

Прим № _____

Голові спеціалізованої вченої ради Д 26.185.01
Інституту проблем моделювання в енергетиці
ім. Г.Є. Пухова НАН України

03164, м. Київ, вул. Генерала Наумова, 15

ВІДГУК
офіційного опонента

провідного наукового співробітника, відділ теоретичної електротехніки №12 Інституту електродинаміки НАН України, доктора технічних наук, старшого наукового співробітника Зварича Валерія Миколайовича на дисертацію Огір Олени Олександрівни на тему «Метод підвищення якості реконструкції діагностичних зображень на основі інтегральних перетворень», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Актуальність теми.

Задачі підвищення надійності і збільшення ресурсу енергетичного устаткування можуть бути вирішені з створенням нових сучасних засобів УЗ діагностики матеріалів. В дефектоскопії на даний час практично відсутні системи, за допомогою яких можна одержати повноцінну і адекватну візуальну інформацію про розміри, форму та місцеположення неоднорідностей в матеріалах енергетичних об'єктів. Без такої інформації складно оцінити наявний ресурс роботи обладнання і передбачити можливі аварійні ситуації.

Аналіз результатів існуючих досліджень показав, що незважаючи на широке застосування у вітчизняній і іноземній спеціальній, науковій літературі словосполучень «діагностична візуалізація» і «діагностичне зображення» формального визначення їх сутності досі не існує, що не дає можливості формалізувати вимоги як до самого процесу діагностичної візуалізації, так і до діагностичного зображення, як результату цього процесу. А також, на даний час, фокусування зображення в процесі діагностичної візуалізації здійснюється на основі трансверсальної фільтрації, для якої характерними є а) методична похибка апроксимації фазових даних за методом Френеля, що виникає внаслідок апроксимації реальних сферичних хвиль відповідними параболічними наближеннями; б) неможливість врахування похибки початкових фаз сигналів,

УПМЕ Вк. 243
07.09.2020р.

що обумовлені флуктуаціями ультразвукового сигналу при його поширенні. Означені недоліки ускладнюють можливість отримання і подальшого візуального аналізу та інструментального контролю зображень внутрішньої структури досліджуваних об'єктів та структур.

Використання провідними фірмами (GE, Acuson, Philips) нових технологічних рішень у виготовленні багатоканальних датчиків, а також цифрової обробки сигналів при динамічному фокусуванні вузько напрямленого звукового променя дозволили суттєво покращити просторове розрізнення. Але підвищення якості та швидкості діагностування залишаються актуальними задачами.

Структура та зміст роботи.

У вступі приведена актуальність теми дослідження, сформульована мета роботи та задачі досліджень і методи їх вирішення, опис об'єкту і предмету досліджень, викладені наукова новизна і практичне значення результатів, приведені відомості публікації автора та апробацію отриманих результатів роботи.

У першому розділі проведено аналіз принципів діагностичної візуалізації та визначено формулювання поняття «Діагностичного зображення» об'єкта або середовища. Автором досліджено методику і процес створення візуальних зображень внутрішньої структури об'єктів та середовищ з метою проведення аналізу і своєчасного виявлення новоутворень або дефектів. Проведений аналіз дозволив виявити відсутність чітких формулювань сутності понять «діагностична візуалізація» і «діагностичне зображення». В роботі пропонується дати визначення діагностичного зображення: це графічна (двовірна або тривірна) модель аномалій досліджуваного об'єкта чи середовища, для якої може бути здійснена постановка і розв'язання задачі ідентифікації. Відповідно, діагностична візуалізація – це процес побудови такої моделі, і сам цей процес має вже усталену назву «реконструкція діагностичного зображення». Такий процес розглядається в контексті дослідження об'єктів та середовищ випромінюванням ультразвукових хвиль в досліджуваній об'єкт/середовище з подальшим прийняттям і обробкою відбитих коливань з метою визначення наявності аномалій. Це підпадає під визначення ідентифікації в широкому розумінні як структурної ідентифікації, або її форми, розміру, положення, глибини залягання тощо. Під визначенням ідентифікації у вузькому розумінні підпадає параметрична ідентифікація.

В розділі наведені перспективні напрямки досліджень в галузі розробки систем дефектоскопії матеріалів та середовищ, які здійснюють виявлення та відображення мікро - та макро-дефектів на ранній стадії їх появи та розвитку. Також виявлено фактори, що впливають на якість та точність отриманої

візуальної картини досліджуваного середовища. Проведено аналіз публікацій з ультразвукових систем діагностики, що використовують алгоритми формування та реконструкції діагностичних зображень аномалій матеріалів з використанням математичних методів та доведено актуальність досліджень, що проводились в дисертаційній роботі.

У другому розділі розроблено обчислювальний метод реконструкції діагностичних зображень з високим розрізненням, для чого було визначено повний перелік критеріїв якості реконструкції, що дозволить проводити багатокритеріальну оцінку ефективності методів реконструкції різного типу застосування. Визначено та доведено ефективність застосування цифрової фільтрації сигналів-завад ревербераційної та нормальної природи, що задовольняє вимогу стійкості до похибок вимірювань і обчислювальних шумів та відповідають визначеним попередньо критеріям якості реконструкції. Приведено повний комплекс інтегральних перетворень, що в цілому складають певну послідовність перетворень запропонованого методу реконструкції з використанням обраної процедури фільтрації що відфільтровує сигнали-завади ревербераційного типу, нормальні перешкоди в приймачі сигналів, а також вторинні максимуми Фур'є-перетворення, які відображаються в спектрі голограми більш високими просторовими частотами. Визначено переважне значення фазового відтворення з чого можливо зробити висновок про те, що точки та лінії зберігають своє точне місцеположення, що забезпечує високу якість ідентифікації об'єктів та середовищ.

У третьому розділі приведено комп'ютерне моделювання процесу реконструкції діагностичних зображень. Процес реконструкції та виводу діагностичних зображень представлено у вигляді послідовності операцій, що відображені у розробленій структурній схемі та алгоритмічній організації реконструкції діагностичних зображень сканованого середовища на основі запропонованого в другому розділі метода з використанням обраної обчислювальної процедури фільтрації.

Розглянуто рішення задачі реалізації алгоритму на програмному та апаратному рівні всіх стадій обробки, від реєстрації показань датчиків до формування та виводу інформації на дисплей. Потік даних достатньо великий, і стандартні методи рішення виявляються непридатними. Результати проведених досліджень в третьому розділі, показують, що використання алгоритмів цифрової обробки фазових голограм відбитого звукового поля надають можливість отримання зображення внутрішньої структури з високою точністю. Проведена детальна декомпозиція алгоритму роботи ультразвукової системи високого просторового і контрастного розрізнення, розглянуті варіанти реалізації всіх ділянок алгоритму, оцінені сучасні апаратні та програмні засоби, та обрані відповідні до задач діагностики матеріалів.

У четвертому розділі роботи запропонований метод реалізовано в системі обробки зображень та оцінки дефектів (неоднорідностей), що розроблений ІПМЕ в рамках виконання науково-дослідної роботи в ІПМЕ ім. Г.Є.Пухова НАН України «Розробка та дослідження систем ефективної обробки інформації в режимі реального часу для вирішення задач моделювання і діагностики в енергетиці».

Проведено її верифікацію та на основі експериментальних даних доведено її адекватність.

Оцінка обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність, новизна.

Сформульовані в дисертаційній роботі наукові положення, висновки та рекомендації достатньо повно обґрунтовані здобувачем та викладені у доказовій формі.

Наукова новизна одержаних особисто здобувачем результатів полягає у наступному:

Вперше дано формальне визначення поняття «діагностичне зображення», як моделі в контексті задачі ідентифікації, що відкриває можливість застосовувати відомі підходи теорії ідентифікації для формулювання і розв'язання задачі підвищення якості реконструкції діагностичних зображень.

На основі проведеного аналізу існуючих методів, технологій, систем і засобів реконструкції діагностичних зображень, визначено роздільну здатність діагностичних зображень як ключовий фактор якості діагностичного зображення, а критерієм якості реконструйованого сигналу визначено відносну похибку, що в свою чергу дало можливість визначити вимоги для розробки методу реконструкції діагностичних зображень.

Вперше запропоновано метод реконструкції діагностичних зображень, в якому для усунення завад ревербераційної та нормальної природи вперше застосовано процедури фільтрації chebwin, що забезпечило стійкість до похибок вимірювань та обчислень та 6-кратне підвищення просторового розрізнення.

Розроблено алгоритм реконструкції діагностичних зображень, розглянуті варіанти реалізації всіх ділянок алгоритму, оцінені сучасні апаратні та програмні засоби, обрано варіант реалізації, яким є рішення з застосуванням програмованих логічних інтегральних схем, використання яких дає можливість виконання умови обробки інформації в темпі поточного часу.

Запропоновано імітаційний комплекс дослідження розрізнувальної здатності діагностичних зображень аномалій матеріалів та середовищ.

Достовірність наукових положень

Достовірність наукових положень дисертаційної роботи підтверджується наступними факторами:

Коректно поставлені мета та задачі дисертаційного дослідження, методи дослідження, що використовуються в роботі (математичне моделювання, обчислювальні процедури реконструкції діагностичних зображень, що базуються на процедурі фільтрації сигналів-завад різної природи, на використанні методів спектрального аналізу і цифрової обробки сигналів. В роботі використаний матричний апарат лінійної алгебри і алгоритми цифрової фільтрації. Для комп'ютерного моделювання сигналів, процесів дефектоскопічної системи використано середовище пакета "MATLAB" і його розширень, застосовані коректно. Результати роботи якісно апробовані та впроваджені в медичній та будівельній сферах, подана заявка на патент на корисну модель

Наукове значення дисертаційної роботи полягає у подальшому розвитку методів та систем для якісної реконструкції діагностичних зображень неруйнівного контролю матеріалів та в медичній діагностиці.

Практичне значення дисертаційного дослідження полягає в наступному:

Запропонований обчислювальний метод дозволяє покращити просторове розрізнення системи в 6 разів, що дозволяє:

- в медичній діагностиці підвищити ефективність виявлення низько контрастних новоутворень початкової стадії розвитку;
- в задачах неруйнівного контролю для виявлення найдрібніших дефектів матеріалів та середовищ (в авіабудуванні, на підприємствах енергетики та паливної промисловості).
- в будівництві дозволяє проводити дослідження залізобетонних конструкцій та стінових панелей в будівництві, що дозволяє проводити діагностику будівель та споруд на міцність: виявлення прихованих дефектів; виявлення розривів арматури, а так же реального стану її анкерування; виявлення часткових / повних руйнувань бетону або залізобетону на різних ділянках; виявлення зсувів окремих елементів; виявлення конструктивних прогинів і деформацій; виявлення корозійних ділянок в бетоні.

Запропонований метод реалізовано в системі обробки зображень та оцінки дефектів (неоднорідностей), розроблений ПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України в рамках проекту «Компас-Д»

Практична значимість одержаних результатів і достовірність наукових положень підтверджені актами впровадження, копії яких приведені у дисертації.

Мова та стиль викладення дисертації та автореферату дозволяють зрозуміти суть розроблених наукових положень та одержаних практичних результатів. Дисертація та автореферат в цілому відповідають вимогам, які висуваються до його оформлення відповідно до «Порядку присудження наукових

ступенів» затвердженого Постаново Кабінету Міністрів України від 24.07.2013р. №567 (із змінами) та суттєво не відхиляються від вимог ДСТУ 3008-2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення.» і «Вимог до оформлення дисертацій» затверджених наказом Міністерства освіти та науки України від 12.01.2017 №40.

Поряд з тим, в тексті дисертації зустрічаються синтаксичні (наприклад, стор. 18, 28) та інколи орфографічні помилки та русизми (наприклад стор. 32). В цілому зміст дисертації та автореферату викладено логічно та послідовно.

Підтвердження повноти викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях.

За напрямом дисертаційних досліджень здобувачем опубліковано 14 наукових праць, з яких: 9 статей у фахових наукових виданнях з переліку ДАК України, і 5 матеріалів тез доповідей на наукових конференціях. Перелічені публікації повною мірою відображають наукові і практичні результати дисертаційної роботи.

З праць, що опубліковані в співавторстві, у дисертації використані лише ті результати, які отримані автором особисто.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає актуальність, мету та задачі, основні наукові положення, практичну значущість, апробацію дисертації, її зміст по розділах, та висновки. Дисертаційна робота та автореферат оформлені у відповідності з вимогами МОН України., що ставляться до кандидатських дисертацій.

Зауваження до роботи

До основних зауважень дисертаційної роботи можна віднести наступні:

1. У вступі до дисертаційної роботи (стор. 21-22) приведені провідні виробники виробів діагностичної візуалізації та зазначено, що в дефектоскопії розробка технологій формування та реконструкції зображень дефектів сканованих об'ємів матеріалів знаходиться на недостатньому рівні, проте, не приведені кількісні показники якості, за якими більш точно можна було б розуміти необхідність підвищення якості.
2. В розділі 1 (стор. 41) стверджується, що з виразу (1.7) випливає, що дифракційний картина суми точкових джерел об'єктної площини S являється лінійною сумою точкових голограм, відповідних окремим джерелам коливань в об'єктній площині, але інформація про кожне точкове джерело об'єктної площини не є представленою повною мірою, з чого, можна

- зробити висновок, що модель звукової голограми не достатньо адекватно описує відбите поле середовища, що зондується.
3. Не обґрунтовано твердження, що модель звукової голограми «достатньо адекватно» описує відбите поле зондованого середовища, враховуючи, що середовище, досліджується не можна уявити у вигляді однорідної площини з випадково розподіленими в ній аномаліями середовища (стор.42-43)
 4. Зазначено, що математична задача одержання діагностичного зображення зводиться до реконструкції функції границь дефекту по реєстрованому набору сигналів, одержаних різними способами але не відображене повною мірою уточнення та якими саме способами, сказано лише, що з допомогою УЗ сканерів відтворення $I(r)$ здійснюється умовно і завжди мається вірогідність викривлень, пов'язаних з коефіцієнтом відбиття. Наприклад, якщо є деяка границі в $I(r)$, але на ній коефіцієнт відбиття з якихось причин дорівнює нулю, то УЗ сканер в принципі не виявляє цю границю.
 5. Дифракційний інтеграл Релея-Зоммерфельда (стор. 63), хоча і відображає математичну залежність комплексних амплітуд сферичних хвиль в об'ємі звукового імпульсу від комплексних амплітуд в об'єктній площині, проте не дає можливості здійснити його обернення з метою рішення основної задачі – отримання діагностичних зображень, але вирішення задачі можливо здійснити після проведення деяких апроксимацій рівняння (2.11), що запропоновано автором на (стор.63-64).
 6. Із проведених імітаційних досліджень, представлених на (стор. 138-139) зрозуміла перевага запропонованого методу при заданій глибині зондування до 150мм, проте не відображені результати досліджень на більших глибинах зондування, також не зрозуміло відображена ефективність використання методу в дослідженнях твердих матеріалів при неруйнівному контролі.
 7. В дисертаційній роботі містяться помилки та описки, стилістично невдало побудовані речення.

Висновки

Не зважаючи на приведені зауваження до дисертаційної роботи, вважаю, що вони не знижують цінність та загальну позитивну оцінку роботи. Дисертаційна робота Огір О.О. «Метод підвищення якості реконструкції діагностичних зображень на основі інтегральних перетворень» є завершеною працею, що містить висунуті здобувачем наукові положення та науково обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати, що вирішують важливу науково-прикладну задачу, що полягає в підвищення якості діагностичного зображення аномалій в середовищах і матеріалах на основі удосконалення процесу діагностичної візуалізації результатів ультразвукових досліджень.

Мета роботи, поставлені та вирішені задачі, викладені наукові та практичні результати дозволяють зробити висновок, що дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи та профілю спеціалізованої вченої ради Д 26.185.01.

На підставі проведеного аналізу дисертаційної роботи Огір Олени Олександрівни «Метод підвищення якості реконструкції діагностичних зображень на основі інтегральних перетворень» можна зробити висновок, що за актуальністю, науковим рівнем та отриманою науковою та практичною цінністю результатів вона відповідає пп. 9, 10, 12, 13 затвердженого Постановою КМУ України від 24.07.2013р. №567 (із змінами) та суттєво не відхиляються від вимог ДСТУ 3008-2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення.» і «Вимог до оформлення дисертацій» затверджених наказом Міністерства освіти та науки України від 12.01.2017 №40, а її автор Огір Олена Олександрівна заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент

доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Інституту електродинаміки НАН України
провідний науковий співробітник,
відділу №12

Зварич



Зварич Валерій Миколайович

підпис *Зварич Валерій Миколайович* засвідчую:
Інституту електродинаміки
Нац. Академії наук України

*ср. Інспектор ІМЕ
Ладосько Т. А. Лиз*