

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Стрілецького Юрія Йосиповича «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.**

В системах критичного застосування, наприклад, об'єктах ядерної енергетики, аерокосмічні системи та інші, важливим критерієм є експлуатаційна надійність впродовж терміну експлуатації. Деякі технічні показники елементів промислових систем перевіряють при виготовленні й впродовж терміну їх експлуатації. Перевірка здійснюється на основі результатів вимірювання певного технологічного параметра і подальшого його аналізу на придатність. Використання електронних цифрових засобів для перетворення і аналізу вимірюваних сигналів суттєво підвищило точність і достовірність результатів.

При проведенні неруйнівного контролю одним із напрямків узагальнення є спосіб оцінки контрольованого параметра. Такий підхід використовується при пошуку імпедансу в електриці, механіці чи акустиці, де імпеданс повною мірою характеризує поведінку об'єкта. Загальним параметром, який описує поведінку об'єкта, є множина імпедансів, залежних від частоти. Множина імпедансів, залежних від частоти, яку отримано імпедансною спектроскопією, є спектральним імпедансом. Таким чином, **актуальною** є проблема створення системи контролю промислових систем на основі узагальнюючого підходу, який дозволяє удосконалити неруйнівні дослідження елементів промислових систем із представленням їхніх параметрів у вигляді спектрального імпедансу.

**Дисертаційна робота виконувалась** згідно з планами науково-дослідних НДР у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу.

**Наукова новизна та теоретична цінність результатів.** В дисертаційній роботі виконано теоретичне обґрунтування та отримано рішення актуальної науково-прикладної проблеми створення системи нейрувнівного контролю промислових об'єктів в основі роботи якої є багаточастотна оцінка досліджуваного елемента, подана у вигляді спектрального імпедансу і присвячена дана дисертаційна робота.

**Наукова новизна відображена у наступних отриманих результатах, які мають теоретичну цінність:**

1) новий 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, яка додатково описує сторонні складові з домінуючими амплітудами, що дало змогу підвищити точність вимірювання амплітуди корисного сигналу при

визначенні спектрального імпедансу за рахунок зменшення впливу сторонніх сигналів як широкосмугових, так і зосереджених у спектральній смузі досліджуваних сигналів;

2) новий метод формування і обробки інформаційних сигналів на основі модуляції випадковими кодовими послідовностями, використання яких дозволило 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;

3) новий 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;

4) новий метод оцінки огинаючої спектральної складової ковзним вікном із синтезованим періодом на основі побудови періоду гармонійного сигналу за його четвертою частиною, що дозволило збільшити точність відтворення форми спектральної складової в часі та підвищити інформативність дослідження змінюваного в часі сигналу, що описує швидкоплинні процеси;

5) модифікований 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, що дало змогу зменшити час обробки сигналу, а також зменшити об'єм пам'яті для зберігання дискретизованих значень досліджуваного сигналу в процесі обробки;

6) модифікований метод збудження інерційної резонансної коливальної системи широкосмуговим сигналом, модифікований фільтром із адаптивно корегованими коефіцієнтами, що отримано за допомогою усереднення спектральної щільності відклику цієї системи на збуджуючий сигнал, що дозволило зменшити час та збільшити точність визначення власних резонансних частот цієї коливальної системи в режимі вільних коливань;

7) модифікований метод обробки сигналу, отриманого при дослідженні вільних коливань механічних систем на основі ітераційного підбору частоти і коефіцієнта затухання лінійної регресійної моделі коливання, параметри якої шукаються 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.

Визначені основні наукові результати є **новими**.

**Теоретичне значення роботи** полягає у розвитку теорії та методів цифрової обробки дискретизованих сигналів у засобах неруйнівного контролю,

розробці та доведення до інженерного застосування програмно-апаратних засобів на основі спектрального підходу для визначення спектрального імпедансу елементів промислових систем, створенні нових ефективних інформаційно-вимірювальних систем, зокрема у компонентах первинного перетворення інформації і системах обробки дискретної інформації.

Ці методи забезпечили підвищення точності визначення - амплітуди корисного сигналу при визначенні спектрального імпедансу, частоти власних коливань систем, а також підвищити точність та час обробки сигналів і збільшити точність відтворення форми спектральної складової.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у тому, що на основі розроблених теоретичних засад, методів і математичних моделей створено нові методики й алгоритми обробки сигналів, побудовано інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) підвищеної точності і завадостійкості, а також спеціалізовані процесори, що дало можливість визначати спектральний імпеданс окремих параметрів елементів промислових систем.

Розроблені методи та засоби доведено до інженерного рівня, вони знайшли застосування в низки пристроїв.

Прилад для визначення швидкості електрохімічної корозії впроваджено на виробничих підприємствах УНДПІ ВАТ «Укрнафта». ІВК для вимірювання положення дзвона взірцевої установки витрати газу впроваджено в фірмі «Темпо» (м. Івано-Франківськ). Прилад контролю та вимірювання параметрів процесу заряд-розряду електрохімічних комірок використовувався лабораторією кафедри матеріалознавства і новітніх технологій фізико-технічного факультету ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» та Інституту металофізики НАН України. Вказані провадження підтверджуються відповідними актами.

Методологічні й наукові результати дисертаційної роботи також впроваджено в навчальний процес у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу на кафедрі методів та приладів контролю якості і сертифікації продукції, інформаційно-вимірювальної техніки, систем управління та автоматики, геофізики.

**Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів.** Отримані результати є обґрунтованими та достовірними, це підтверджується значним обсягом здійснених досліджень, поданим фактичним матеріалом та його науковою інтерпретацією, практичним використанням запропонованих розробок та апробацією на наукових конференціях і семінарах.

У роботі коректно застосовано основні положення теорії цифрової обробки сигналів, вимірювань, ймовірності, електричних кіл, автоматичного керування, теорії множин, теорії інтегрального числення, спектральної теорії та теорії інваріантності (дослідження принципів побудови ІВС).

Достовірність висновків та рекомендацій підкріплена результатами моделювання, а також відповідними публікаціями.

**Оцінюючи зміст дисертаційної роботи в цілому,** слід відмітити її обґрунтованість та практичну спрямованість, внутрішню єдність матеріалу. У

цілому поставлені в розглянутій дисертації завдання вирішені повністю. Здобувачем у дисертації отримані науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують актуальну науково-прикладну проблему створення системи неруйнівного контролю промислових об'єктів підвищеної точності в основі функціонування якої є багато частотна оцінка досліджуваного елемента, подана у вигляді спектрального імпедансу.

Дисертаційна робота оформлена згідно вимогам до докторських дисертацій.

**Повнота викладу результатів роботи в опублікованих працях.** Основні результати дисертації з достатньою повнотою відображено в 50 друкованих працях, з яких - 28 статей у фахових наукових виданнях (з них 9 одноосібно) та 5 патентів на винаходи. Результати апробовано на науково-технічних конференціях, що зафіксовано в 17 опублікованих тезах та доповідях конференцій. Аналіз внеску автора в публікації по питаннях, висвітлених в дисертації, показав, що внесок Ю.Й. Стрілецького є *вирішальним*.

**Рекомендації щодо використання результатів.** Отримані автором результати можуть бути використані при розробці нових і модифікації існуючих промислових систем для нейрувного контролю її елементів. Результати роботи доцільно використовувати в організаціях та на підприємствах, які займаються експлуатацією та нейрувним контролем промислових систем. Їх доцільно також використовувати в навчальному процесі, зокрема при викладанні курсів, пов'язаних з розробкою спеціалізованих інформаційно-вимірювальних систем та методами цифрової обробки сигналів.

**Автореферат** повною мірою відображає зміст і основні положення дисертаційної роботи.

**Недоліки дисертаційної роботи.** Разом з тим дисертаційна робота має і ряд недоліків, серед яких необхідно відзначити наступні:

1. Матеріали дисертації перевантажено довідковою інформацією, яку доцільно було б перенести до Додатків.
2. Запропонований в роботі метод визначення затримки поширення сигналу заданої частоти, модульованого однобітним кодом на основі використання множини опорних сигналів дозволяє виконати обробку за рахунок використання обробки на льоту (fly-by), тобто не зберігати дискретизовані значення (немає потреби у наявності пам'яті). Це прискорює обробку. А чим за цю перевагу треба платити?
3. Не зовсім зрозуміло, чому для обробки не використано стандартні комп'ютерні засоби? На сьогодні технологія "Internet of Things" дозволяє збирати інформацію з датчиків, передавати по каналах зв'язків, й далі обробляти за допомогою стандартних засобів. Але ж розглянуті системи не є системами із оберненими зв'язками, а системами контролю, тобто уся обробка може виконуватися у віддаленому центрі обробки.
4. Бажано було б навести інформацію про кристали FPGA, які використано при створенні відповідних пристроїв, та часові й апаратні оцінки.

5. Чому ІВС для вимірювання електричного імпедансу ділянки функціонує лише на частотах від 0,001Гц до 12МГц?

**Загальний висновок по дисертації.** Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, у якій отримано розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми створення системи нейрувнівного контролю промислових об'єктів в основі роботи якої є запропонована багаточастотна оцінка досліджуваного елемента, подана у вигляді спектрального імпедансу.

Робота є *актуальною*, містить *нові наукові результати*, автором дотримано цілісність підходу.

Дисертаційна робота на тему «Методи та засоби опрацювання сигналів при дослідженні спектрального імпедансу елементів промислових систем» є завершеним науковим дослідженням, відповідає вимогам п.п. 9, 10 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. (зі змінами), а її автор – Стрілецький Юрій Йосипович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

## **ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ.**

Провідний науковий співробітник  
відділу мікропроцесорної техніки  
Інституту кібернетики  
ім. В.М. Глушкова НАН України,  
д.т.н., проф.



**Опанасенко В.М.**