

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри комп'ютерних систем та мереж, Криворізького національного університету Купіна Андрія Івановича

на дисертаційну роботу Колисниченка Іллі Юрійовича

«Автоматизація процесу ваговимірювання рухомих залізничних об'єктів»

на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю

151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», галузь знань

15 – «Автоматизація та приладобудування»

1. Актуальність теми досліджень.

Функціонування систем логістичних перевезень (транспортування) промислової продукції та матеріалів різного типу (рідкі, сипучі, спец вантажі тощо) в Україні та світі в теперішній час переважно базується на використанні залізничного транспорту. Наприклад, вітчизняна логістика останнім часом в умовах військових дій забезпечується залізницею на рівні 60-70% (за даними інформаційного агентства Укрінформ, 2022-2023 рр.). У свою чергу сучасний облік зараз потребує автоматизації типових процесів ідентифікації та зважування як рухомих залізничних об'єктів, так і самого вантажу, який транспортується.

Для вирішення цього завдання використовують статичні або динамічні тензометричні системи у залежності від потреб підприємств. Статичні системи достатньо точні, але вони займають велику кількість часу на розчіплювання вагонів у рухомому складі та зважування кожного вагону окремо.

Динамічні ж системи дозволяють виконувати зважування вагонів у рухомому складі без зупинки, що дозволяє пришвидшити процес зважування у рази. Але з динамічним зважування пов'язано декілька проблем. Зокрема це відсутність надійних апаратно-програмних рішень, які без додаткових підсистем (наприклад, розпізнавання номерів вагону, rfid-мітки тощо) можуть провести ідентифікацію рухомого об'єкту з вантажем та/або виконати зважування відповідно до тензометричних норм.

Отже, тематика дисертаційного дослідження, обраного здобувачем, є актуальною з точки зору вирішення завдання розробки критеріїв, методів та алгоритмів для автоматизації процесів ваговимірювання рухомих залізничних об'єктів, що дозволить виконувати ідентифікацію та зважування вагонів з необхідною точністю та в межах встановлених метрологічних норм.

2. Обґрунтування наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.

Сформульовані в дисертаційному дослідженні наукові положення базуються на отриманих наукових результатах при виконанні експериментальних досліджень, чисельному моделюванні та застосуванні штучного інтелекту до епюр.

У роботі науковою новизною є:

- Вперше сформульована умова досягнення максимальної точності класифікації типів залізничних вагонів, яка полягає у використанні функції Гевісайда при апроксимації експериментальних епюр тензOMETричних систем за умови підготовки вхідних даних для навчання (параметризації) системи.
- Вперше запропонований метод фрагментації сигналу з ваговимірювальної платформи на основі епюр проїзду вагонів, який дозволяє на основі таких характеристик, як співвідношення бази вагона до довжини вагона між автозчепленнями та вісність кожному фрагменту сигналу зіставити певну ділянку проїзду потяга, що є необхідною умовою підготовки даних для ефективного навчання (параметризації) системи.
- Вперше запропонований метод класифікації типів залізничних вагонів за такими характеристиками, як співвідношення довжини вагона до бази вагона, вісність, вага, кількість візків. В основі цього методу закладено використання набору характеристик рухомого залізничного об'єкту, комбінації яких є унікальною для різних моделей вагону. При цьому усунута залежність результатів від швидкості проїзду вагонів шляхом виконання нормалізації даних за

тензометричними показаннями та часом, що дозволяє підвищити пропускну спроможність ваговимірjuвальних систем підприємств.

- Вперше запропонований алгоритм визначення додаткового інформаційного критерію для класифікації типів вагонів на основі співвідношення бази вагону до довжини вагону між автозчепленням. В основі алгоритму покладено виконання підходів сегментації та кластеризації даних. При цьому база вагона визначається як відстань між серединою двох візків, а довжина вагона між автозчепленнями - як середня відстань між візками до середини автозчеплення. Додатковий критерій дозволяє виконати класифікацію вагонів у випадку ідентичності решти критеріїв.

Розбіжність результатів апроксимації з реальними даними становить менше 0.5 відсотка, що більш ніж достатньо для коректного відновлення проїзду рухомих об'єктів.

Отримані наукові результати є унікальними, корисними та значущими. Здобувач коректно використав методи штучного інтелекту та числові методи. Також було коректно взято до уваги проблеми, які можуть виникати при обробці даних обраними інструментами (наприклад, перенавчання нейронних мереж, ідентичність характеристик вагонів, вплив швидкості проїзду вагону на результат ідентифікації тощо).

3. Оцінка змісту роботи і повноти викладання.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів і висновків, містить 99 рисунків та 10 таблиць, список використаних джерел із 107 елементів і 1 додаток. Загальний обсяг дисертації – 143 сторінки.

Детальний аналіз дисертації показав її логічність, лаконічність, структурованість та високий рівень розуміння тематики дослідження здобувачем.

У **вступі** до дисертаційної роботи автор обґрунтовує актуальність проведення даного дослідження, формулює основну мету та завдання дослідження. Також визначається новизна отриманих результатів та їх практична цінність. У підрозділі, присвяченому апробації отриманих

результатів, наводиться перелік заходів, проведених для перевірки результатів, та зазначається кількість наукових публікацій, що стосуються теми дисертаційної роботи. Okремо відзначається особистий внесок автора у проведенні дослідження, наукова та практична новизна.

У першому розділі проводиться аналіз типів тензометричних систем, які можуть використовуватися підприємствами, аналіз типів рухомих залізничних об'єктів, побудови вагових платформ. Проведено аналіз існуючих алгоритмів зважування та ідентифікації рухомих обертів динамічних систем, а також алгоритмів категоризації локомотивів та вагонів. Okремо приділяється увага до метрологічних норм для тензометричних систем. Проведено аналіз існуючих досліджень у напрямку тензометричних систем. У висновку сформульовано план досліджень на підставі результатів аналізу існуючих рішень та виходячи з необхідності розробки системи, яка вирішить задачу автоматизації процесів ідентифікації та зважування об'єктів у русі.

Другий розділ присвячено ідентифікації сигналів динамічних режимів роботи ваговимірювальних платформ. На основі епюр, отриманих з реальної тензометричної системи, проведено апроксимації динамічних сигналів поліномами n -го ступеню та функцією Гевісайда.

У результаті виявлено, що для вирішення поставленого завдання достатню точність має апроксимація функцією Гевісайда. Похибка при цьому сягає близько 0.5 відсотка.

Завдяки нормалізації даних датчиків за часом, здобувачу вдалось уникнути залежності кінцевих результатів від швидкості проїзду вагону. Для цього визначена у процентному співвідношенні залежність перебування осей вагону на ваговій платформі. Це дало змогу ідентифікувати різні типи вагонів з однаковою вісністю, але різними характеристиками (база вагону, база візку тощо) на основі співвідношення часу перебування на ваговій платформі.

Третій розділ присвячений дослідженню елементів штучного інтелекту для побудови автоматизації процесу динамічного зважування рухомих залізничних об'єктів. Досліджено використання різних типів штучного інтелекту для вирішенні задачі ідентифікації та зважування. Доведено, що в

задачах ідентифікації вагонів у русі застосування методів штучного інтелекту (згорткові нейронні мережі та кластеризація) дозволяє досягати достатньої точності та ефективності.

Побудовано згорткову нейронну мережу для вирішення завдання категоризації візків та автозчеплень, яка показала результат розпізнавання на тестових даних близький до 100%. При практичному тестуванні на підприємстві показник розпізнавання дорівнював близько 99 відсотків.

Четвертий розділ присвячено експериментальним дослідженням моделей на основі згорткових нейронних мереж та алгоритмів кластеризації при ідентифікації та зважування вагонів у русі.

У межах розділу отримано низку алгоритмічних рішень та реалізовано їх у вигляді програмного забезпечення. Вони ідентифікують тип вагону за такими характеристиками як осність візку, осність вагону, співвідношення бази вагона до довжини вагона між автозчепленнями, маса осей.

Також було розроблено алгоритм для визначення додаткового інформаційного критерію класифікації типів вагонів на підставі співвідношення між базою вагона та довжиною вагона між автозчепленнями. Основою алгоритму є процедура сегментації та кластеризації даних, яка виконується такими етапами. База вагона визначається як відстань між серединою двох візків, а довжина вагона між автозчепленнями визначається як середня відстань між візками до середини автозчеплення. Цей додатковий критерій стає корисним у випадках, коли інші характеристики вагонів ідентичні. Він дозволяє виконати класифікацію вагонів, роблячи акцент на специфічних розмірах вагонів у контексті їхньої бази і довжини між автозчепленнями.

У **висновках** узагальнено наукову задачу, вирішену автором та основні отримані результати.

4. Апробація результатів дисертації.

За результатами наукових досліджень опубліковано 6 друкованих робіт, зокрема 4 у наукових фахових виданнях, 1 в матеріалах науково-технічної конференції з індексацією у наукометричній базі Scopus, 1 у матеріалах науково-технічних конференцій.

5. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.

У рамках вивчення дисертаційної роботи порушень академічної доброчесності та її принципів не було виявлено.

6. Практичне та наукове значення досліджень.

Отримані результати мають наукове та практичне значення, а тому можуть використовуватися науковцями в подальшому при дослідженні теми динамічного зважування на одноплатформних тензометричних системах.

Розроблена система ідентифікації та зважування використовується 2-ма підприємствами України, що ще більше підкреслює практичну цінність роботи.

7. Зауваження та пропозиції щодо змісту та оформлення дисертації.

Позитивно оцінюючи дисертаційне дослідження в цілому, хотілось би відзначити декілька окремих зауважень та/або пропозицій щодо цієї роботи:

1. Тему дисертації сформульовано достатньо узагальнено. Слід було для підкреслення оригінальності («родзинки») роботи додати деякі уточнення з урахуванням головних ідей автора (наприклад, «на основі методів обчислювального інтелекту», «нейромережевої класифікації» тощо).
2. Автором сформульовано дещо зовелику кількість (7) завдань дослідження (вступ, с.12-13). Доцільно було б це узагальнити за кількістю розділів роботи (4).
3. У першому розділі виконується порівняльний аналіз різних типів вантажоперевезень, їх недоліки/переваги та виділяється залізничний вид перевезень, що найбільше використовується на практиці. Не вистачає порівняння у відсотковому співвідношенні кількості перевезеного вантажу різними типами, щоб побачити, наскільки більшу перевагу підприємства надають саме залізничному типу. Крім того варто було б тут навести більшу кількість конкретних чисельних показників та/або їх порівняння для підкреслення актуальності досліджень автора.

4. На малюнку 1.22 наведено характеристики вагонів, але за підписами не зрозуміло, що таке «Об'єкт №23-4090», «Цистерни-багато» та інші. Слід більше конкретизувати тип рухомого об'єкту, який описується.
5. У пунктах 2.1 та 2.2 виконується апроксимація динамічних сигналів, отриманих з тензометричної системи поліномами та функцією Гевісайда. Автор зазначив, що отриманих результатів та похибки достатньо для вирішення поставленої задачі. Тут доцільно було б спробувати використати перетворювання Вейвлета для апроксимації отриманого сигналу, так як вони добре апроксимують саме ступінчаті сигнали.
6. Також у пп.2.2 автором застосовано без наведення достатнього обґрунтування поліноми 4-го і навіть 6-го ступеня. Як відомо, такий порядок нелінійності дуже чутливий для помилок інтерполяції.
7. У третьому розділі багато уваги приділяється теоретичній частині досліджень та аналізу методів штучного інтелекту, які використовуються для задач ідентифікації. Доцільно скоротити частину теоретичного опису і додати практичні дослідження цих методів.
8. Окремі висновки основних розділів мають характер простих анотацій (наприклад, на с.109, с.126 тощо).
9. Щодо оформлення дисертації. У роботі також присутні деякі неточності застосування спеціальної термінології (наприклад, «управління» замість «керування», с.21, с.109; «русизмів» («таким чином», с. 34, с.66), небажане застосування прийменника «по» (с.4, с.38, с.44 тощо), у формулах автором не завжди наводяться відповідні одиниці вимірювання.

8. Загальний висновок.

Дисертація виконана на високому науковому рівні, стиль написання роботи науковий, лаконічний, професійний.

Всі отримані результати є обґрунтованими, науково важливими. Практичні розробки апробовані та впроваджені в промислових умовах.

Завдання для дослідження, які було поставлено перед здобувачем, виконано у повному обсязі.

Вважаю, що зауваження є не знижують наукової та практичної цінності роботи, а націленими більше на її покращення у майбутніх дослідженнях автора. Дисертація відповідає всім вимогам, передбаченим постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44, а здобувач Колисниченко Ілля Юрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань «Автоматизація та приладобудування» за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Офіційний опонент

завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж

Криворізького національного університету МОНУ,

доктор технічних наук, професор



А.І. Купін

