

## ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата технічних наук,  
доцента Возняка Олега Михайловича  
на дисертаційну роботу Серченко Максима Сергійовича «Підвищення  
завадостійкості рейкових кіл залізничної автоматики шляхом впровадження  
фільтрів з нанокристалічним осердям», подану на здобуття наукового  
ступеня доктора філософії з галузі знань 27 – Транспорт за спеціальністю  
273 – Залізничний транспорт

### 1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Сучасний розвиток залізничного транспорту України характеризується запровадженням цифрових технологій управління рухом поїздів, модернізацією систем сигналізації, централізації та блокування, а також поступовою інтеграцією вітчизняної транспортної системи до європейського транспортного простору. Водночас на значній частині електрифікованих ліній продовжують експлуатуватися рейкові кола та інші пристрої залізничної автоматики, функціонування яких значною мірою залежить від рівня електромагнітної сумісності з системами тягового електропостачання.

Застосування сучасного тягового рухомого складу, силових напівпровідникових перетворювачів та цифрових систем управління супроводжується зміною спектрального складу тягових струмів і збільшенням рівня електромагнітних впливів на пристрої залізничної автоматики. За таких умов особливого значення набуває забезпечення надійної роботи рейкових кіл, від функціонування яких безпосередньо залежить безпека руху поїздів.

У зв'язку з цим збільшується потреба у дослідженнях, спрямованих на вдосконалення методів оцінювання електромагнітної обстановки, розвиток засобів діагностування технічного стану рейкових кіл та пошук нових технічних рішень для підвищення їх завадостійкості.

Дисертаційна робота Серченко М.С. присвячена вирішенню актуального науково-прикладного завдання підвищення завадостійкості рейкових кіл

залізничної автоматики шляхом дослідження можливостей застосування фільтрів із нанокристалічними осердями та розробки методів діагностики електромагнітних завад. Отримані результати мають як науковий, так і практичний інтерес для подальшого розвитку систем залізничної автоматики та забезпечення електромагнітної сумісності систем, які використовуються на залізничному транспорті.

## **2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.**

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій оцінюю як достатньо високий. Автором використано комплекс взаємодоповнюючих методів дослідження, зокрема теоретичне моделювання електромагнітних процесів у багатопровідних системах, натурні вимірювання параметрів рейкових кіл та експериментальні дослідження розроблених технічних рішень.

Достовірність отриманих результатів підтверджується узгодженістю результатів математичного моделювання з експериментальними даними, отриманими на об'єктах залізничної автоматики та Дніпровського метрополітену. Також важливим з цього погляду є наявність результатів натурних вимірювань електромагнітних завад та складу гармонік тягового струму, що дозволяє розглядати отримані висновки не лише як результат комп'ютерного моделювання, а як такі, що пройшли експериментальну перевірку та верифікацію.

Позитивним моментом роботи вважаю також виконану автором оцінку адекватності математичної моделі за статистичними критеріями Фішера та Стьюдента, що підтверджує можливість її використання для інженерних розрахунків і дослідження електромагнітної взаємодії між системою тягового електропостачання та пристроями залізничної автоматики.

Практичну достовірність результатів підтверджують акти впровадження, а також отримані експериментальні характеристики фільтрів із

нанокристалічним осердям, які узгоджуються з теоретичними передумовами щодо переваг нанокристалічних матеріалів для підвищення завадостійкості пристроїв залізничної автоматики.

### **3. Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій**

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи Серченка М.С. полягає у вирішенні актуального науково-технічного завдання підвищення завадостійкості рейкових кіл залізничної автоматики в умовах дії електромагнітних завад від систем тягового електропостачання.

Вважаю, що найвагомішими результатами, які характеризуються науковою новизною роботи є:

- удосконалення математичної моделі електромагнітної взаємодії між системою тягового електропостачання та рейковими колами, яка на відміну від відомих моделей враховує взаємний вплив контактної мережі, рейкових ниток, ліній СЦБ, ліній поздовжнього електропостачання та землі (запропонований підхід дозволив підвищити точність оцінювання електромагнітної обстановки на електрифікованих ділянках залізниць);
- подальший розвиток методів моніторингу параметрів рейкових кіл шляхом одночасного вимірювання сигналів у чотирьох суміжних рейкових колах (запропоноване рішення створює передумови для подальшого переходу від планово-попереджувальної системи технічного обслуговування до обслуговування за фактичним технічним станом);
- розробка методу класифікації електромагнітних завад із використанням алгоритмів машинного навчання на базі згорткової нейронної мережі та класифікатора Random Forest (запропонований підхід є сучасним інструментом діагностики та може бути використаний у перспективних системах моніторингу технічного стану систем залізничної автоматики);
- найвагомішим результатом роботи, на думку опонента, є запропонований підхід до підвищення завадостійкості кодових і тональних рейкових кіл шляхом використання фільтрів із нанокристалічним осердям

(запропоноване технічне рішення дозволяє покращити електромагнітну сумісність систем тягового електропостачання та пристроїв залізничної автоматики, а також створює передумови для зменшення масогабаритних показників фільтрів, покращенням їх частотних характеристик при модернізації існуючих пристроїв залізничної автоматики).

Отримані у роботі результати характеризуються належним рівнем наукової новизни, логічно взаємопов'язані між собою, мають практичну спрямованість та становлять інтерес для подальшого розвитку методів забезпечення електромагнітної сумісності й підвищення завадостійкості систем залізничної автоматики.

#### **4. Практична значущість результатів дослідження і рекомендації щодо їх використання**

Практична значущість дисертаційної роботи Серченко М.С. полягає у розробці та експериментальній перевірці технічних рішень, спрямованих на підвищення завадостійкості рейкових кіл та покращення електромагнітної сумісності систем тягового електропостачання із пристроями залізничної автоматики.

На думку опонента, до найважливіших практичних результатів роботи слід віднести:

- удосконалення методів автоматизованого контролю параметрів кодового струму та електромагнітних завад на постах електричної централізації, що створює передумови для впровадження елементів діагностування технічного стану рейкових кіл без порушення процесу руху поїздів;
- розрахунок, виготовлення та експериментальне дослідження дослідних зразків котушок із нанокристалічними осердями, характеристики яких свідчать про можливість їх використання у складі фільтрів пристроїв залізничної автоматики;

- отримання експериментальних характеристик нанокристалічних фільтрів, які підтверджують можливість зменшення масогабаритних показників пристроїв при збереженні необхідних електротехнічних характеристик;
- виконання техніко-економічного оцінювання запропонованих рішень, результати якого свідчать про потенційну економічну доцільність їх практичного використання.

Практичну цінність роботи підтверджують результати апробації та впровадження окремих положень дисертації в діяльність КП «Дніпровський метрополітен», а також використання результатів дослідження в освітньому процесі Українського державного університету науки і технологій.

Отримані результати можуть бути використані під час модернізації існуючих та проектування нових систем залізничної автоматики, розробці засобів моніторингу електромагнітної обстановки, а також при виконанні досліджень у сфері електромагнітної сумісності на залізничному транспорті.

## **5. Загальна характеристика роботи**

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел та додатків. Робота побудована логічно і структура дослідження відповідає поставленій меті та сформульованим завданням.

У першому розділі автором виконано аналіз сучасного стану досліджень у сфері електромагнітної сумісності систем тягового електропостачання та пристроїв залізничної автоматики. На основі проведеного аналізу обґрунтовано актуальність теми дослідження, визначено основні проблеми забезпечення завадостійкості рейкових кіл та сформульовано напрями подальших досліджень.

Другий розділ присвячений математичному моделюванню електромагнітної взаємодії між елементами системи тягового електропостачання та пристроями залізничної автоматики. Запропонована

модель є основою для подальшого аналізу електромагнітної обстановки та оцінювання впливу тягових струмів на функціонування рейкових кіл.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень параметрів рейкових кіл та електромагнітних завад, а також розглянуто можливості застосування сучасних методів машинного навчання для автоматизації процесів діагностування та моніторингу технічного стану пристроїв залізничної автоматики. Особливий інтерес становлять результати натурних вимірювань, отримані на діючих об'єктах інфраструктури.

Четвертий розділ присвячений дослідженню можливості використання нанокристалічних осердь у складі фільтрів рейкових кіл. Автором виконано розрахунок, виготовлення та експериментальне дослідження характеристик дослідних зразків, а також проведено оцінювання перспектив їх практичного застосування для підвищення завадостійкості пристроїв залізничної автоматики.

Загалом дисертаційна робота характеризується логічною послідовністю викладення матеріалу. Розділи взаємопов'язані між собою, а отримані результати послідовно формують наукове підґрунтя для вирішення поставленого у роботі науково-прикладного завдання.

Дисертаційна робота виконана в межах наукового напрямку, пов'язаного з дослідженнями електромагнітної сумісності систем тягового електропостачання та пристроїв залізничної автоматики, який послідовно розвивається в Українському державному університеті науки і технологій. Отримані результати логічно продовжують попередні дослідження у сфері моніторингу електромагнітної обстановки, математичного моделювання електромагнітних процесів та забезпечення завадостійкості рейкових кіл, водночас містять нові результати, спрямовані на розширення можливостей практичного застосування сучасних матеріалів і методів діагностики в системах залізничної автоматики.

## **6. Повнота та стиль викладу наукових положень висновків і рекомендацій в опублікованих працях**

Основні результати дисертаційної роботи достатньо повно відображені в наукових публікаціях автора та пройшли апробацію на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях.

За темою дисертації опубліковано 21 наукову працю, серед яких статті у виданнях, що індексуються в міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science, стаття у фаховому науковому виданні України, а також тези доповідей на наукових конференціях різного рівня. Тематика опублікованих праць охоплює основні напрями дослідження, зокрема питання електромагнітної сумісності систем тягового електропостачання та рейкових кіл, моніторингу електромагнітних завад, застосування методів машинного навчання для їх класифікації та використання нанокристалічних матеріалів у пристроях залізничної автоматики.

Аналіз опублікованих праць свідчить про те, що основні положення наукової новизни, висновки та практичні результати дисертаційної роботи знайшли належне відображення у фахових наукових виданнях та були предметом наукового обговорення під час конференцій і наукових форумів.

Представлені публікації дають можливість оцінити послідовність виконання досліджень та еволюцію наукових результатів від питань моніторингу електромагнітної обстановки до обґрунтування можливості застосування нанокристалічних осердь у складі фільтрів пристроїв залізничної автоматики.

Наведені в дисертації результати належним чином апробовані, а обсяг і рівень публікацій здобувача відповідають вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

Особистий внесок здобувача в опублікованих працях належним чином відображений у дисертації та не викликає зауважень.

## **7. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності**

Під час ознайомлення з дисертаційною роботою Серченка Максима Сергійовича та його науковими публікаціями ознак порушення принципів академічної доброчесності не виявлено.

У дисертації належним чином наведено посилання на використані джерела інформації, результати досліджень інших авторів та нормативнотехнічну документацію. Аналіз змісту роботи не дає підстав вважати, що представлені результати отримані з порушенням вимог академічної доброчесності.

На підставі проведеного аналізу дисертаційної роботи та наукових публікацій здобувача вважаю, що надане до опонування дослідження виконане з дотриманням принципів академічної доброчесності.

## **8. Дискусійні положення та зауваження до змісту роботи**

До отриманих результатів роботи здобувача є наступні дискусійні положення та маю такі зауваження:

### **1. Щодо термінології математичної моделі:**

У розділі 2.1 автор характеризує розроблену модель як «дванадцятиполюсник». Оскільки модель описує взаємодію контактної мережі, двох рейкових ниток, ліній СЦБ, ліній поздовжнього електропостачання та землі, доцільним було б більш детально обґрунтувати використання саме цього терміна та його переваги порівняно з традиційним представленням системи у вигляді багатопровідної лінії.

### **2. Щодо врахування параметрів заземлення:**

У роботі зазначено, що модель враховує вплив заземлення опор контактної мережі, однак не наведено аналізу чутливості результатів моделювання до зміни параметрів заземлювальних пристроїв. Більш детальне дослідження цього питання дозволило б повніше оцінити вплив реальних експлуатаційних умов на електромагнітну обстановку.

3. Щодо використання синтетичного набору даних для навчання моделей машинного навчання:

Для навчання моделей CNN та Random Forest використано синтетичний набір даних, сформований на основі відомих типів електромагнітних завад. Отримані результати є переконливими, однак залишається відкритим питання щодо стійкості запропонованих моделей до реальних електромагнітних впливів, які можуть містити одночасно декілька типів завад або відрізнятися від умов, закладених при генерації навчальної вибірки. Бажано було б більш детально висвітлити перспективи адаптації моделі до реальних експлуатаційних даних.

4. Щодо зв'язку між методами машинного навчання та основною метою дисертації:

У третьому розділі значну увагу приділено розробленню методів класифікації електромагнітних завад із використанням алгоритмів машинного навчання. Отримані результати є актуальними та перспективними, однак у роботі недостатньо детально розкрито їх безпосередній вплив на досягнення основної мети дисертації — підвищення завадостійкості рейкових кіл шляхом впровадження фільтрів із нанокристалічним осердям. Доцільним було б більш чітко показати взаємозв'язок між результатами діагностики електромагнітних завад та параметрами запропонованих технічних рішень.

5. Щодо аналізу попередніх досліджень у предметній області:

У роботі наведено значний обсяг досліджень, присвячених електромагнітній сумісності систем тягового електропостачання та пристроїв залізничної автоматики. Разом з тим не завжди достатньо чітко показано, якою мірою запропоновані математичні моделі, методи моніторингу та підходи до оцінювання електромагнітної обстановки відрізняються від результатів, отриманих у попередніх роботах вітчизняних науковців, зокрема Т.М. Сердюк, В.І. Гаврилюка, А.Ю. Журавльова та інших дослідників. Більш детальне порівняння дозволило б повніше обґрунтувати рівень наукового приросту отриманих результатів.

6. Щодо порівняння запропонованого технічного рішення з сучасними аналогами:

У четвертому розділі наведено порівняння розробленого фільтра переважно зі штатними пристроями, які використовуються на об'єктах залізничної автоматики. Разом із тим доцільним було б розширити аналіз шляхом порівняння запропонованого рішення із сучасними фільтрами на основі інших магнітних матеріалів, що дозволило б більш повно оцінити переваги застосування саме нанокристалічних осердь.

7. Щодо температурної стабільності нанокристалічних осердь:

У роботі наведено характеристики нанокристалічних матеріалів та показано їх переваги порівняно з традиційними рішеннями. Разом із тим практичний інтерес становить питання зміни параметрів фільтрів у реальному діапазоні експлуатаційних температур, характерних для об'єктів залізничної автоматики. Наведення відповідних експериментальних результатів посилило б практичну складову дослідження.

## **9. Загальний висновок**

Дисертаційна робота Серченка Максима Сергійовича «Підвищення завадостійкості рейкових кіл залізничної автоматики шляхом впровадження фільтрів з нанокристалічним осердям» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальне науково-прикладне завдання підвищення завадостійкості рейкових кіл в умовах електромагнітного впливу систем тягового електропостачання.

Отримані автором результати характеризуються належним рівнем обґрунтованості, базуються на поєднанні теоретичних та експериментальних досліджень, мають практичну спрямованість і становлять інтерес для подальшого розвитку засобів забезпечення електромагнітної сумісності та підвищення надійності функціонування пристроїв залізничної автоматики.

Особливої уваги заслуговують результати дослідження можливості застосування нанокристалічних осердь у складі фільтрів рейкових кіл, а також

результати експериментального дослідження їх характеристик, які підтверджують перспективність використання таких технічних рішень у пристроях залізничної автоматики.

Висловлені у відгуку зауваження та дискусійні положення не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи та не впливають на основні наукові й практичні результати, отримані здобувачем.

На підставі викладеного вважаю, що дисертаційна робота Серченка Максима Сергійовича «Підвищення завадостійкості рейкових кіл залізничної автоматики шляхом впровадження фільтрів з нанокристалічним осердям» відповідає вимогам Постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (зі змінами), а її автор заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 27 «Транспорт» за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт».

Офіційний опонент,

доцент кафедри транспортних технологій

НУ «Львівська політехніка»

к.т.н., доцент

Олег ВОЗНЯК

Документ підписано кваліфікованим електронним підписом (КЕП), відповідно до Закону України «Про електронні довірчі послуги». Справжність підпису може бути перевірена засобами перевірки кваліфікованих електронних підписів.