

ВІДГУК

офиційного опонента на дисертаційну роботу
Романишина Ростислава Ігоровича на тему «Розвиток ультразвукового
методу діагностиування пошкодженості металу на основі реєстрації
зворотньо-розсіяного сигналу», що подається на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.02.10 – діагностика
матеріалів і конструкцій

Актуальність теми, зв'язок з науково-технічними програмами.

Забезпечення безаварійної працевдатності об'єктів тривалої експлуатації вимагає достовірної діагностики стану матеріалу неруйнівними методами. Традиційні методи ультразвукової діагностики металів базуються на вимірюванні швидкості поширення і загасання різних типів ультразвукових хвиль. Відносні зміни швидкості при діагностиці напружень складають соті долі процента, а при діагностиці структурних змін – десяті долі процента, що вимагає прецизійного вимірювання.

Зміна швидкості поширення та загасання ультразвукових хвиль застосовуються для експериментального оцінювання пошкодженості металів.

Зворотньо-розсіяний ультразвуковий сигнал, як правило, застосовувався для оцінювання розміру зерна. Відомі окремі лабораторні дослідження по застосуванню зворотньо-розсіяного сигналу для оцінюванню включень, мікротріщин, водневої пошкодженості. Основним стримуючим фактором при застосуванні зворотньо-розсіяного сигналу була залежність його від акустичного контакту. Тому при лабораторних дослідженнях для введення-приймання ультразвуку застосовувався імерсійний метод, що є нетехнологічним для неруйнівного контролю і технічної діагностики. В той же час окремі експерименти по оцінюванню рівня зворотньо-розсіяного сигналу на експлуатованих трубопроводах

свідчили про його зростання в рази із-за водневої пошкодженості, але носили тільки якісний характер.

Тому актуальною є задача оцінювання розсіяної пошкодженості металу на основі реєстрації і обробки зворотньо-розсіянного ультразвукового сигналу.

Дисертаційна робота виконувалася відповідно до науково-дослідних програм і тематичних планів Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України. У якості виконавця автор брав участь у виконанні ряду держбюджетних наукових тем, а також проектів по програмі «РЕСУРС» впродовж 2004-2016 р.р. Серед них: «Розробка ультразвукових методів визначення структурної неоднорідності матеріалів на основі реєстрації розсіяного сигналу», «Впровадження технології ультразвукової комп’ютерної томографії для моніторингу експлуатаційної деградації металу товстостінних елементів АЕС», «Підвищення функціональних можливостей та розширення обсягів промислової перевірки на об’єктах АЕС портативного ультразвукового комп’ютерного томографа для оцінювання експлуатаційної деградації металу», «Розроблення методів оцінювання мікроструктури металу на основі томографічних зображень під час ультразвукового зондування», «Розроблення інформаційних технологій підвищення просторової роздільної здатності ультразвукових методів визначення об’ємної неоднорідності стану металу».

Метою роботи є розробка неруйнівних ультразвукових методів та засобів оцінювання розсіяної пошкодженості в об’ємі матеріалу на основі багатократної реєстрації і статистичної обробки зворотньо-розсіянного сигналу.

До результатів, що мають **наукову новизну і практичну значимість** в області діагностики матеріалів і конструкцій слід віднести наступні.

1. Розроблено новий метод обробки зворотньо-розсіянного

ультразвукового сигналу, який базується на нормуванні інтенсивності зареєстрованого сигналу у вигляді А-скану до «введеної» енергії, що дозволяє врахувати рівень зондуючого сигналу, вплив акустичного контакту, підсилення приймального тракту і отримати профіль перерізу зворотнього розсіювання ультразвуку матеріалом вздовж шляху поширення сигналу. Профіль перерізу зворотнього розсіювання є основою (набором сферичних проекцій) для визначення розсіяної пошкодженості в об'ємі матеріалу томографічними методами.

2. Розроблено безсітковий підхід до томографічної реконструкції за криволінійними проекціями і для об'єктів з криволінійними границями, який, на відміну від традиційного, не потребує попереднього розбиття об'єкту контролю на воксели і громіздкого розрахунку ваги кожного вокселя дляожної проекції, а зводиться до оберненого проектування за всіма проекціями (на першому етапі) і усереднення результатів оберненого проектування в межах заданого шаблону (на другому етапі), який вибирається з необхідної роздільної здатності томографічної реконструкції та априорної інформації про просторовий розподіл неоднорідностей і дозволяє оптимізувати і проводити процедуру томографічної реконструкції в реальному часі.

3. Запропоновано новий метод оцінювання пошкодженості в об'ємі матеріалу за невпорядкованістю томографічних зображень перерізу зворотнього розсіювання на основі параметра SNR, який розраховується по многовидах, виходячи з умов експлуатації об'єкту контролю (наприклад, горизонтальний чи вертикальний трубопровід) і вимог діагностики. Зростом ступеня деградації зростає невпорядкованість томографічних зображень і зменшується SNR.

4. Розроблено і експериментально апробовано ультразвуковий метод картографування адгезійної міцності багатошарового покриття, який базується на скануванні поверхні об'єкту прямим п'єзоперетворювачем, реєстрації зворотньо-розсіяного сигналу,

обчисленні дисперсії цього сигналу для кожної точки сканування, побудові гістограми розподілу дисперсій, визначені місць відшарувань та на основі цього адгезійної міцності покриття.

5. Розроблено та експериментально апробовано ультразвуковий метод оцінювання пошкодженості в об'ємі матеріалу на основі багатократної реєстрації зворотньо-розсіяного сигналу і обчисленні дисперсії сигналу. На прикладі зразків з водневою пошкодженістю експериментально отримано, що зростом тиску наводнення дисперсія зворотньо-розсіяного сигналу зростає.

Практична цінність роботи обумовлена тим, що розроблені ультразвукові технології реалізовані у вигляді алгоритмічно-програмного забезпечення ультразвукового комп'ютерного томографа UST5M, який може працювати як в режимі сучасного ультразвукового дефектоскопа з побудовою В- і С-сканів, так і в режимі ультразвукового томографа на зворотньо-розсіяному сигналі.

Практична цінність роботи обумовлена також і тим, що в якості периферії ультразвукового томографа використовуються стандартні ультразвукові перетворювачі, причому підготовка об'єктів до ультразвукової діагностики є традиційною.

Практичну значимість мають ультразвукові технології картографування адгезійної міцності газотермічних покрить та оцінювання пошкодженості по товщині трубопроводу, розроблені для зацікавлених організацій, які є впровадженням результатів роботи.

Ступінь обґрутованості наукових положень дисертації і їх достовірність.

Обґрутованість отриманих результатів і їх достовірність забезпечується коректним формулюванням задачі дослідження, вибором оптимальних методів їх вирішення, чисельним моделюванням процедур обробки зворотньо-розсіяних сигналів, томографічної реконструкції у строгій відповідності з методами і алгоритмами, що застосовуються для

експериментально зареєстрованих сигналів, експериментальною перевіркою окремих ключових технологій (напр., інваріантність сигналу до змін акустичного контакту та ін.), експериментальною апробацією на типових зразках (при перевірці адгезійної міцності покриття, оцінюванні водневої пошкодженості). Достовірність результатів дослідження підтверджується також відповідністю їх окремим результатам, відомим з літератури в часткових випадках, а також узгодженістю їх з фізичними закономірностями еволюції металів при різних навантаженнях.

Висвітлення результатів дисертаційної роботи в публікаціях та доповідях на конференціях.

Всі основні результати дисертаційної роботи знайшли відображення в публікаціях автора. За результатами дисертації опубліковано більше 30 робіт, з них 6 статей у виданнях, що входять до наукометричної бази даних Scopus, один патент на корисну модель. Слід відмітити, що автор опублікував отримані результати практично у всіх журналах України та окремих зарубіжних журналах по даній тематиці. Серед них: «Дефектоскопия», «Технічна діагностика і неруйнівний контроль», «Фізико-хімічна механіка матеріалів», «Металлофізика и новейшие технологии», «Проблемы прочности». Під час виконання роботи автор прийняв участь в значній кількості науково-технічних конференцій.

Структура та зміст дисертації.

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, списку використаних джерел та додатків. Загальний об'єм роботи 212 стор., робота містить 88 рисунків, список використаних джерел містить 153 найменування та займає 19 сторінок. В додатках приведені акти впровадження результатів роботи.

У **вступі** обґрутована актуальність роботи, показано зв'язок з науковими програмами та темами, зокрема, з цільовою програмою НАН

України "Ресурс", наведено загальну характеристику роботи, сформульовано її мету та основні завдання досліджень, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також подані відомості про особистий внесок, апробацію результатів роботи та публікацій.

У **першому** розділі розглянуті сучасні концепції еволюції металу в процесі експлуатації, фізичні механізми деградації, проаналізовані результати експериментальних досліджень пошкодженості металу на різних рівнях у виробах тривалої експлуатації.

Тут описані сучасні технічні засоби і методи ультразвукової діагностики на основі реєстрації зворотньо-розсіяного сигналу, включаючи лабораторні дослідження пор, включень (оксидів, сульфідів), розміру зерна. Результати огляду засвідчили про те, що такі лабораторні дослідження успішно проводяться, але в практиці ультразвукової діагностики немає сформованого підходу, методу, ультразвукових технологій та засобів на основі застосування ультразвукового розсіювання («структурного шуму») для оцінювання рівня пошкодженості матеріалу в об'ємі виробу.

В цьому розділі розглянуті моделі розсіюючого середовища, математичні підходи до опису процесу розсіювання ультразвуку, наведена ієархія моделей і математичних методів їх аналізу в залежності від густини розсіювачів.

Враховуючи сучасні тенденції в розвитку ультразвукових технологій, зв'язок параметрів зворотньо-розсіяного сигналу з пошкодженістю матеріалу, в дисертації запропонована нова концепція оцінювання і методика діагностування пошкодженості матеріалу, яка передбачає: сканування поверхні об'єкту контролю і ультразвукове зондування прямим ультразвуковим давачем з реєстрацією зворотньо-розсіяного сигналу; статистичну обробку цих сигналів з метою виділення інформативних ознак про пошкодженість матеріалу та оцінювання

пошкодженості в об'ємі матеріалу.

Другий розділ присвячений моделюванню та розробці методів обробки зворотньо-розсіяного сигналу. На основі аналізу акустичного тракту розроблена модель зареєстрованого сигналу і метод його обробки, який враховує рівень зондуючого сигналу, вплив акустичного контакту, заасання сигналу в процесі поширення.

На основі проведених досліджень розроблені та експериментально апробовані УЗ технології оцінювання:

- стану металу при різних статичних навантаженнях (до руйнування і після руйнування);
- стану металу при його наводненні;
- адгезійної міцності газотермічних покрить.

В третьому розділі викладено ряд запропонованих дисертантом перспективних інформаційних технологій ультразвукової комп'ютерної томографії, які спрощують їх технічну реалізацію в промислових умовах, зокрема:

- безсітковий підхід до томографічної реконструкції для об'єктів з криволінійними границями та за криволінійними проекціями;
- метод томографічної реконструкції перерізу зворотнього розсіювання ультразвуку на основі реєстрації зворотньо-розсіяного сигналу;
- підхід до оцінювання пошкодженості матеріалу на основі невпорядкованості томографічних зображень перерізу зворотнього розсіювання;

В четвертому розділі описано розроблене алгоритмічно-програмне забезпечення ультразвукового комп'ютерного томографа UST5M, викладені результати експериментальної апробації розроблених ультразвукових томографічних технологій діагностики складно структурованих об'єктів (зі зварними з'єднаннями), пошкодженості

сталей в об'ємі товстостінних трубопроводів на основі томографічних зображень просторового розподілу розсіюванальної здатності структури металу.

Висновки роботи містять узагальнення основних результатів роботи, кожний з них має теоретичне та експериментальне підтвердження. Розроблені рекомендації з використання результатів роботи підверджені відповідними актами впровадження.

Зміст автoreферату та основних положень дисертації є ідентичними.

Зауваження

1. При томографічній реконструкції автор обмежується побудовою сумарного зображення шляхом оберненого проектування. Як відомо, сумарне зображення є тільки низькочастотною копією шуканого розподілу. В подальшому автору варто би зосередитись на фільтрації сумарного зображення з метою наближення його до шуканого розподілу.

2. Автор не надав вичерпного пояснення у який спосіб буде враховуватись акустичний контакт та підсилення приймального тракту при натурних вимірюваннях де, на відміну від лабораторних умов, не можна змінювати навантаження на об'єкт дослідження.

3. Не до кінця зрозуміло перехід від реконструйованого просторового розподілу перерізу зворотнього розсіювання ультразвуку матеріалом до розсіяної пошкодженості.

4. Варто би детальніше означити межі застосування методу обробки зворотньо-розсіяного сигналу на основі нормування інтенсивності до введеної енергії, порівняти його з відомими методами.

5. Метод оцінювання адгезійної міцності покриття придатний для оцінювання «товстих» порівняно з довжиною хвилі покрить. Варто би провести відповідні дослідження щодо меж застосовності запропонованого методу. До кінця не зрозуміло, чи необхідно для

тарування адгезійної міцності на основі відшарувань та областей з пониженою адгезією мати еталонний зразок без відшарувань.

Не зважаючи на висловлені зауваження робота спровалас позитивне враження.

Оцінюючи роботу в цілому, вважаю, що дисертаційна робота Романишина Ростислава Ігоровича на тему «Розвиток ультразвукового методу діагностиування пошкодженості металу на основі реєстрації зворотньо-розсіяного сигналу» є завершеною науковою роботою, в якій отримані нові, науково обґрунтовані та практично важливі результати в області діагностики матеріалів та конструкцій, що у сукупності вирішують науково-технічну задачу оцінювання розсіяної пошкодженості металу в переддефектному стані неруйнівними методами.

Основні результати дисертації відповідають вимогам паспорту наукової спеціальності 05.02.10 – діагностика матеріалів і конструкцій.

Дисертаційна робота відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» щодо кандидатських дисертацій, а її автор Романишин Ростислав Ігорович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.10 – діагностика матеріалів і конструкцій.

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:

професор кафедри програмного забезпечення
автоматизованих систем Івано-Франківського
національного технічного університету нафти і
газу, д.т.н, професор

I. З. Лютак

