних інформативних параметрів:

- коерцитивної сили Нс на ділянках, що розміщені вздовж осі. При цьому приставний електромагніт почергово розташовувався вздовж осі посудини у протилежних напрямках, а також перпендикулярно осі з метою урахування анізотропії фізико-механічних характеристик металу стінки від напрямку прокатування;

20 - твердості НВ металу стінки по встановлених ділянках вимірювання;

- магнітного параметра I2 металу стінки по встановлених ділянках вимірювання;

- електричного опору ρ на встановлених ділянках вимірювання.

25 Геометричні розміри корпусу експериментальної посудини, які змінювалися внаслідок деформації від дії надлишкового тиску, фіксувалися замірами кронциркуля на кожному перерізі корпусу посудин.

Результати кореляційного аналізу залежностей фізичних інформативних параметрів від зміни напруження наведено в табл. 2.

Результати кореляційного аналізу

№ зразка	Фізична величина			Магнітний параметр I2 (25 кГц)
	Твердість	Коерцитивна сила	Електричний опір	
Коефіцієнти кореляції				
σ(зр. 1)	-0,86	0,98	-0,55	-0,51
σ(зр. 2)	-0,83	0,93	-0,49	-0,57

Кореляційний аналіз отриманих результатів вимірювань фізичних інформативних параметрів показав тісну залежність зміни коерцитивної сили і твердості та менш виражену залежність електричного опору і магнітного параметра від зміни напруження у стінці посудини.

Оскільки зв'язки між вибраними фізичними інформативними параметрами та напруженням у стінці корпусу посудини носять нелінійний характер, то для підвищення інформативності контролю напружень посудин, що працюють під тиском, доцільно використовувати їх у комплексі. Для вирішення цієї задачі було використано алгоритми штучних нейронних мереж.

В результаті обробки отриманих даних отримано апроксимовану залежність в аналітичному вигляді - матричне рівняння з функціями перетворення та ваговими коефіцієнтами, що змінюються в процесі навчання нейронної мережі. Отже, формула для визначення величини напруження за трьома параметрами (Hb, Hc, ρ) має вигляд:

$$\text{Sigma} = \frac{500}{1 + e^{-2(\sum_{n=1}^{I2} - (LW\{2,3\} \cdot I + e^{-2(\sum_{n=1}^{I2} - (LW\{2,1\} \cdot \left(\frac{2}{I + e^{-2 \cdot \sum_{n=1}^{I2} (LW\{1,1\} \cdot \left[\left(\frac{HB}{200} \right) \cdot \left(\frac{HC}{8} \right) \cdot \left(\frac{RO}{27} \right) \right] + b\{1\}) \right) \right) + b\{3\}})}, \quad (1)$$

де Sigma - напруження, МПа; HB - твердість за шкалою Брінеля, Hв; HC - коерцитивна сила, А/см; RO - питомий електричний опір, мкОм; LW{1,1} = [1.7431-3.0389-3.0193; 0.042401-6.5667 1.2504; 3.8403-1.8042 2.4633]; b{1} = [3.1597; 1.6562; 0.83545]; LW{2,1} = [-2.6414 2.439-2.6484; -0.11555-1.3002-2.3494; -0.26707-3.4977-0.9879; -4.3283-0.56173-1.7194; 3.6251 3.3037 0.0079697; 3.0503 0.4122-0.75152; 1.4864-2.2745 2.2322; -0.58323-0.99362 2.9626; -1.0301 2.231-2.0604; -3.8824-4.8745 2.9746; -2.8029-2.9665 0.26002; 1.9492-0.56367 2.4798]; LW{2,3} = (3.4791-0.72835 1.6159-1.513-0.58511 0.10175 0.30046-0.020476 0.82736 3.7615 2.2226-1.1307); b{2} = [2.6779; 3.0984; 2.2409; 2.522; -0.52367; -2.0915; 0.90781; -0.90616; -1.4632; 0.64351; -1.9935; 3.2007]; b{3} = [-0.35259].

Спосіб здійснюється наступним чином:

1. Для проведення робіт з визначення фактичного технічного стану та прогнозування залишкового ресурсу через контроль рівня напружень у стінках посудин, що працюють під тиском, замовник (представник організації, яка експлуатує металокопункції) зобов'язаний:

- видати наказ про призначення відповідальної особи за організацію обстеження посудини;
- підготувати сталеві конструкції до проведення контролю;
- надати представникам організації, яка проводить роботи з неруйнівного контролю, необхідну технічну документацію;
- представити результати попереднього технічного діагностування (якщо згадане проводилося).

Право виконання робіт з неруйнівного контролю та визначення напружень у стінках посудин, що працюють під тиском, мають організації (лабораторії), які акредитовані на технічну компетентність згідно з ДСТУ ISO/IEC 17025 та ДСТУ ISO/IEC 17020 і мають дозвіл Держгірпромнагляду України на право проведення вказаних робіт.

Фахівці повинні досконало володіти апаратурою та обладнанням, які використовуються для контролю, а також регулярно проходити інструктажі з охорони праці, пожежної та електробезпеки і здавати іспити згідно з ДНАОП 0.00-1.21 та ДНАОП 0.00-1.07;

Апаратура, що використовується для визначення інформативних параметрів, повинна відповідати вимогам чинних стандартів та нормативних документів з охорони праці. Перед використанням апаратури необхідно вивчити вказівки з її безпечної експлуатації.

Засоби вимірювальної техніки, які використовуються під час проведення контролю посудин, що працюють під тиском, повинні знаходитись під метрологічним контролем. Їх придатність до використання повинна підтверджуватись свідоцтвами про метрологічну атестацію або перевірку.

5 Перед початком роботи працездатність та точність вимірювання засобів повинна бути перевірена на зразках для настроювання або іншими методами у відповідності до експлуатаційної документації на неї.

Перед проведенням досліджень на посудинах, що працюють під тиском, у промисловості необхідно ознайомитись з технічною, конструкторською та експлуатаційною документацією, до якої належать:

10 паспорт посудини (містить інформацію про основні технічні характеристики, терміни виготовлення та експлуатації, гарантії заводу-виробника, дані про ремонт та режими експлуатації);

робочі журнали (містять інформацію про відповідальних осіб за обладнання, особливості та режими експлуатації, про проведені ремонти, аварії або аварійні зупинки тощо);

15 звіти, акти, висновки або інші документи, які представляють результати попередніх проведених діагностичних обстежень (містять інформацію про фактичний технічний стан обладнання, допустимі і не допустимі виявлені дефекти у конкретний момент часу);

інформація про термін експлуатації об'єкта;

відомості про аварії та відмови обладнання;

20 сертифікати на вироби (труби, елементи металоконструкцій тощо) та матеріали, з яких вони виготовлені;

конструкторські документи (містять інформацію про особливості будови конструкції технологічного обладнання, відображають процес виготовлення тощо).

25 Дана інформація використовується для подальшого визначення ділянок на металоконструкціях, на яких повинен здійснюватися контроль механічних характеристик. В першу чергу під контроль підпадають ділянки, на яких очікується надмірна або значна концентрація напружень в ході експлуатації металоконструкції.

30 Ділянки елементів сталевих конструкцій, які підлягають контролю, необхідно очистити від бруду, фарби, пухких продуктів корозії, залишків мастила. Також слід забезпечити необхідну освітлюваність зони контролю.

За умови відповідності геометричних параметрів об'єктів нормативним значенням та відсутності дефектів типу порушення суцільності проводять вимірювання значень інформативних параметрів.

35 У випадку відсутності попередньої інформації про об'єкт контролю, а саме про матеріал виготовлення та механічні характеристики, і у випадку, коли неможливо провести контроль неруйнівними методами, рекомендованим є використання руйнівних методів контролю з наступною вирізкою зразків з відповідного елемента металоконструкції (якщо це можливо) і проведення їх випробування відповідно до ГОСТ 1497.

40 2. Вимірювання твердості металу посудини рекомендується проводити з використанням динамічних твердомірів типу ТД-32, контактнорезонансних типу ТКР-35 або аналогічних. Твердість визначається за шкалою Брінеля (НВ).

45 Обсяги та зони контролю визначаються залежно від ступеня складності конструктивного виконання, а також від рівня навантаженості або пошкодженості елементів та якщо є підозри на неоднорідність механічних характеристик однотипних елементів металоконструкцій. Для визначення твердості металоконструкцій рекомендується проводити контроль в обсягах, передбачених нормативними документами.

Методика проведення вимірів твердості серійними динамічними або контактнорезонансними твердомірами наводиться в їх експлуатаційній документації.

50 Результати вимірювання твердості заносять до протоколу вимірювання, а також вводять у спеціально розроблений розрахунковий модуль з метою їх опрацювання.

3. Визначення електричного опору.

55 Визначення електричного опору металоконструкцій рекомендується проводити з використанням установки, яка складається з атестованого мікроомметра типу БСЗ-010-2 та контактнорезонансного вимірювального перетворювача. Мікроомметр дозволяє вимірювати активний електричний опір на чотирьох діапазонах в одноразовому і багаторазовому режимах, проводити автокалібрування за зовнішніми еталонами.

Для визначення інформативного параметра рекомендується здійснити триразові вимірювання електричного опору металоконструкцій.

60 Порядок вимірювання електричного опору описано у відповідній експлуатаційній документації на прилад.

Результати визначення електричного опору заносять до протоколу вимірювання, а також вводять у спеціально розроблений розрахунковий модуль з метою їх опрацювання.

4. Визначення коерцитивної сили.

5 Визначення коерцитивної сили металоконструкцій рекомендується проводити з використанням коерцитиметра КРМ-ЦК з П-подібним намагнічувачем.

Для визначення інформативного параметра рекомендується здійснити триразові вимірювання коерцитивної сили металоконструкцій.

Порядок вимірювання коерцитивної сили описано у відповідній експлуатаційній документації на прилад.

10 Результати визначення коерцитивної сили заносять до протоколу вимірювання, а також вводять у спеціально розроблений розрахунковий модуль з метою їх опрацювання.

5. Визначення магнітного параметра.

Визначення магнітного параметра металоконструкцій рекомендується проводити з використанням приладу ІВС-І2.

15 Для визначення інформативного параметра рекомендується здійснити триразові вимірювання магнітного параметра металоконструкцій.

Порядок вимірювання магнітного параметра описано у відповідній експлуатаційній документації на прилад.

20 Результати визначення магнітного параметра заносять до протоколу вимірювання, а також вводять у спеціально розроблений розрахунковий модуль з метою їх опрацювання.

6. Опрацювання результатів.

25 Для опрацювання інформації, яка отримана за результатами вимірювання значень інформативних параметрів, служить портативний комп'ютер, який виконує розрахунок значення напруження за одержаними даними відповідно до алгоритму розрахунку, що знаходиться в пам'яті комп'ютера.

Після введення у портативний комп'ютер вимірних значень твердості (H_b), електричного опору (ρ), коерцитивної сили (H_c) та магнітного параметра (I_2) відбувається розрахунок напружень за розробленим алгоритмом штучних нейронних мереж.

30 Наприклад, значення твердості (H_b) дорівнює 152, електричний опір (ρ) складає 21,17 мОм, коерцитивна сила (H_c) складає 5,1 А/см, магнітний параметр (I_2) дорівнює 2,1621, тоді після опрацювання даних результатів отримане розрахункове значення напруження дорівнюватиме 236 МПа.

Таким чином, на реальних об'єктах підтверджена можливість здійснення даного способу визначення напружень.

35 Перелік посилань

1. Патент Росії № 2207530 G01 N27/72.

2. Патент Росії № 2051380 G01 N27/80.

40 3. Карпаш А.М. Особливості експериментальних модельних об'єктів та постановка експеримента для визначення напружено-деформованого стану металоконструкцій за комплексом інформативних параметрів /А.М. Карпаш // Нафтогазова енергетика. - 2016. - № 1(25). - С. 91-101.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

45 Спосіб неруйнівного контролю механічних характеристик сталей за комплексом фізичних властивостей, який **відрізняється** тим, що значення напруження отримується шляхом апроксимації комплексу результатів вимірювання питомого електричного опору, коерцитивної сили та поверхневої твердості.

Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601