

© І.Ю. Колисниченко

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ СИГНАЛІВ ОДНОПЛАТФОРМНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ВАГ

© I. Kolysnychenko

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

RESEARCH OF DYNAMIC SIGNALS OF SINGLE PLATFORM RAILWAY SCALES

Мета. Використовуючи експериментальні дані, отримані з існуючих систем, встановлених на підприємствах України, необхідно провести дослідження над емпіричними даними та отримати алгоритм апроксимації проїзду вагону, завдяки якому можна отримати апроксимуючі функції для кожного типу візка вагону та автозчеплення, які використовуються на території країни та відновити дані проїзду рухомих об'єктів через ваги з мінімальною похибкою для подальшого використання отриманих результатів у побудові системи ідентифікації вагонів на основі машинного навчання.

Методи досліджень. Для апроксимації даних, отриманих з існуючої системи зважування та ідентифікації різних типів рухомих об'єктів через одноплатформні залізничні ваги у русі, пропонується використання числових методів, а саме наближення до експериментальних даних функцією Гевісайда.

Програмне забезпечення, завдяки якому проводяться розрахунки написано на мові програмування Python з використанням бібліотеки numPy.

Результати. Використавши числові методи вдалось отримати алгоритм апроксимації проїзду автозчеплень для різних комбінацій візків та візків вагонів окремо.

Завдяки нормалізації даних датчиків за часом, вдалось уникнути залежності кінцевих результатів від швидкості проїзду вагону, висловивши у процентному співвідношенні залежність перебування осей вагону на ваговій платформі, що дало змогу ідентифікувати різні типи вагонів, з однаковою осністю, але різними характеристиками (база вагону, база візку), використовуючи співвідношення часу перебування осей на ваговій платформі.

Наукова новизна. Новизна полягає в отриманні алгоритму апроксимації експериментальних даних проїзду залізничних візків та автозчеплень через одноплатформні ваги, який можна використовувати як генератор dataset-ів, наближених до реальних даних проїзду залізничного складу, для їх подальшого використання у навчання моделей машинного навчання.

Практичне значення. Підвищення точності ідентифікації залізничних рухомих об'єктів, класифікувавши їх не лише за кількістю осей, а й за типом, опираючись на його унікальні габаритні характеристики зменшує похибки зважування та час простою підприємства, що сприяє збільшенню кількості зважених рухомих залізничних об'єктів.

Ключові слова: ваги, вагова платформа, залізничний вагон, функція Гевісайда, апроксимація, оцінка похибки, ідентифікація, Python, динаміка

Вступ. На сьогоднішній день тензометричні системи у залізничній сфері використовуються для вирішення ряду питань, з якими періодично стикаються підприємства, які використовують залізничний транспорт для транспортування вантажу та пасажирів.

Так, наприклад, в [1 – 3] пропонуються методи тестування надійності мостів та впливу коливань на них, спричинених рухом залізничних об'єктів, з використанням систем зважування залізничних об'єктів у русі на основі аналізу деформації колій.

Існуючі ж системи зважування та ідентифікації рухомих залізничних об'єктів [4, 5] мають не достатню точність (при дотриманні рекомендацій, що надаються розробниками систем (швидкість руху об'єкта в межах 3-12 км/год, відсутність дефектів колісних пар), точність ідентифікації вагонів становить близько 95%. У разі порушення рекомендацій (збільшення швидкості руху складу до 15 км/год) – точність різко зменшується. Це обумовлено рядом факторів, які можуть надходити як від рухомого складу(перенавантаження вагону, дефекти колісних пар) [6], вагового комплексу(вихід з ладу тензометричних датчиків, недостатня точність калібрування ваг, просідання вагової платформи, тощо.) так і від недосконалості методів аналізу та обробки отриманих даних з тензометричної системи [7].

Частина алгоритмів, які використовуються підприємствами України, виконані на основі методу шаблонізації з використанням постобробки даних [5], завдяки якій розпізнавання типу вагону відбувається в запізненням, обробка виконується тільки для вагонів, шаблони яких заздалегідь завантажені в систему та чітко описані послідовності наїздів та з'їздів осей з вагової платформи. Це накладає обмеження на типи вагонів, які можуть бути розпізнані системою, у вигляді місцевого парку. У разі збою розпізнавання (використання вагону, який не передбачений системою) – отримаємо помилку розпізнавання усього рухомого складу, що призведе до його повторного зважування.

Формулювання цілей статті. Недоліки існуючих систем [7], на ряду із зростанням потреб підприємств, призводить до необхідності створення методу обробки даних проїзду залізничних вагонів через ваги в динаміці, який зможе зменшити похибку ідентифікації та збільшивши діапазон швидкості проїзду рухомого об'єкту, дасть змогу обробляти різні типи вагонів, які не відносяться до місцевого парку вагонів підприємства та зменшити час обробки отриманих даних.

Використовуючи експериментальні дані, отримані з існуючих систем, встановлених на підприємствах України, необхідно провести дослідження над емпіричними даними та отримати алгоритм апроксимації проїзду вагону, завдяки якому можна отримати апроксимуючі функції для кожного типу візка вагону та автозчеплення, які використовуються на території країни та відновити дані проїзду рухомих об'єктів через ваги з мінімальною похибкою для подальшого використання отриманих результатів у побудові системи ідентифікації вагонів на основі машинного навчання.

Інструмент дослідження. Для апроксимації даних, отриманих з існуючої системи зважування та ідентифікації різних типів рухомих об'єктів через одноплатформні залізничні ваги у русі, пропонується використання числових методів, а саме наближення до експериментальних даних функцією Гевісайда.

Програмне забезпечення, завдяки якому проводяться розрахунки написано на мові програмування Python з використанням бібліотеки numPy [8].

Основна частина. Системи залізничного вагового контролю, після ініціалізації, перемикаються в режим очікування ваги та перебувають у стані спокою. В момент появи вагону, відбувається заїзд 1-го візку. Подальші наїзди фіксують автозчеплення вагонів. В залежності від типу вагонів, які використовуються у вагонному складі, відрізняють декілька графіків:

- Візок 4-хосного вагону (рис.1);
- Візок 6-хосного вагону (рис.2);
- Автозчеплення двох 2-хосних візків (рис.3);
- Автозчеплення двох 3-хосних візків (рис.4);
- Автозчеплення 2-хосного та 3-хосного візків (рис.5);
- Автозчеплення 3-хосного та 2-хосного візків (рис.6);
- Автозчеплення візку з локомотивом;

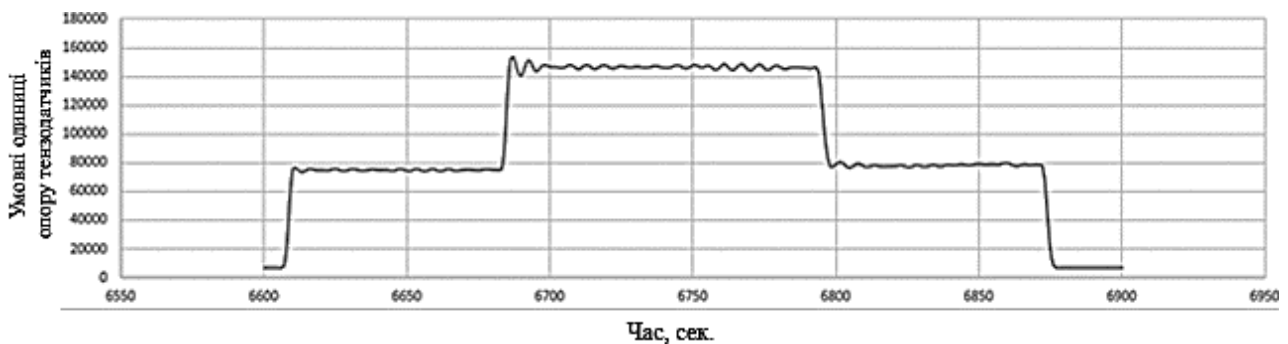


Рис. 1. Проїзд 2-хосного візка через одно платформні ваги

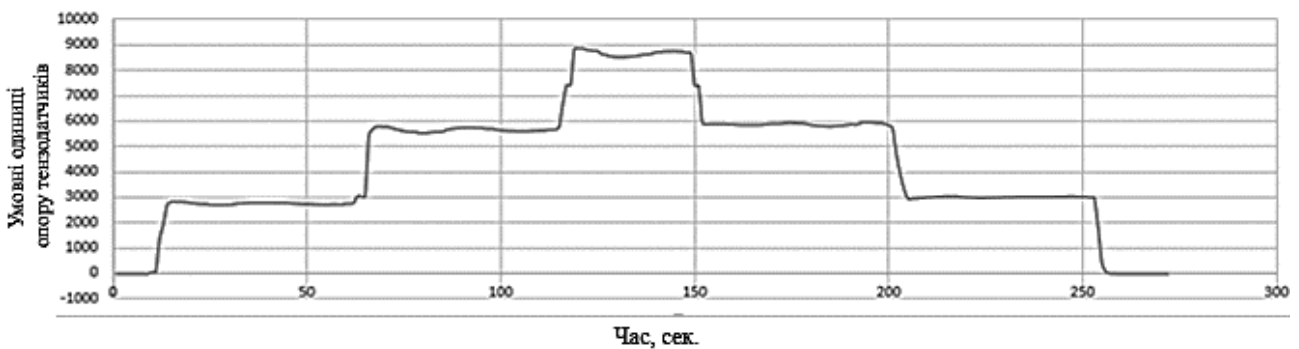


Рис. 2. Проїзд 3-хосного візка через одно платформні ваги

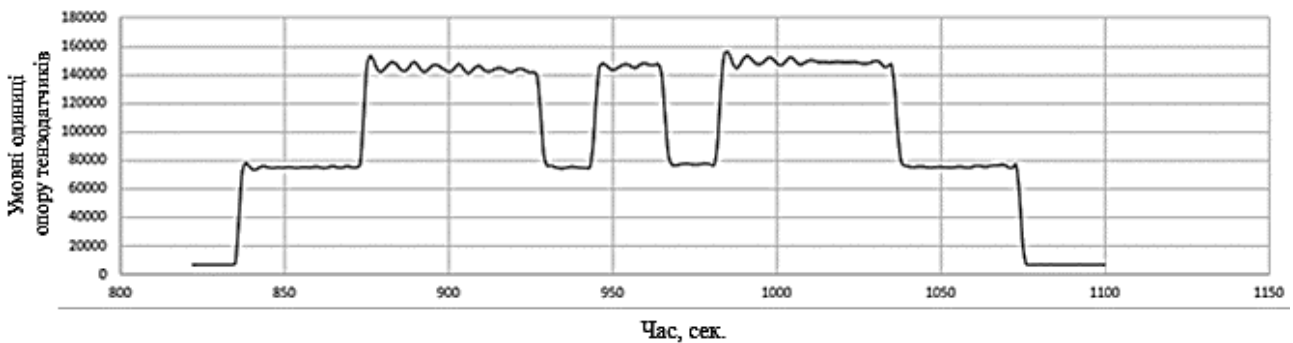


Рис. 3. Проїзд автозчеплення двох 2-хосних візків

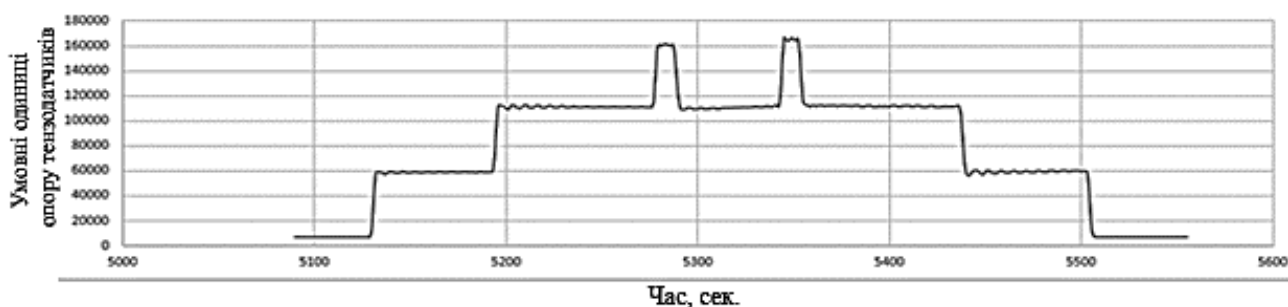


Рис. 4. Проїзд автозчеплення двох 3-хосних візків

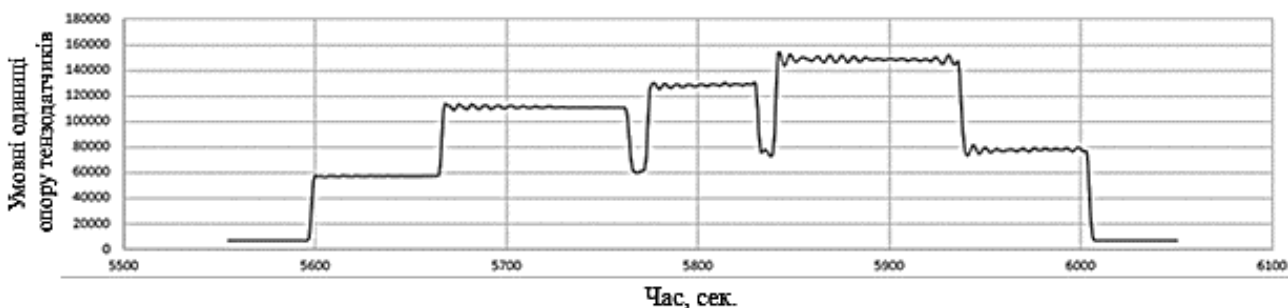


Рис. 5. Проїзд автозчеплення 2-хосного з 3-хосним візком

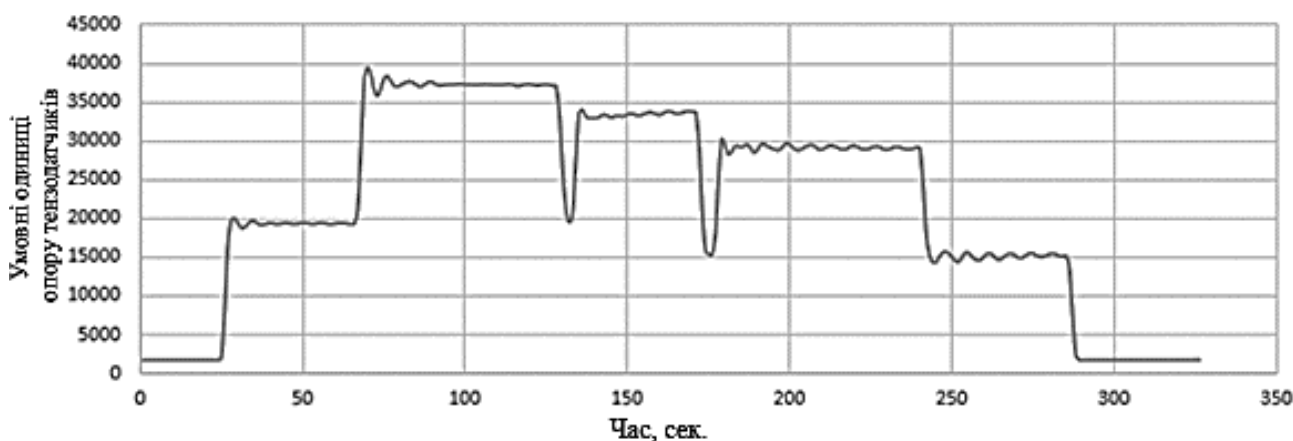


Рис. 6. Проїзд автозчеплення 3-хосного з 2-хосним візком

Для досліджень використовуються експериментальні дані проїзду вагонного складу 4-х осьових 2-х візкових напіввагонів типу 12-783 (рис.7 – 8). На графіку можна побачити перебування локомотиву на ваговій платформі (значення часу від 0 до 250 с). У рамках цієї статті ними буде знехтувано, оскільки локомотиви не використовуються для перевезення корисного вантажу, і необхідності у їх зважуванні відсутня.

Показання тензOMETричних датчиків, при вільній платформі не дорівнюють нулю, оскільки враховується вага самої вагової платформи.

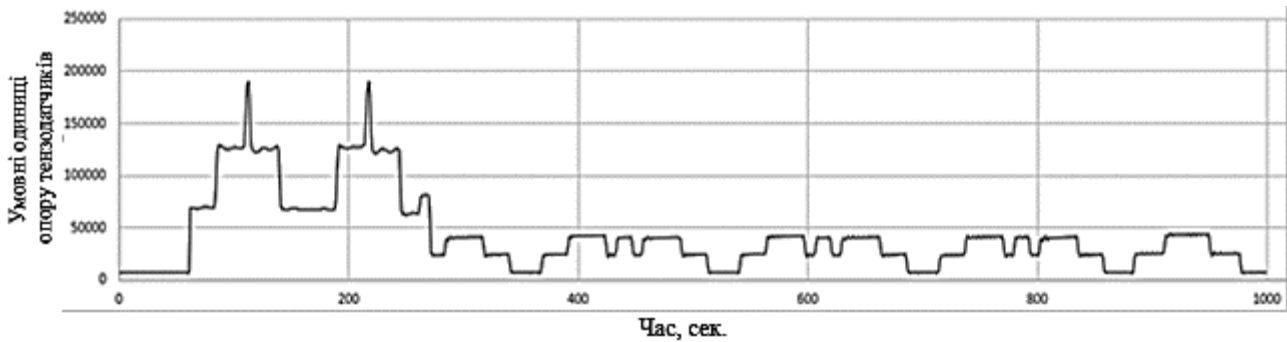


Рис. 7. Значення проїзду вагонного складу 4-хосьвих 2-х візкових напіввагонів



Рис. 8. 4-хосьовий 2-х візкових напіввагон типу 12-783

Апроксимація динамічних сигналів одноплатформних залізничних ваг функцією Гевісайда.

Розглянемо частину графіку, в якій відбувається проїзд автозчеплення 2-х 4-хосних вагонів та 1-го візку 4-хосного вагону (рис. 9).

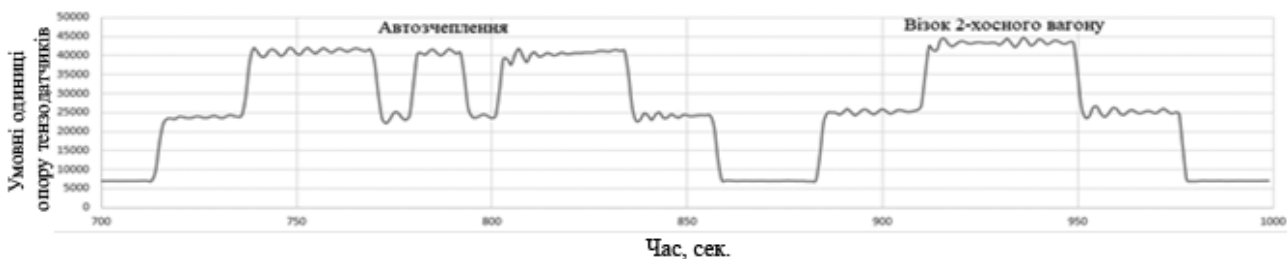


Рис. 9. проїзд автозчеплення та візку 4-хосного вагону

Проведемо попередню обробку даних, а саме – відокремимо обидва поїзда та нормалізуємо значення за часом та значеннями з тензометричних датчиків (рис. 10 – 11).

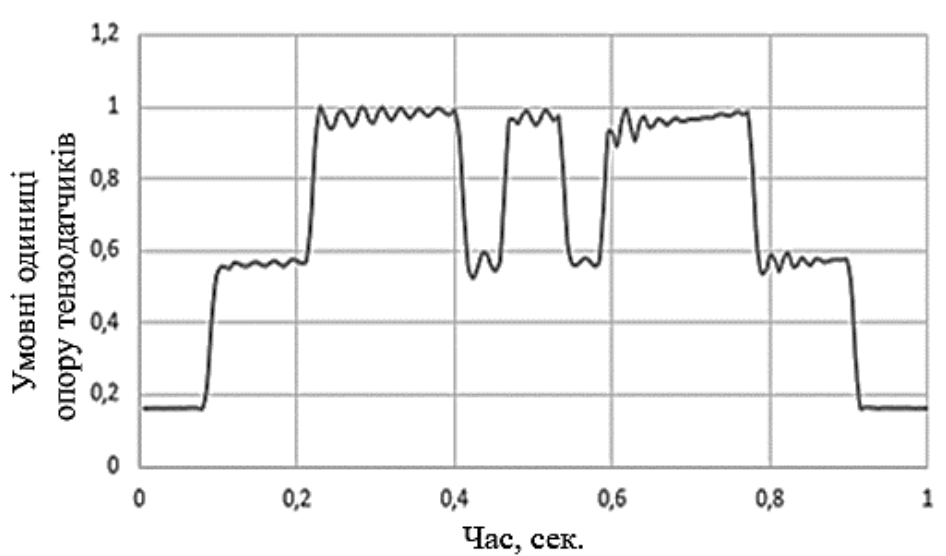


Рис. 10. Автозчеплення 2-хосних вагонів після нормалізації

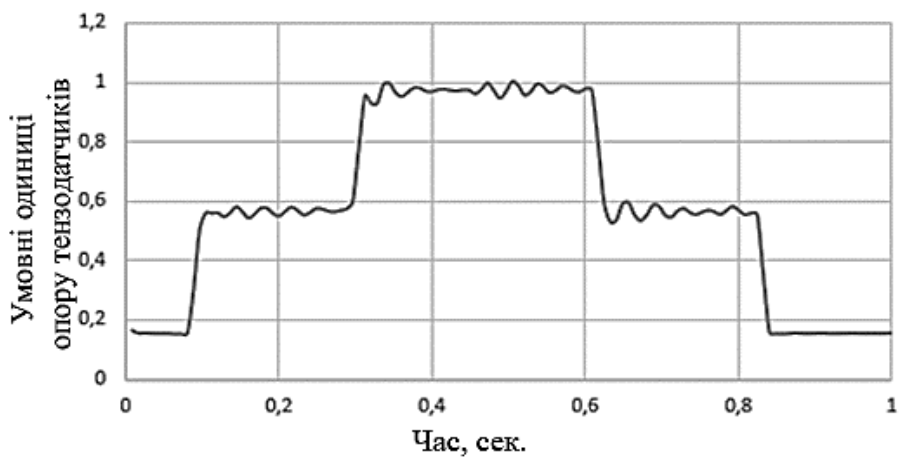


Рис. 11. Візок 2-хосного вагону після нормалізації

Аналітичні формули функцій, які описують проїзди вагонів мають наступний вигляд:

- Автозчеплення 2-хосних вагонів(рис.10)

$$f(t) = \begin{cases} 0,19 & , \text{якщо } t < 0,1 \text{ або } t \geq 0,9 \\ 0,59 & , \text{якщо } 0,1 \leq t < 0,21 \text{ або } 0,42 \leq t < 0,47 \\ & \text{або } 0,54 \leq t < 0,59 \text{ або } 0,78 \leq t < 0,9 \\ 1 & , \text{якщо } 0,21 \leq t < 0,42 \text{ або } 0,45 \leq t < 0,54 \\ & \text{або } 0,59 \leq t < 0,78 \end{cases}$$

- Візок 2-хосного вагону(рис.11)

$$\begin{cases} 0,19 & , \text{якщо } t < 0,1 \text{ або } t \geq 0,83 \\ 0,59 & , \text{якщо } 0,1 \leq t < 0,3 \text{ або } 0,61 \leq t < 0,83 \\ 1 & , \text{якщо } 0,3 \leq t < 0,61 \end{cases}$$

Апроксимувавши нормалізовані значення функцією Гевісайда, отримаємо рівняння проїзду рухомого залізничного об'єкту через одноплатформні ваги у русі для автозчеплення та візку 2-хосного вагону:

- Автозчеплення 2-хосних вагонів

$$f(t) = 0.4H(t - 0.1) + 0.41H(t - 0.21) - 0.41H(t - 0.42) + 0.41H(t - 0.47) - 0.41H(t - 0.54) + 0.41H(t - 0.59) - 0.41H(t - 0.75) - 0.41H(t - 0.9) + 0.19$$

- Візок 2-хосного вагону

$$f(t) = 0.4H(t - 0.1) + 0.41H(t - 0.3) - 0.41H(t - 0.61) - 0.4H(t - 0.83) + 0.19,$$

де $H(n)$ – функція Гевісайда, значення якої дорівнює 0 для від'ємних та 1 для додатних значень аргумента.

Використовуючи отримані апроксимуючі функції, отримаємо відновлені графіки проїзду візку та автозчеплення через вагову платформу (рис. 12 – 13).

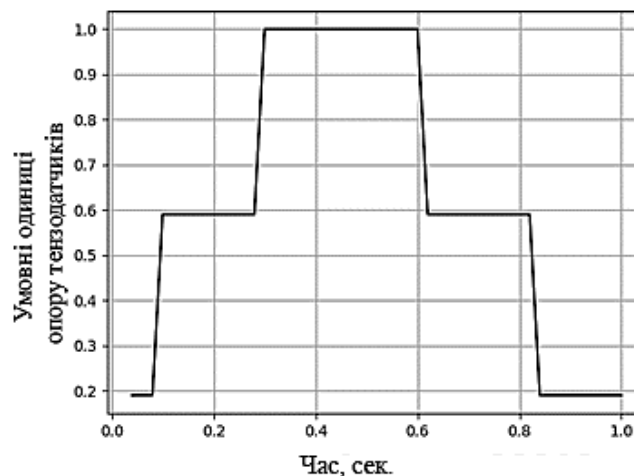


Рис. 12. Відновлений графік проїзду візку 2-хосного вагону

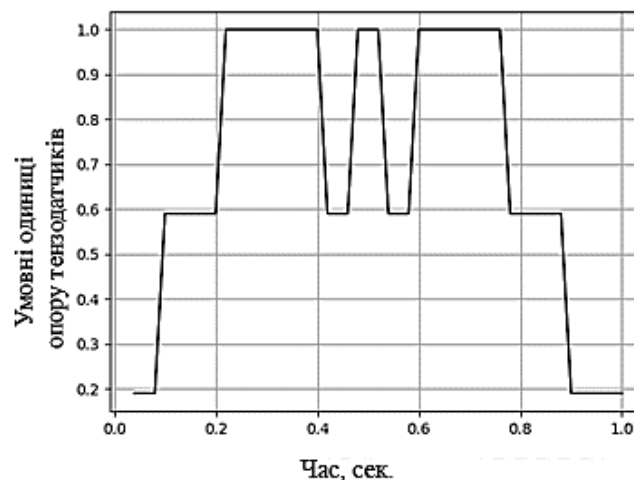


Рис. 13. Відновлений графік проїзду автозчеплення 2-хосних вагонів

Оскільки при проїзді вагона через вагову платформу присутні коливання значень на тензOMETричних датчиках, накладемо шум при відновленні даних апроксимуючими функціями (рис.14 – 15).

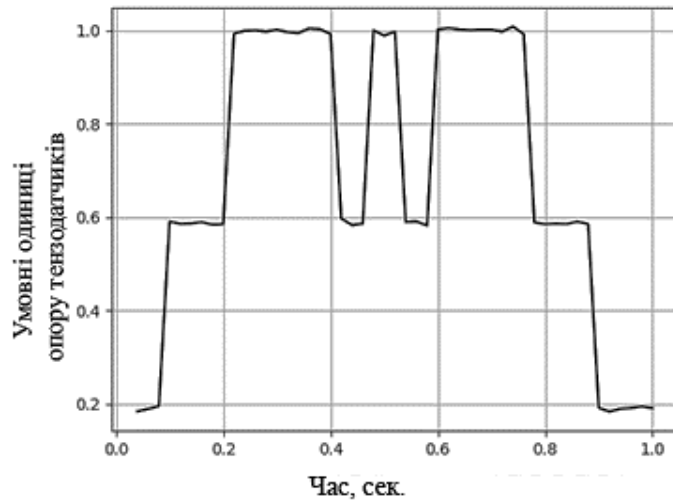


Рис. 14. Відновлений графік проїзду автозчеплення 2-хосних вагонів з накладанням шумів

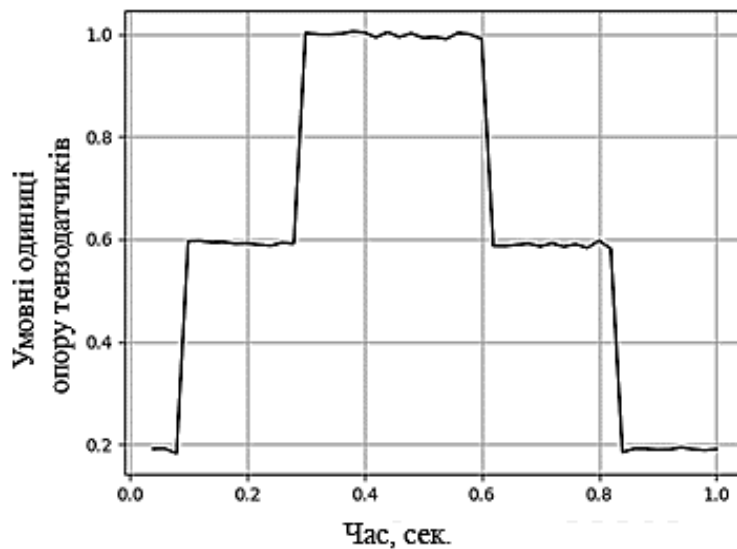


Рис. 15. Відновлений графік проїзду візку 2-хосного вагону з накладанням шумів

Використавши оцінку наближення даних, відновлених отриманими апроксимуючими функціями до експериментальних методом найменших квадратів [9], було отримано похибку менше 2%, яка цілком задовольняє поставлені цілі.

Висновки. Використавши числові методи при обробці експериментальних даних, отриманих з тензOMETричних систем, а саме наближення функцією Гевісайда з подальшим накладанням шуму, вдалось отримати алгоритм апроксимації проїзду автозчеплень для різних комбінацій візків (рис. 3 – 6) та візків вагонів окремо.

Завдяки нормалізації даних датчиків за часом, вдалось уникнути залежності кінцевих результатів від швидкості проїзду вагону, висловивши у процентному

співвідношенні залежність перебування осей вагону на ваговій платформі, що дало змогу ідентифікувати різні типи вагонів, з однаковою осністю, але різними характеристиками (база вагону, база візку), використовуючи співвідношення часу перебування осей на ваговій платформі.

Виконання наведених розрахунків для кожного типу вагону, який використовується на території України дозволяє отримати аналітичний опис залежності епюр від характеристик вагонів (осність, база вагону, база візку) та підвищити точність ідентифікації залізничних рухомих об'єктів, класифікувавши їх не лише за кількістю осей (в існуючих системах розпізнаний вагон можна віднести тільки до великого класу вагонів (4-хосні, 6-тиосні, 8-миосні)), а й до типу, опираючись на його унікальні габаритні характеристики.

Перелік посилань

1. Sekuła, K., Wiącek, D., & Motylewski, J. (2018). In-motion rail scales as a component of the railway bridge diagnostic system. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 101, 203–213.
<https://doi.org/10.20858/sjsutst.2018.101.18>
2. Yanik, A., & Higgins, C. (2019). *Reliability analysis of oregon bridges using WIM (weigh-in-motion) data*. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi.
<https://doi.org/10.31202/ecjse.577400>
3. Hajializadeh, D., Žnidarič, A., Kalin, J., & O'Brien, E. J. (2020). Development and testing of a railway bridge weigh-in-motion system. *Applied Sciences*, 10(14), 4708.
<https://doi.org/10.3390/app10144708>
4. *Способ взвешивания железнодорожных объектов* (2010). (Патент Россия № RU2390735C1).
5. Zhang, W., Li, C.-l., Di, X.-f., Chen, M., & Tao, S. (2017). Research on automotive dynamic weighing method based on piezoelectric sensor. *MATEC Web of Conferences*, 139, 00203.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201713900203>
6. Lunys, O., Dailydka, S., Steišūnas, S., & Bureika, G. (2016). Analysis of freight wagon wheel failure detection in lithuanian railways. *Procedia Engineering*, 134, 64–71.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.040>
7. Kolysnychenko, I., & Tkachov, V. (2021). A Polynomial approximation of dynamic signals of single platform railway scales. *Electrical Engineering and Power Engineering*, (2), 44–52.
<https://doi.org/10.15588/1607-6761-2021-2-5>
8. VanderPlas, J. (2016). *Python data science handbook: Essential tools for working with data* (D. Schanafelt, Ред.). O'Reilly Media.
9. Мазуров, Б. Т., & Падве, В. А. (2017). Метод наименьших квадратов (статика, динамика, модели с уточняемой структурой). *Вестник СГУГиТ*, 22(2), 22–35.

ABSTRACT

Objective. Using experimental data obtained from existing systems installed at Ukrainian enterprises, it is necessary to conduct research on empirical data and obtain an algorithm for approximating the passage of wagons, thanks to which it is possible to obtain approximating functions for each type of bogie and automatic coupler used on the territory of the country and restore data on the passage of moving objects through a weighing platform with a minimum error for further use of the obtained results in building a system for identifying cars based on machine learning.

Research methods. Numerical methods are used to approximate data, obtain from the weighing system and determine various types of moving objects through single-platform railway scales in

motion, namely, approximation to the experimental data of the Heaviside estimate. The software developed in the Python programming language using the numPy library.

Findings. Using numerical methods, it was possible to obtain an algorithm for approximating the passage of automatic couplers for various combinations of automatic couplers and car bogies separately. Thanks to the normalization of the data from the sensors over time, it was possible to avoid the dependence of the final results on the speed of the passage of the wagon, expressing as a percentage the dependence of the stay of the axles of the car on the weight platform, which made it possible to identify different types of cars with the same axle, but different characteristics (car base, bogie base), using the ratio of the time spent by the axes on the weighing platform.

The originality. The novelty lies in obtaining an algorithm for approximating experimental data on the passage of railway bogies and automatic couplers through single-platform scales, which can be used as a dataset generator close to real data on the passage of a railway train for their further use in setting up machine learning models.

Practical implications. Improving the accuracy of identifying railway moving objects, classifying them not only by the number of axles, but also by type, based on its unique overall characteristics, reduces weighing errors and downtime of the enterprise, which contributes to an increase in the number of weighed mobile railway objects.

Keywords: *scales, weighing platform, railway car, Heaviside function, approximation, error estimation, identification, Python, dynamics.*