

**ВІДГУК**  
**офіційного опонента**

доктора технічних наук, доцента Любчика Віталія Романовича, професора кафедри телекомунікацій та радіотехніки Хмельницького національного університету на дисертаційну роботу Ващишина Любомира Володимировича на тему «Виявлення сигналів дефектів при магнітодинамічній діагностиці залізничних рейок шляхом використання вейвлет-перетворень та нейронних мереж», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

**Актуальність теми**

Контроль технічного стану залізничних рейок призначений забезпечити безпечну експлуатацію залізничного транспорту. Для цього використовують різні методи неруйнівного контролю рейок, за допомогою яких отримують дефектоскопічні сигнали, що можуть містити інформацію про різного роду дефекти. Виявлення фрагментів сигналів від дефектів на фоні завад та інших сигналів від регулярних елементів колії є одночасно складною і важливою задачею.

Магнітодинамічна дефектоскопія широко використовується для діагностики технічного стану залізничних рейок. Хоча вона дає змогу контролювати лише верхню частину головки рейки, за її допомогою виявляються найпоширеніші та найнебезпечніші дефекти рейок у вигляді поперечної та поздовжньої тріщин. Незважаючи на певні досягнення з удосконалення методів і засобів магнітодинамічної дефектоскопії, основне навантаження в процесі виявлення сигналів від дефектів припадає на операторів вагонів-дефектоскопів. Автоматизація процесу виявлення сигналів від дефектів (включно з дефектами на початкових етапах їх розвитку), що вимагає як теоретичних, так і експериментальних досліджень, дозволить підвищити ефективність діагностики залізничної колії та безпеку на залізничному транспорті в цілому. Підсумовуючи сказане можна зробити висновок, що тема дисертаційної роботи є актуальною.

**Зв'язок дисертаційних досліджень з науковими програмами,  
планами, темами**

Дисертаційне дослідження пов'язане з виконанням науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України, які виконувались на кафедрі радіоелектронних пристроїв та систем Національного університету «Львівська політехніка», зокрема, науково-дослідні роботи: "Розроблення і дослідження малогабаритних компонентних давачів та методик опрацювання інформаційних сигналів для діагностики залізничної колії" (2015-2016 рр., номер державної реєстрації 0115U000434) та "Розроблення і дослідження методів достовірного виявлення, опрацювання та класифікації дефектів при магнітодинамічній діагностиці залізничних рейок" (2017-2018 рр., номер державної реєстрації 0117U004453). У Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України у відділі відбору і обробки стохастичних сигналів виконувались наступні науково-дослідні роботи: "Дослідження методів відбору і опрацювання діагностичних сигналів при багатоконпонентній магнітній дефектоскопії залізничних рейок" (2010 р., номер державної реєстрації 0110U000435), "Розробка методів аналізу і обробки багатомірних сигналів зі стохастичною повторюваністю та створення вимірювальних систем для вібродіагностики" (2011-2013 рр., номер державної реєстрації 0110U000433) та "Розробка методів і засобів багатомірного спектрального аналізу періодичних нестационарних стохастичних коливань для задач технічної діагностики" (2013-2015 рр., номер державної реєстрації 0113U000304).

### **Аналіз змісту дисертації**

Метою дисертаційної роботи Ващишина Любомира Володимировича є виявлення сигналів від дефектів залізничних рейок на початкових стадіях їх зародження та збільшення швидкості опрацювання дефектоскопічних сигналів шляхом автоматизації процесу виявлення дефектів за допомогою вейвлет-перетворень та штучних нейронних мереж.

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і трьох додатків. Загальний обсяг роботи складає 185 сторінок, із них 120 сторінок основного тексту, список використаних джерел із 108 найменувань, 73 рисунки, 2 таблиці та 3 додатки. В додатках подано код розробленого програмного забезпечення, акти впровадження результатів дисертаційної роботи та список наукових праць автора.

*У вступі, відповідно до вимог, обґрунтована актуальність обраної теми*

дисертаційного дослідження, сформульовані мета, об'єкт і предмет дослідження, визначена наукова новизна і практична цінність отриманих результатів, наведено відомості про їх апробацію та характеристику публікацій.

*В першому розділі* проведено аналіз існуючих методів мобільної діагностики залізничних рейок. Проведено порівняння ультразвукового, магнітодинамічного, імпульсного вихрострумowego, автоматизованого візуального та гібридного методів неруйнівного контролю. Здійснено аналіз наукових праць присвячених магнітодинамічній дефектоскопії залізничних рейок. Описано принцип роботи та основні функціональні вузли магнітного вагона-дефектоскопа на прикладі вагона-дефектоскопа № 442 Львівської залізниці, а також наведено перелік та опис дефектів, що виявляються даним типом дефектоскопа.

*В другому розділі* дисертації досліджено характерні особливості дефектоскопічних сигналів від регулярних (рейкові підкладки, накладки, стики, тощо) та нерегулярних (в основному, маються на увазі дефекти) елементів залізничного шляху та здійснено порівняння методів цифрової обробки сигналів для їх аналізу. Крім того, представлено аналіз впливу на форму сигналу від поперечної тріщини в головці рейки таких факторів як: швидкість руху вагона-дефектоскопа, розмір, глибина залягання, ширина розкриття тріщини та наявність виходу на поверхню.

*В третьому розділі* дисертації здійснено аналіз реального дефектоскопічного сигналу за допомогою неперервного вейвлет-перетворення (НВП). Розглянуто існуючі математичні моделі, які дозволяють описати поле від дефекту типу поперечної тріщини. Описано процес створення материнської вейвлет-функції для НВП, яка адаптована до виявлення сигналів від поперечної тріщини в головці рейки. Проаналізовано залежність величини вейвлет-коефіцієнтів від масштабу для сигналів від поперечної тріщини в головці рейки та сформульовано перелік рекомендацій для виявлення сигналів від дефектів за допомогою НВП, при магнітодинамічній дефектоскопії залізничних рейок.

*В четвертому розділі* роботи досліджено можливості дискретного вейвлет-перетворення (ДВП) для аналізу та обробки дефектоскопічних сигналів. Здійснено декомпозицію дефектоскопічного сигналу за допомогою ДВП з використанням вейвлету Добеші 6-го порядку. Визначено, що ДВП можна використовувати для очистки від шуму та компресії, однак ці операції

вносять спотворення форми сигналів від дефектів, а тому, пороги на вейвлет-коефіцієнти повинні вибиратись таким чином, щоб мінімізувати величину цих спотворень. Щодо використання ДВП для виявлення сигналів від дефектів, – то воно можливе лише на фоні адитивних слабо-корельованих перешкод.

*В п'ятому розділі* описано процес вибору архітектури, підбору параметрів та навчання штучної нейронної мережі (ШНМ) для виявлення сигналів від поперечної тріщини в головці рейки. Збудована мережа дала змогу виявляти сигнали від поперечної тріщини в головці рейки, амплітуда яких лише в 2 рази менша за рівень виявлення дефектів при візуальному огляді оператором вагона-дефектоскопа. Це дало змогу виділяти сигнали від слабо розвинутих дефектів та здійснювати моніторинг розвитку дефектів між заїздами вагона-дефектоскопа. Здійснено опис розробленого програмного забезпечення для аналізу дефектоскопічних сигналів, яке на основі НВП та ШНМ виділяє ті фрагменти дефектограми, які з великою імовірністю (імовірність правильного виявлення сигналів від поперечної тріщини при співвідношенні сигнал/шум 1,5 рівна 92%) походять від дефектів. При цьому, швидкість опрацювання діагностичної інформації становить 14623 м/с (на описаному в дисертаційній роботі обладнанні). Це дозволило підвищити ефективність та достовірність результатів контролю технічного стану залізничних рейок та спростити роботу оператора вагона-дефектоскопа, якому необхідно переглядати лише виділені програмою фрагменти.

### **Наукова новизна**

На підставі поглибленого аналізу змісту дисертаційної роботи можна зробити висновок про наявність наукової новизни отриманих результатів, що полягає в наступному:

1. Вперше запропоновано материнську вейвлет-функцію для НВП на основі дефектоскопічного сигналу від поперечної тріщини в головці рейки, яка відрізняється від відомих вейвлетів більш точною локалізацією дефектних сигналів за часом та масштабом. Це дало змогу в 2 рази збільшити чутливість магнітодинімічного методу діагностики залізничних рейок.

2. Вперше запропоновано метод опрацювання дефектоскопічних сигналів на основі НВП та ШНМ, який відрізняється від відомих можливістю виявлення сигналів з різною кількістю відліків, що дало змогу

автоматизувати процес виявлення дефектів різної протяжності (наприклад, поздовжнє горизонтальне розшарування головки рейки).

3. Удосконалено метод виявлення сигналів від поперечної тріщини в головці рейки при магнітодинамічній діагностиці залізничних рейок, який, на відміну від існуючих, забезпечує виявлення дефектів на початкових етапах їх розвитку, починаючи зі співвідношення сигнал/шум 1,5 (імовірність правильного виявлення – 92%), що уможливило вчасне виявлення та моніторинг розвитку небезпечних дефектів.

### **Наукове і практичне значення результатів отриманих в дисертаційній роботі**

Наукове і практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх безпосереднього застосування в магнітодинамічній дефектоскопії залізничних рейок.

До основних практичних результатів дисертаційної роботи слід віднести: алгоритм створення материнської вейвлет-функції НВП, для виділення сигналів від дефектів, які виявляються магнітодинамічним методом дефектоскопії залізничних рейок; збудовану ШНМ для аналізу дефектоскопічних сигналів, яка дала змогу виявляти сигнали від поперечної тріщини в головці рейки на початкових стадіях розвитку дефекту, починаючи від співвідношення сигнал/шум 1,5 (що в 2 рази краще, ніж поріг при візуальному огляді сигналів оператором вагона-дефектоскопа); експериментальні дослідження ДВП при аналізі та обробці дефектоскопічних сигналів.

Основні результати дисертації підтверджено відповідними актами про впровадження та використання.

### **Ступінь обґрунтування наукових положень та достовірність результатів.**

Ступінь обґрунтованості наукових положень та достовірність результатів підтверджується коректним використанням теорії сигналів та методів їх цифрової обробки: кореляційних, спектральних, неперервне та дискретне вейвлет-перетворення сигналів; методів моделювання та навчання штучних нейронних мереж, а також комп'ютерного моделювання з використанням прикладних пакетів MATLAB.

### **Відповідність дисертації встановленим вимогам**

Дисертація написана структуровано, послідовно та логічно. Оформлення дисертації відповідає вимогам до дисертаційних робіт. Автореферат відображає зміст дисертації. Стиль викладу матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття.

### **Зауваження до дисертаційної роботи**

1. Під час проведення порівняльного аналізу методів неруйнівного контролю, наведеного у таблиці 1.1 стор. 51, доцільно було виділити окремо переваги і недоліки за окремими ознаками, такими як можливість виявлення дефектів в головці, шийці та підшві рейки, характеру та розміру дефекту, роздільна здатність, швидкість вимірювання тощо.

2. У роботі обмежене дослідження дефектів головки рейки лише поперечними тріщинами за кодом 21 та незначним згадуванням поздовжньої тріщини за кодом 30.Г. Ці дефекти, за статистикою, складають близько 40% та 25% відповідно – більшість усіх випадків. Потрібно було також розглянути інші поширені види дефектів, які проявляються у меншій кількості, але також мають місце.

3. Окрім методів спектрального аналізу, віконного спектрального аналізу та вейвлет-аналізу сигналів існують інші види методів дослідження – методи дослідження миттєвого спектру, фрактальний аналіз – які теж доцільно було розглянути під час проведення дослідження методів аналізу сигналів.

4. Під час дослідження дефектоскопічного сигналу методом ДВП п.4.3 стор. 121 потрібно було вказати характеристики дефекту (розміри, наявність виходу на поверхню, тощо). Також для узагальнення висновків потрібно було провести математичне моделювання для дефектів різної величини і глибини залягання. Отримані результати описати у розділі, а графіки навести у додатках.

5. В тексті дисертаційної роботи, а особливо у висновках, потрібно було більш чітко окреслити зміст пунктів другого та третього отриманих наукових результатів.

6. В авторефераті потрібно було більш раціонально представити результати дисертаційної роботи. Так недоцільним було представляти рис.2 на всю сторінку, рис.4 та рис.7 можна було представити у меншому форматі.

### Загальний висновок по роботі

Вважаю, що дисертаційна робота Ващишина Любомира Володимировича є завершеним науковим дослідженням, направленим на вирішення актуального наукового завдання, що полягає у виявленні сигналів від дефектів залізничних рейок на початкових етапах їх розвитку та збільшенні швидкості опрацювання дефектоскопічних сигналів шляхом автоматизації процесу виявлення дефектів. За актуальністю обраної теми, науковою новизною і практичною значимістю результатів досліджень, робота відповідає існуючим вимогам до кандидатських дисертацій, а її автор Ващишин Любомир Володимирович заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

Офіційний опонент  
доктор технічних наук, доцент  
професор кафедри  
телекомунікацій та радіотехніки  
Хмельницького національного університету

В.Р. Любчик

Підпис Любчика В.Р. засвідчую  
Перший проректор, проректор з НП та НР  
Хмельницького національного університету,  
д.т.н., професор  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.



М.П. Войнаренко