

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

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

Широкому розвитку та поширенню технологій діагностичної візуалізації сприяють дослідження та розробки широкого спектру вітчизняних та закордонних наукових установ і компаній, зокрема, Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона, Інституту кібернетики ім. В. М. Глушкова, Інституту проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного, Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка, Національного авіаційного університету, Харківського університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут", Acuson (USA), General Electric (США), Toshiba, Hitachi, Aloka (Японія), Philips (Нідерланди), Siemens (Німеччина), Esaote (Італія), «Раскан» (Росія). Ці технології знаходять широке застосування в медицині, енергетичному машинобудуванні, авіапромисловості, суднобудуванні, трубопровідному транспорті, будівництві тощо.

Однак сьогоднішній рівень якості зображень в наявних системах не завжди задовольняє сучасні потреби практики, зокрема, через низьку якість просторового та контрастного розрізнення аномалій на фоні нормального стану об'єктів в діагностичному зображенні, присутність значної кількості сигналів-завад різної природи, що спотворює вихідне акустичне зображення сканованого об'єму.

Проведений аналіз показав, що на даний час в системах аналізу і обробки оперативної інформації (діагностичної візуалізації) використовується метод фокусування зображення на основі трансверсальної фільтрації. При цьому неможливо врахувати похибки початкових фаз сигналів, що обумовлені флуктуаціями швидкості ультразвукового сигналу при його розповсюдженні. Також характерним є наявність методичної похибки апроксимації фазових даних за методом Френеля, що визначається апроксимацією реальних сферичних хвиль їх параболічними наближеннями. Вказані недоліки призводять до похибок в отриманих сигналах, що значно ускладнює можливість отримання адекватних зображень внутрішньої структури об'єктів та структур, що досліджуються.

*ГПМЕ № 259
10.09.2020р.*

Отже, актуальним науковим завданням є розвиток методів математичного моделювання для підвищення якості діагностичних зображень, як графічних моделей, сформованих за результатами ультразвукових досліджень

Актуальність теми дисертаційної роботи О. О. Огір підтверджується тим, що робота виконана в рамках науково-дослідних робіт: «Розробка і дослідження голографічної системи ультразвукового контролю матеріалів, середовищ і об'єктів з високим просторовим і контрастним розрізненням» в межах комплексної програми «Науково-технічні проблеми інтеграції енергетичної системи України в Європейську енергетичну систему», «Розробка та дослідження комп'ютерної системи відтворення акустичних зображень внутрішньої структури матеріалів та середовищ» (шифр «Ехосканер» – № держреєстрації 0109U008402), «Розробка та дослідження систем ефективної обробки інформації в режимі реального часу для вирішення задач моделювання і діагностики в енергетиці» (шифр КОМПАС-Д – № держреєстрації 0114U007366).

Одержані результати, наукове і практичне значення, матеріали впровадження у виробництво виконаних Огір О.О. досліджень підтверджують актуальність дисертаційної роботи.

Оцінка змісту дисертаційної роботи, її завершеність

Дисертаційна робота є завершеною працею. Вона складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури (108 найменувань) та додатків.

У вступі обґрунтована актуальність теми дослідження, встановлений зв'язок роботи з науковими програмами планами і темами, сформульована мета роботи, основні задачі досліджень і методи їх вирішення. Подано опис об'єкту і предмету досліджень, викладені наукова новизна і практичне значення результатів, надані відомості про апробацію результатів роботи та публікації.

У першому розділі дисертаційної роботи на основі аналітичного огляду літературних джерел проведено всебічний аналіз процесів формування та реконструкції діагностичних зображень в існуючих системах, в роботі пропонується визначити, що діагностичне 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». Цей процес розглядається в контексті дослідження об'єктів та середовищ випромінюванням ультразвукових хвиль в досліджуваний об'єкт (або в середовище) з подальшим прийняттям і обробкою відбитих коливань з метою визначення наявності аномалій, що підпадає під визначення

ідентифікації в широкому розумінні (структурна та параметрична ідентифікація).

В роботі показано, що важливими факторами, які впливають на якість реконструкції діагностичних зображень, зокрема є: флуктуації тривалості та амплітуди сумарного сигналу, які визначаються зміненням форми фронтів сигналів при розповсюдженні в досліджуваному середовищі; завади ревербераційної і нормальної природи.

Аналіз існуючих зразків ультразвукової візуалізації показав, що в алгоритмах реконструкції зображень зазвичай приймаються заходи для придушення “несанкціонованих” сигналів. Більш детальна інформація про відбивачі (елементи аномалії) одержується за допомогою сканування об’єкту контролю в різних напрямках. В результаті одержується набір розподілу сигналів $F_i(L)$, i – індекс, що характеризує положення сканера по відношенню до поверхні об’єкта контролю. Далі здійснюється спільна обробка функцій $F_i(L)$ з метою реконструкції зображення відбивачів у площині сканування. Діагностичне зображення формується з відміток, зерен або плям різної яскравості і різних розмірів для одного і того ж точкового об’єкта, як з елементів мозаїки. Причиною цього є різна поперечна і поздовжня роздільна здатність на різних глибинах зондування. Чим менші елементи мозаїки, тим чіткіше і менш зернисте формується акустичне зображення.

У *другому розділі* визначено та доведено ефективність застосування цифрової фільтрації сигналів-завад ревербераційного типу і вторинних дифракційних максимумів діагностичних зображень, що задовольняє вимогу стійкості до похибок вимірювань і обчислювальних шумів та відповідають визначеним критеріям якості реконструкції. Обраний фільтр Чебишева, який дозволяє отримати мінімально спотворений сигнал на акустичній осі звукового променю шляхом Фур’є-перетворення, значно зменшуючи вплив ревербераційних завад і вторинних дифракційних максимумів Фур’є-перетворення у порівнянні з фільтрами Бесселя та Баттерворта, що забезпечують найбільш плоску характеристику в смузі пропускання, що досягається за рахунок повільної зміни характеристики у перехідній області, тобто між смугами пропускання і затримки. Обидва фільтра також мають погану фазочастотну характеристику, тобто таку, що викликає значні фазові спотворення на зображенні.

Розроблено обчислювальний метод реконструкції діагностичних зображень з високим розрізненням, який складається з послідовності математичних перетворень та з використанням обраної процедури фільтрації. З точки зору теорії і практики при використанні розробленого метода в значній мірі зберігається кореляція між сигналами, із цього робиться висновок про те, що точки та лінії зберігають своє місцеположення. Слід зазначити, що амплітуди спектральних складових на високих частотах мають тенденцію до спаду, в той час як деталі об’єктів відображаються більш високими просторовими частотами, безпосередньо пов’язаними із зміною фазової

інформації, що забезпечує високу достовірність реконструкції діагностичних зображень.

У *третьому розділі* дисертаційної роботи запропоновано структурну та алгоритмічну організацію реконструкції діагностичних зображень сканованого середовища на основі запропонованого методу з використанням обраної обчислювальної процедури фільтрації.

Розглянуто розв'язок задачі реалізації алгоритму на програмному та апаратному рівні всіх стадій обробки, від реєстрації показань датчиків до формування та виводу інформації на дисплей. Проведена детальна декомпозиція алгоритму роботи ультразвукової системи інтроскопії високого просторового і контрастного розрізнення, розглянуті варіанти реалізації всіх ділянок алгоритму, оцінені сучасні апаратні та програмні засоби, та обрані відповідні до задачі діагностики матеріалів. Доведено, що використання алгоритмів цифрової обробки фазових голограм відбитого звукового поля надають можливість отримання зображення внутрішньої структури з високою точністю.

У *четвертому розділі* дисертаційної роботи розроблено структурну та алгоритмічну організацію комплексу імітаційного моделювання процесу реконструкції зображень при використанні запропонованого методу, порівнюючи отримані значення відносних похибок впливів досліджуваної точки і сумарного прийнятого сигналу, можна стверджувати, що просторова роздільна здатність при використанні фазової інформації відбитого сигналу, в кілька разів перевищує роздільну здатність наявних систем, які розглянуто в першому розділі роботи.

Важливим результатом цього розділу є реалізація запропонованого автором методу в системі обробки зображень та оцінки дефектів (неоднорідностей), проведено його верифікацію та на основі експериментальних даних доведено адекватність. Результати роботи впроваджено в медичній та будівельній сферах.

В додатках до дисертаційної роботи подано акти впровадження.

Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій

Висновки до дисертації, які зроблені автором, є дійсно наслідком змісту проведених наукових досліджень. Їх обґрунтованість доведено, як теоретично, так і експериментально. А саме, за результатами отримано метод для підвищення якості реконструкції діагностичних зображень на основі математичного та комп'ютерного моделювання при неруйнівному контролі неоднорідних матеріалів та середовищ та в медичній діагностиці, який реалізований в системі обробки зображень та оцінки аномалій (неоднорідностей).

Матеріали дисертаційної роботи доповідалися на 4 конференціях та описані у 10 статтях, що опубліковані у фахових наукових виданнях.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

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

Практичне значення дисертаційного дослідження полягає в наступному: розроблено програмний засіб реконструкції та виводу діагностичних зображень, в якому за рахунок застосування запропонованих рішень забезпечено можливість визначення параметрів діагностичних зображень, які забезпечують підвищення їх діагностичної цінності (в медичній діагностиці для виявлення низько контрастних новоутворень початкової стадії розвитку; в задачах неруйнівного контролю для виявлення найдрібніших дефектів матеріалів та середовищ (в будівництві, на підприємствах енергетики та паливної промисловості)).

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

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційного дослідження повною мірою відображені в опублікованих роботах. За напрямом досліджень, проведених здобувачем, опубліковано 14 наукових праць, з яких: 10 статей у фахових наукових виданнях (з них 4 статті у виданнях, що включені у міжнародні наукометричні бази) і 4 публікації у працях і матеріалах наукових конференцій. Публікації повною мірою відображають наукові і практичні результати дисертаційної роботи.

Зміст та кількість публікацій Огір О. О., повнота відображення в них результатів дисертаційного дослідження відповідають існуючим вимогам.

Оформлення дисертації та автореферату

Зміст автореферату відповідає змісту дисертації. Автореферат містить основні положення, висновки і рекомендації, подані в дисертації, а також всю необхідну для оцінки роботи інформацію.

Мова і стиль викладення дисертації і автореферату чітко висвітлюють одержані науково-практичні результати, які відповідають меті досліджень.

Оформлення дисертації та автореферату відповідає існуючим вимогам та рекомендаціям відповідних положень.

Зауваження по дисертації та автореферату

1. У висновках до розділу 1 стверджено, що незалежно від алгоритму реконструкції відображення дефекту, він, по суті, є лише інтерпретатором дефекту, тобто на основі деяких принципів і уявлень про формування сигналів алгоритм здійснює розрахунок зображення. Таким чином, завжди є вірогідність, що деякі дефекти не будуть представлені на зображенні, або навпаки можуть формувати помилкові картини дефектів (артефакти), але як загальний висновок, не представлено кількісне підтвердження даного твердження.
2. В розділі 2 п.2.2 частково подані результати аналізу, які доцільно було б перенести до загального аналізу в розділі 1.
3. В розділі 2 на стор. 53 автор відмічає, що є суттєві недоліки систем з синтезом апертури, що можуть впливати на якість відтворених діагностичних ультразвукових зображень, але в тексті не приведено жодного з них. Подано перелік недоліків в першому розділі дисертації та не зрозуміло чи саме на них посиляється автор в другому розділі.
4. В розділі 2 на стор.64 подано тезу «В реальних умовах в системах ультразвукового контролю матеріалів умови (2.12) означають значні обмеження на величину апертури вимірювань $2x_{0max}$, оскільки існують фізичні обмеження на величину Z – глибину зондування через значне затухання високочастотних компонент сигналів при розповсюдженні ультразвуку на великі глибини Z . Ці обмеження є неприйнятні, оскільки

вони знижують поперечну розрізнявальну здатність системи». Не зрозуміло чи в однаковій мірі ці обмеження впливають на розрізнявальну здатність в медичній діагностиці та неруйнівному контролі матеріалів, адже мова йде різну структуру і щільність досліджуваних середовищ.

5. В розділі 2 на стор. 73-74 не зрозуміло тлумачення, як здійснюється оцінка амплітуди постійної складової сигналу в точці на об'єктній лінії при тому, що інші спектральні складові в растровому методі формування зображення втрачають сенс.
6. В розділі 3 не приділено достатньої уваги опису створених програмних засобів та рівень програмної та обчислювальної складності, що реалізують запропонований в розділі 2 математичний метод.
7. В текстах дисертаційної роботи та автореферату присутні стилістичні та орфографічні помилки. Пропущені індекси в кількох формулах (наприклад, 2.20, 2.33).
8. На деякі джерела із списку літератури пропущені посилання в тексті дисертації.

Загальні висновки до дисертаційної роботи

Подані зауваження не знижують наукову цінність отриманих результатів і значною мірою стосуються оформлення дисертації та не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Дисертація Огір Олени Олександрівни «Метод підвищення якості реконструкції діагностичних зображень на основі інтегральних перетворень» є завершеною науковою працею, в якій отримано нові, науково обґрунтовані та апробовані практичні результати, які вирішують важливу та актуальну науково-технічну задачу підвищення якості реконструкції діагностичних зображень на основі математичного та комп'ютерного моделювання при неруйнівному контролі неоднорідних матеріалів та середовищ та в медичній діагностиці. Зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Дисертаційна робота відповідає вимогам, що пред'являються до кандидатських дисертацій, 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

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інформатики
Кам'янець-Подільського національного
університету імені Івана Огієнка



В. А. Іванюк