

- [1] Sergii Panchenko, Alyona Lovska, Arsen Muradian, Yevhen Pelypenko, Pavlo Rukavishnykov, Oleksii Demydiukov. Identifying possible ways for adapting an open wagon for transporting containers. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2024. №5/7 (131). P. 6 – 14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.311324>
- [2] ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 162 с.

УДК 629.4.083:629.45

**РОЗВИТОК МЕТОДІВ АКУСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ КОЛІСНИХ ПАР З
БУКСОВИМИ ВУЗЛАМИ ВАГОНІВ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ
МАШИННОГО НАВЧАННЯ**

**DEVELOPMENT OF METHODS FOR ACOUSTIC MONITORING OF
RAILWAY WHEEL PAIRS WITH AXLE-BOX UNITS BASED ON
MACHINE LEARNING METHODS**

*докт. техн. наук І. Е. Мартинов,
канд. техн. наук В. В. Бондаренко*

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*I. E. Martynov, D.Sc. (Tech.),
V. Bondarenko, Ph.D (Tech.)*

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Сучасний пасажирський вагон являє собою складну інженерну конструкцію, яка включає до свого складу комплекс механічних, електричних та електронних систем. У зв'язку з цим, вкрай важливим завданням є достовірне і точне виявлення несправностей та дефектів обладнання на ранній стадії за допомогою сучасних діагностичних методів та автоматичних систем [1, 2, 6].

У роботі розглядаються питання удосконалення розробленої на кафедрі інженерії вагонів та якості продукції УкрДУЗТ бортової акустичної діагностичної системи, що призначена для виявлення дефектів на поверхні кочення коліс пасажирських вагонів під час руху. В основу даної системи був покладений метод акустичного контролю, що полягає у аналізі частотного діапазону акустичного сигналу від колісних пар з відомими частотами їх дефектів, виходячи з конструкції, геометричних розмірів та швидкості руху поїзда [1-4, 7]. Дана бортова акустично-діагностична система, на відміну від існуючих наземних систем, дозволяє здійснювати безперервний моніторинг технічного стану колісних пар вагонів по акустичним сигналам.

У той же час, окрім наведеного вище методу акустичного контролю, який покладений у основу даної системи, можуть бути використані й інші прогресивні методи аналізу та розпізнавання звукових сигналів. Основними групами методів, що можуть ефективно використовуватись у задачах технічного діагностування для виявлення дефектів на поверхні кочення коліс та

у підшипниках буксових вузлів, на основі аналізу акустичних сигналів, слід виділити наступні:

1. Аналіз частотного спектру (перетворення Фур'є (FFT) та вейвлет-аналіз);
2. Акустична емісія (аналіз звукових хвиль, що генеруються в результаті деформації, руйнування або зношення металу);
3. Вилучення ознак (Мел-частотні кепстральні коефіцієнти (MFCC), статистичні ознаки, аналіз енергетичних характеристик);
4. Машинне навчання та нейронні мережі. Дана група включає до свого складу наступні методи:
 - Метод опорних векторів (Support Vector Machine , SVM);
 - Випадкові ліси (Random Forest);
 - Наївний баєсів класифікатор (Naive Bayes);
 - Згорткові нейронні мережі (CNN).
 - Рекурентні нейронні мережі (RNN), зокрема Long Short-Term Memory (LSTM).

Серед наведених вище методів окремо слід виділити методи *машинного навчання та нейронні мережі*. [5]. Вони є сучасними, найбільш потужними та перспективними для використання у задачах технічної діагностики і, зокрема, можуть бути ефективно використані у запропонованій вище системі акустичного контролю колісних пар вагона. На рис.1 зображений алгоритм побудови та навчання моделі нейронної мережі.

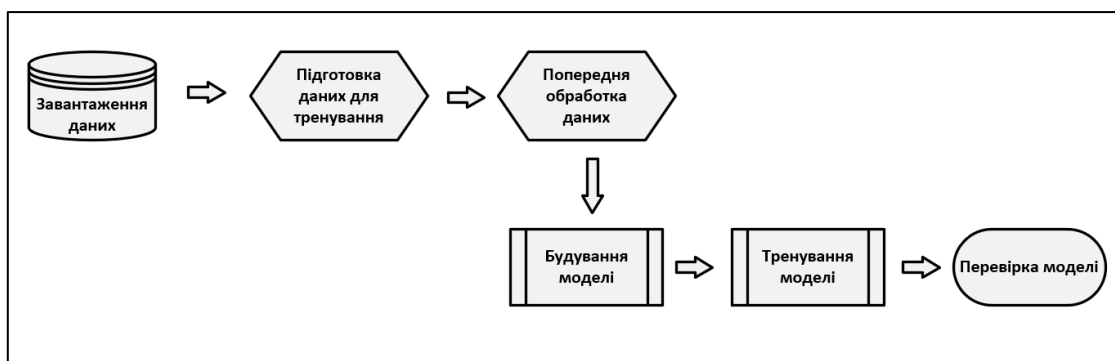


Рис.1 Блок-схема глибинного машинного навчання нейронної мережі для розпізнавання дефектів колісних пар вагонів

Наведемо основні етапи побудови та навчання моделі нейронної мережі:

1. Завантаження необхідного набору звукових даних для навчання.
2. Підготовка даних для тренування, включаючи анотацію (маркування звуків) та очистку (видалення шуму та непридатних записів).
3. Попередня обробка даних - нормалізація, сегментація, аугментація та виділення ознак.
4. Створення архітектури моделі, яка може бути нейронною мережею або іншою ML-моделлю.
5. Навчання моделі з використанням підготовлених даних та вибраного алгоритму оптимізації.

6. Використання навченого алгоритму для передбачення або класифікації на основі нових даних.

У ході подальшої роботи будуть проводитись збір акустичних даних від ходових частин вагонів під час руху та застосовуватись алгоритми глибинного машинного навчання на базі нейронних мереж для класифікації акустичних даних з метою розпізнавання дефектів на поверхні кочення колісних пар у підшипниках буксових вузлів, генераторі, редукторно-карданній передачі та інших елементах вагонів.

[1] Спосіб дистанційного акустичного контролю рейкового рухомого складу під час руху [Текст] пат. 95863 Україна МПК B61K 9/08 (2006.01), G01S 5/14(2006.01) / Бондаренко В.В., Візник Р.І., Скуріхін Д.І. ; заявник та патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. - № а201005510 ; заяв. 05.05.2010; опублік. 12.09.2011, Бюл № 17/2011 – 5с.

[2] Бондаренко, В.В. Розроблення та випробування макетного зразка пристрою акустичного контролю колісних пар [Текст] Бондаренко В.В., Скуріхін Д.І., Мосійчук Т.В. // 36. наук. праць № 141. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – С. 83 – 87.

[3] Скуріхін, Д. І. Удосконалення технології технічного обслуговування та діагностики колісних пар пасажирських вагонів на основі методу акустичного контролю: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.07 “Рухомий склад залізниць та тяга поїздів” / Д.І. Скуріхін. - Харків, 2014. – 143 с.

[4] Onboard Acoustic Diagnostic System of railway vehicle [Електронний ресурс] : відеохостинг YouTube. Режим доступу до матеріалу - <https://youtu.be/hWA4xnJubH0>.

[5] В. В. Бондаренко, Д. І. Скуріхін. Акустичний контроль колісних пар вагонів під час руху та методи розпізнавання звукових сигналів. III міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології», Харків, 2023р.: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2023. – 123 с. 28-29.

[6] V. V. Bondarenko. The Application of Lithium-Ion Batteries for Power Supply of Railway Passenger Cars and Key Approaches for System Development// V. Bondarenko, D. Skurikhin, J.Wojciechowski// Smart and Green Solutions for Transport Systems: 16th Scientific and Technical Conference "Transport Systems. Theory and Practice 2019" Selected Papers.-Katowice: Springer International Publishing.-2020.- P. 114-125. DOI: 10.1007/978-3-030-35543-2_10.

[7] I. Martynov. Mathematical modeling of oscillations wheelset as the basis of the method of acoustic control/ I. Martynov, V.Bondarenko, D. Skurikhin// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.- 2014. - №7. - P. 22-28 DOI: 10.15587/1729-4061.2014.20088.

УДК 629.4.027

АНАЛІЗ ПЕРІОДИЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДМОВ БУКС ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ З ЦИЛІНДРИЧНИМИ ПІДШИПНИКАМИ

ANALYSIS OF THE PERIODICITY OF FORECASTING FAILURES OF FREIGHT WAGONS WITH CYLINDRICAL BEARINGS

*докт. техн. наук І. Е. Мартинов,
інженер О. С. Калмиков,
аспірант О. М. Литовченко*

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*I. Martynov, D.Sc. (Tech.), O. Kalmukov, engineer,
O. Lytovchenko, postgraduate student
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Буксові вузли залізничного рухомого складу є одними із найбільш відповідальних елементів ходових частин [1]. Відмова буксового вузла частіше