

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Стрілецького Юрія Йосиповича на тему “Методи та засоби опрацювання сигналів при дослідженні спектрального імпедансу елементів промислових систем”, подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп’ютерні системи та компоненти

### **Актуальність теми дисертації**

На даний час методи неруйнівного контролю матеріалів та компонентів є важливим класом серед існуючих різноманітних методів з широкою областю застосування. Зокрема, вони використовуються для перевірки якості сталевих інфраструктури нафто- та газопроводів.

Інформаційно-вимірювальна система неруйнівного контролю базується на процесах оцінки та перевірки матеріалів або компонентів для виявлення недоліків та дефектів за умови збереження оригінальної структури досліджуваного об’єкту.

Технології неруйнівного контролю забезпечують економічно ефективні засоби тестування елементів промислових систем. Існуючі методи та прилади неруйнівного контролю, в основі яких лежить імпедансний підхід не в повній мірі використовують обсяг інформації, який знаходиться в інформаційному сигналі. Для виявлення дефекту в контрольованому об’єкті аналізують лише зміну амплітуди або амплітуди і фази при неперервному збудженні. Це створює певні обмеження при вимірюванні діагностичних параметрів і знижує якість ІВС неруйнівного контролю.

Враховуючи це вважаю, що тема дисертаційної роботи Стрілецького Ю.Й., яка присвячена створенню нових підходів, методів та засобів опрацювання сигналів при дослідженні спектрального імпедансу, що забезпечують високу точність, є важливою та актуальною.

### **Зв'язок роботи із науковими програмами, темами**

Дисертаційна робота виконувалася відповідно до плану науково-дослідних робіт у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу, а саме: фундаментальні наукові роботи Міністерства освіти України (теми Д22/95 і Д6/98) і науково-дослідного інституту нафтогазових технологій (НДІ НГТ) Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу (госпдоговірна тема № 9/98 за договором з ВАТ «Укрнафта» м. Київ); Д-8/04-Ф, реєстраційний № 0104U004086, «Дослідження нових технологій підвищення ефективності видобування вуглеводнів, в тому числі з низькодебітних свердловин»; Gr/F27/0150, реєстраційний № 0110/002628, «Розроблення нового методу неруйнівного контролю ранніх стадій корозії металевих конструкцій»; К1/2009, реєстраційний № 0109U008878, «Наукові основи розробки методів, систем і нормативної бази для вимірювання та контролю обладнання і технологічних параметрів в нафтогазовій галузі»; К1/2015, реєстраційний № 0115U007099, «Науково-організаційні засади нарощування видобутку вітчизняних нафти і газу, їх транспортування та диверсифікації постачання для підвищення енергетичної безпеки України», в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність**

Запропоновані у дисертаційній роботі підходи і методи опрацювання сигналів при дослідженні спектрального імпедансу обґрунтовані з наукової та технічної точок зору. Обґрунтованість одержаних висновків і результатів дисертаційної роботи базується на коректному використанні математичного апарату, зокрема теорії цифрового опрацювання сигналів, спектральної теорії, теорії вимірювань, теорії ймовірності, теорії інваріантності, теорія електричних кіл, теорія автоматичного керування, методів і засоби проектування й імплементації цифрових систем на кристалі та математичного моделювання комп'ютерних засобів.

Достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджується збіжністю результатів експериментальних досліджень розроблених технічних засобів та отриманими теоретичними співвідношеннями.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

Наукова новизна дисертаційної роботи Стрілецького Ю.Й. полягає у вирішенні важливої та актуальної науково-прикладної проблеми – підвищення ефективності роботи ІВС неруйнівного контролю елементів промислових систем. Основними науковими результатами є:

1) вперше розроблено метод визначення амплітуди вибраної спектральної складової сигналу відклику із застосуванням збуджуючого сигналу у вигляді пари гармонійних коливань, близьких до неї за частотою, на основі рекурсивного аналізу їх синхронно визначених амплітуд і побудови регресійної моделі, що дало змогу підвищити точність вимірювання амплітуди корисного сигналу при визначенні спектрального імпедансу за рахунок зменшення впливу сторонніх моночастотних завад зосереджених у спектральній смузі досліджуваних сигналів у порівнянні із результатом отриманим з використанням дискретного перетворення Фур'є;

2) вперше розроблено метод формування і опрацювання інформаційних сигналів на основі модуляції випадковими кодовими послідовностями, використання яких дало змогу розширити спектральну щільність зосереджених на одній частоті завад, завдяки чому зменшити вплив когерентних, стаціонарних широкосмугових й імпульсних завад на досліджуваний сигнал при його синхронному усередненні після демодуляції, що дало можливість підвищити точність вимірювання амплітуди корисного сигналу, отриману в процесі моделювання, порівнянні із дискретним перетворенням Фур'є;

3) вперше розроблено метод визначення частоти власних коливань механічних систем, модульованих зміною їх фізичних параметрів на основі генерування пари опорних сигналів і налаштування їх симетрично відносно максимуму спектральної щільності в смузі частот першої гармоніки, що дало

змогу визначити відношення частоти вищих гармонік першої моди до реальних власних частот і встановити рівень втрати енергії в фізичному об'єкті при його коливних деформаціях із роздільною здатністю представлення результуючої частоти вищою за точність представлення дискретної частотної складової дискретизованого сигналу;

4) вперше розроблено метод оцінки огинаючої спектральної складової ковзним дискретним віконним перетворенням Фур'є на основі синтезу періоду гармонійного сигналу за його четвертою частиною після використання перетворення Гільберта і маніпулюючи значеннями в межах півперіоду, що дало змогу зменшити часову затримку при відтворенні амплітудної згинаючої спектральної складової та підвищити інформативність дослідження змінюваного в часі сигналу при дослідженні швидкоплинних процесів;

5) набув подальшого розвитку метод визначення затримки поширення сигналу заданої частоти, модульованого однобітним кодом на основі використання множини опорних сигналів, отриманих зсувом модульованого сигналу на певні кути, та визначення з їх допомогою коефіцієнтів взаємної кореляції із досліджуваним сигналом впродовж реалізації коду на льоту (fly-by), що дало змогу зменшити час опрацювання сигналу, а також усунути потребу в цифровій пам'яті для зберігання дискретизованих значень досліджуваного сигналу в процесі опрацювання;

6) набув подальшого розвитку метод збудження інерційної резонансної коливальної системи широкосмуговим сигналом, модифікований фільтром із адаптивно корегованими коефіцієнтами, отриманими за допомогою усереднення спектральної щільності відклику цієї системи на збуджуючий сигнал, що дало змогу зменшити час збудження окремих складових системи та збільшити точність визначення їх власних резонансних частот в режимі вільних коливань та отримати в результаті експериментальних досліджень роздільну здатність визначення частоти на рівні 0.01 Гц;

7) набув подальшого розвитку метод опрацювання сигналу, отриманого при дослідженні вільних коливань механічних систем на основі ітераційного

підбору частоти і коефіцієнта затухання лінійної регресійної моделі коливання, параметри якої обчислюються шляхом апроксимації, що дало змогу підвищити точність визначення частоти власних коливань системи в межах визначеної частотної смуги і знайти числове значення коефіцієнта затухання коливання з урахуванням впливу сторонніх завад у досліджуваному сигналі.

### **Практичне значення та ефективність результатів дисертаційних досліджень**

Цінною рисою дисертації є те, що створена теоретична база забезпечила побудову та впровадження ряду ІВС підвищеної точності і завадостійкості, а також побудовано спеціалізовані процесори на базі ПЛІС FPGA як основа ІВС неруйнівного контролю промислових систем, що дало можливість визначати спектральний імпеданс параметрів їх елементів.

За результатами роботи розроблені: ІВС для дослідження стану ізоляційного покриття підземних металевих трубопроводів; ІВС для виявлення розподілених по об'єму структурних змін в металі за змінами відношення власних коливань струнного сенсора, який є складовою коливальної системи; ІВС виявлення локальних структурних змін у металевій стінці труби за зміною її теплопровідності; ІВС для вимірювання ємності металевих поверхонь, яка використовується для дослідження імпедансу електрохімічної комірки з розвиненою площею електродів і високою електричною ємністю; ІВС для вимірювання швидкості електрохімічної корозії на поверхні підземного металевого трубопроводу за величиною поляризаційного опору; ІВС для вимірювання положення дзвона дзвонової витрати вимірювальної установки з використанням струнного сенсора; ІВС для вимірювання електричного імпедансу ділянки на частотах від 0.001Гц до 12МГц; ІВС для визначення швидкості електрохімічної корозії впроваджено на виробничих підприємствах УНДП ВАТ «Укрнафта»; ІВС для вимірювання положення дзвона взірцевої установки витрати газу впроваджено в фірмі «Темпо» (м. Івано-Франківськ); ІВС контролю та вимірювання параметрів процесу заряд-розряду

електрохімічних комірок використовувалася лабораторією кафедри матеріалознавства і новітніх технологій фізико-технічного факультету ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» та Інституту металофізики НАН України.

Основні результати дисертаційної роботи знайшли застосування при виконанні держбюджетних робіт у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу.

Результати дисертаційної роботи також впроваджені в навчальному процесі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу на кафедрах методів та приладів контролю якості і сертифікації продукції, інформаційно-вимірювальної техніки, систем управління та автоматики, геофізики.

#### **Повнота викладу результатів в опублікованих працях, апробація роботи**

Аналіз сукупності наукових результатів, поданих в роботі Стрілецького Ю. Й. дає змогу зробити висновок про їх цілісність і засвідчує особистий внесок автора в науку щодо розроблення нових методів та засобів опрацювання сигналів при створенні ІВС неруйнівного контролю елементів промислових систем.

Дисертаційна робота написана зрозуміло, науково-технічна література використовується коректно.

Основні результати досліджень опубліковані досить повно на відповідному рівні у 50 наукових працях, з них 28 статей у наукових журналах та вісниках (9 – одноособових), 5 патентів України, 17 – у працях та тезах конференцій.

Опубліковані роботи в повній мірі охоплюють основні результати дисертаційних досліджень.

Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням і висновкам, зробленим в дисертації.

Зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

### **Недоліки та зауваження.**

До недоліків та зауважень дисертаційної роботи можна віднести:

1. Перший розділ перенасичений загальною інформацією, однак відсутнє табличне або графічне узагальнення проведеного аналізу.

2. В другому розділі відсутнє чітке виокремлення розроблених методів, тобто в тексті відсутні ключові слова: розроблено метод..., запропоновано ...

3. В першому пункті наукової новизни вказано, що дало змогу підвищити точність вимірювання амплітуди на близько 95% однак з роботи не зрозуміло звідки взялася ця цифра.

4. Назва розділу 5 «Методи опрацювання сигналів при вимірюванні спектрального імпедансу нестационарних процесів» а пункти розділу присвячені розробці ІВК (5.1 ІВК для вимірювання електричного...; 5.2 Розробка ІВК для спектральної спектроскопії).

5. В пункті 4.2.5 «Збудження коливань шумоподібним сигналом» не вказані параметри та вимоги до шумоподібного сигналу.

6. В роботі зустрічаються стилістичні неточності та помилки при наборі тексту: ст.87, 97 (рис. 1.27), 100, 102, 174 (рис.3.13), 196 та інші.

7. Розроблені засоби (розділ 7) не достатньо відображені в авторефераті.

Незважаючи на вказані зауваження та недоліки, загалом оцінка дисертації позитивна.

### **ВИСНОВОК**

Дисертаційна робота Стрілецького Ю. Й. на тему “Методи та засоби опрацювання сигналів при дослідженні спектрального імпедансу елементів промислових систем” є завершеною, самостійно підготовленою кваліфікаційною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані та практично цінні результати, що вирішують важливу науково-прикладну

проблему підвищення ефективності опрацювання вимірювальних сигналів на основі спектрального підходу в ІВС неруйнівного контролю промислових систем.

Вважаю, що актуальність обраної теми дисертації, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, новизни та повноти викладу в опублікованих працях відповідають вимогам п.п. 9, 10, 12 "Порядку присудження наукових ступенів, а її автор, Стрілецький Юрій Йосипович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

**Офіційний опонент,  
завідувач кафедри кібербезпеки  
Тернопільського національного  
економічного університету,**

**д.т.н., доцент**



**В.В. Яцків**

