

© І.Ю. Колисниченко¹, В.В. Ткачов¹

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

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ ДАНИХ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

© I. Kolysnychenko¹, V. Tkachov¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

IDENTIFICATION OF OBJECTS BASED ON THE DATA OF TENZOMETRICAL SYSTEMS WITH USING METHODS OF MACHINE LEARNING

Мета. Для підвищення якості роботи тензометричних систем, використовуючи дані, отримані з тензометричної системи у вигляді епюр проїзду рухомих об'єктів, необхідно провести дослідження над даними тензометричної системи та розробити набір алгоритмів, завдяки яким можна отримати характеристики залізничних вагонів у рухомому складі та провести ідентифікацію залізничних об'єктів з мінімальною похибкою для подальшого використання отриманих результатів у побудові системи ідентифікації та зважування рухомих об'єктів через тензометричні системи.

Методи досліджень. Для побудови системи ідентифікації різних типів рухомих об'єктів через одноплатформні залізничні ваги у русі, пропонується використання методів машинного навчання, а саме нейронні мережі та алгоритми кластеризації.

Програмне забезпечення, яке реалізоване у рамках наукових досліджень написано на мові програмування Python з використанням бібліотек numPy, sklearn, statistics та інших.

Результати. Використавши такі методи машинного навчання, як згорткові нейронні сітки, кластеризація, перцептрон та опираючись на довідникові данні залізничних об'єктів, які можуть бути використані на території України, отримано низку алгоритмічних рішень та реалізовано їх у вигляді програмного забезпечення, які ідентифікують тип вагону за такими характеристиками як осність візку, осність вагону, співвідношення бази вагону до довжини вагону між автозчепленнями, маса осей.

Використовуючи ваговий коефіцієнт для конкретної тензометричної системи, під час калібрування ваг, отримано залежність ваги вагону від його типу та маси кожної с осей.

Наукова новизна. Виконавши дослідження над даними проїзду залізничних візків та автозчеплень через одноплатформні ваги встановлено, що категоризувати типи вагонів можна за такими характеристиками, як співвідношення бази вагону до довжини вагону між автозчепленнями, осність, вага. Для отримання співвідношення бази вагону до довжини вагону між автозчепленнями, необхідно виконати сегментацію та кластеризацію даних наступним чином – базу вагона знаходимо як відстань між серединою двох візків, а довжину вагону між автозчепленнями як середину відстані між візками до середини автозчеплення.

Практичне значення. Використовуючи такі методи машинного навчання, як згорткові нейронні сітки, кластеризація, перцептрон та інше, отримано алгоритмічне рішення обробки даних тензометричних систем, яке дозволяє збільшити точність ідентифікації вагонів, при цьому зменшивши залежність результатів від швидкості проїзду вагонів, що дозволяють підвищити пропускну спроможність ваговимірювальних систем підприємств.

Ключові слова: ваги, вагова платформа, залізничний вагон, кластеризація, ідентифікація, алгоритм, Python, динаміка.

Вступ. Існує безліч методів вагового вимірювання, таких як тензодатчики, динамометри, гідравлічні ваги та інші, які використовуються в залежності від потреб та умов підприємства.

З розвитком технологій машинного навчання, можливості автоматизації ваговимірювальних систем значно розширилися. Наприклад, в виробничих підприємствах можуть використовуватися системи комп'ютерного зору та нейронних мереж для автоматичного зважування продуктів на виробничій лінії. Системи комп'ютерного зору можуть розпізнавати форму та розміри продуктів та визначати оптимальне розташування на вагах для досягнення максимальної точності зважування. У транспортній логістиці можуть використовуватися системи, засновані на машинному навчанні, для автоматичного зважування вантажних автомобілів або вагонів. Системи можуть обробляти дані з датчиків на дорозі або залізничної тензометричної системи та автоматично визначати вагу рухомого об'єкту, що дозволяє скоротити час зважування та збільшити пропускну здатність.

Існуючі системи зважування та ідентифікації рухомих об'єктів [1–5] часто спираються на дані, які необхідно попередньо задати системі для її коректного налаштування та подальшої роботи. Це обумовлено використанням алгоритмів, які використовують для своєї роботи жорсткі залежності отриманих значень з математичними функціями або шаблонами, незначне відхилення від яких призводить до збою системи.

Якщо розглядати алгоритми шаблонізації з використанням постобробки даних [6–9], які часто використовуються підприємствами для рішень задач ідентифікації, обробка виконується для вагонів, шаблон проїзду яких заздалегідь вже було розпізнано та оброблено. В разі попадання в систему заздалегідь невідомого об'єкту, відбувається збій у роботі системи.

Формулювання цілей статті. Недоліки існуючих систем, їх негнучкість та зростання попиту підприємств на системи, призводить до необхідності створення алгоритмічного рішення з його реалізацією у вигляді програмного забезпечення, які з мінімальною похибкою та максимальною швидкістю виконують ідентифікацію та зважування залізничних об'єктів.

Використовуючи дані, які можна отримати від тензометричних вагових платформ у реальному часі, встановлених на підприємствах України, необхідно провести дослідження над даними та отримати систему ідентифікації, категоризації та зважування рухомих об'єктів, з мінімальною прив'язкою до характеристик систем, які встановлені на підприємстві.

Інструмент дослідження. Для обробки даних, отриманих з тензометричної системи у реальному часі було використано такі методи машинного навчання, як згорткові нейронні сітки, алгоритми кластеризація та сегментації, перцептрон.

Низка алгоритмів, які були реалізовані у вигляді програмного забезпечення, завдяки яким проводяться розрахунки написано на мові програмування Python [6–8] з використанням бібліотек `numpy`, `pandas`, `statistics`, `sklearn`.

Основна частина. Використовуючи дані, які було отримано з одноплатформної тензометричної систем у реальному часі (рис. 1) розроблено алгоритм, який виконує сегментацію даних на окремі ділянки проїзду автозчеплення та візку.

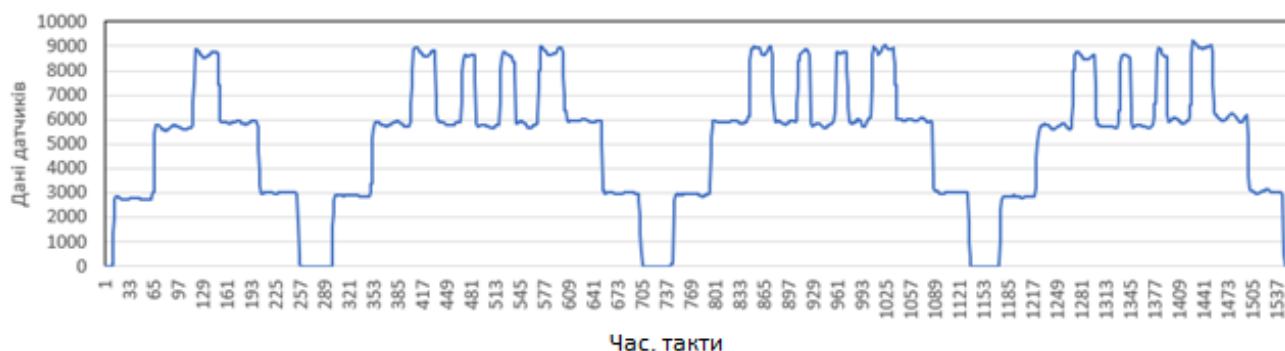


Рис. 1. Частина даних, отримана з одноплатформної тензометричної системи

Результатом роботи алгоритму є набір графіків (рис. 2, 3), побудовані на основі отриманих сегментів та вибірки даних тензометричних датчиків проїздів візків та автозчеплень.

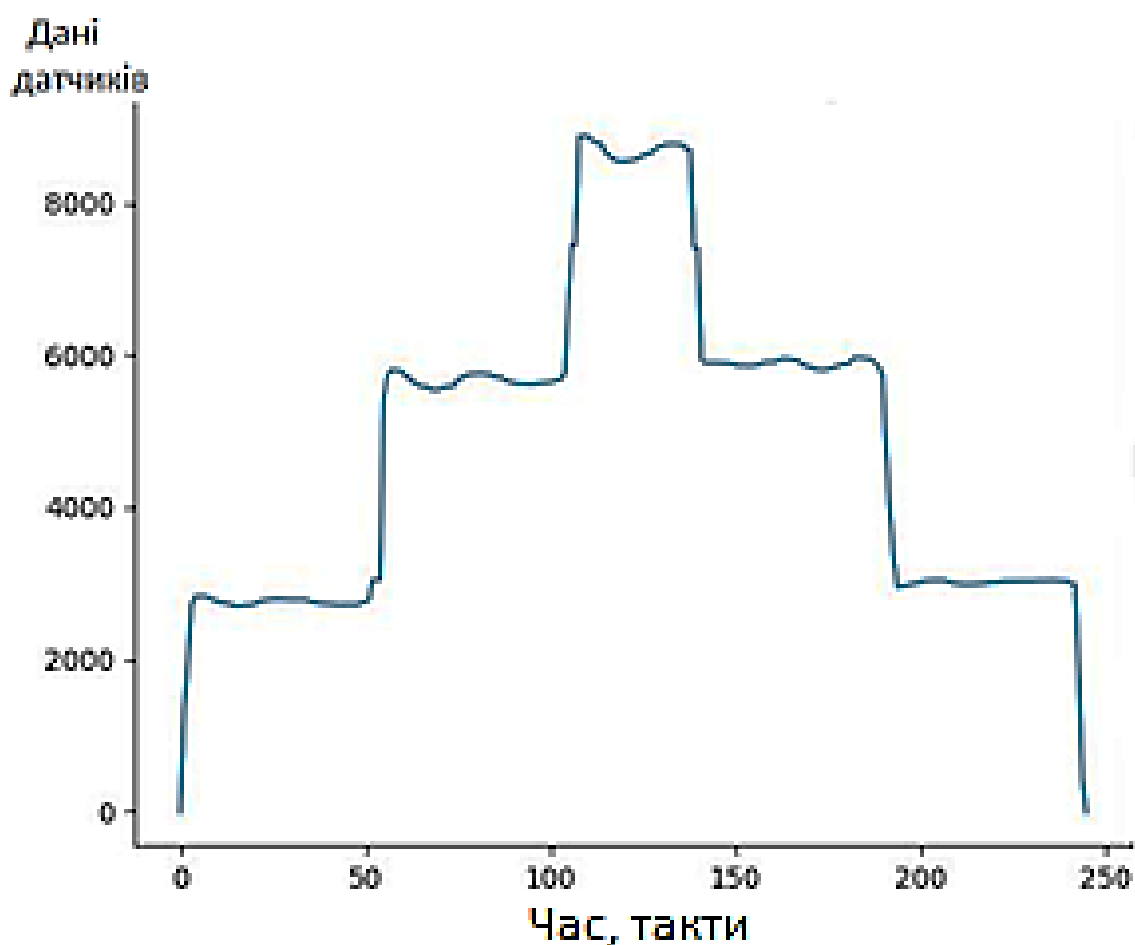


Рис. 2. Графік проїзду 3-осного візка через ваговимірювальну платформу

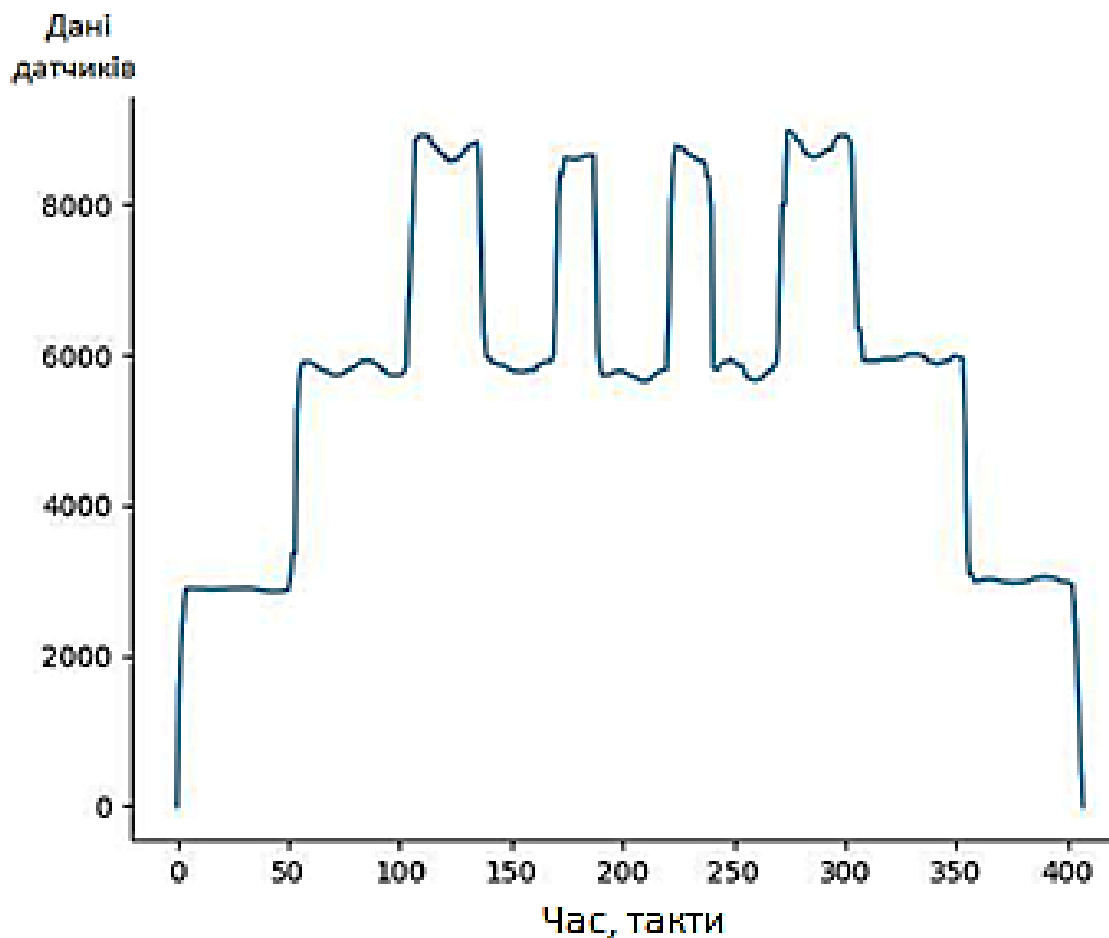


Рис. 3. Графік проїзду автозчеплення 2-х 3-осних візків через ваговимірювальну платформу

Використовуючи принципи ідентифікації динамічних сигналів тензометричних систем з використанням згорткових нейронних мереж, які наведено у [10], побудуємо систему категоризації візків та автозчеплень, перед цим перенавчивши нейронну мережу на можливість розпізнавання осності автозчеплень і візків.

У результаті отримаємо систему, яка категоризує зображення проїзду за наступними категоріями (рис. 4, 5):

- 2-осний візок
- 3-осний візок
- автозчеплення 2-осних візків
- автозчеплення 3-осних візків
- автозчеплення 2-осного з 3-осним візків
- автозчеплення 3-осного з 2-осним ваго візків нів

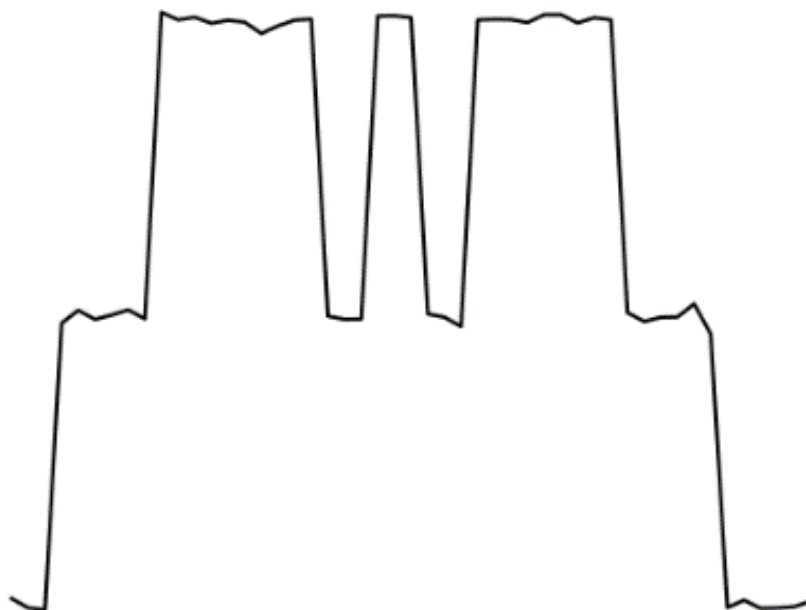


Рис. 4. Проїзд автозчеплення, розпізнаного системою як проїзд автозчеплення 2-осних візків

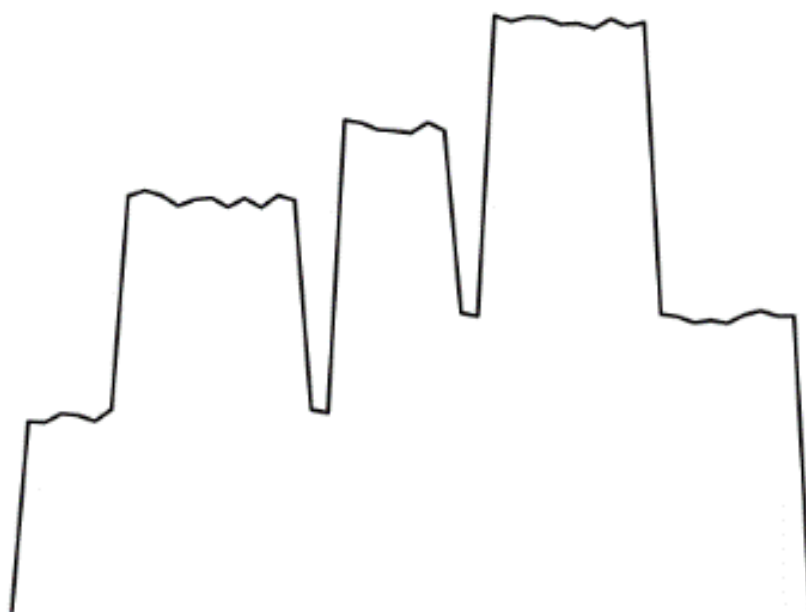


Рис. 5. Проїзд автозчеплення, розпізнаного системою як проїзд автозчеплення 3-осного та 2-осного візків

Далі, в залежності від отриманого типу, та на основі вибірки даних показань тензометричних датчиків проїздів візків та автозчеплень, які було отримано раніше у парі з графіками та реалізовано алгоритм на основі методу кластеризації, який дозволяє отримати сегментовані дані за кластерами (рис. 6). На малюнку наведено приклад кластеризації проїзду 3-осного візку, 0-й кластер – перша вісь візку (заїзд на виїзд), 1-й кластер – друга вісь візку (заїзд на виїзд) та 3-й кластер – перебування третьої осі візку на ваговій платформі.

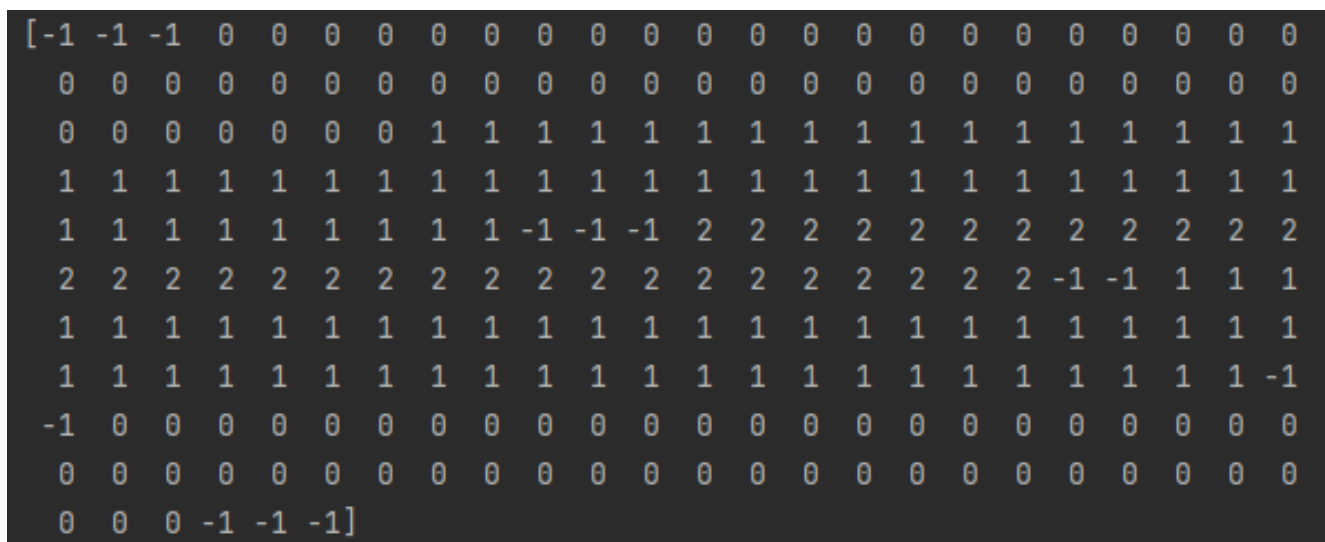


Рис. 6. Приклад результату роботи алгоритму кластеризації для даних 3-осного візку (рис. 2)

Спираючись на отримані дані та використовуючи розрахунки відсоткового співвідношення осей, отримуємо характеристики візку (табл. 1).

Таблиця 1

Приклад отриманих даних для одного з візків

№ осі	Середнє нормалізоване тензометричне значення	Відсоткове відношення перебування осі на платформі
1 (заїзд)	2899,5	22 %
2 (заїзд)	5774,8	21,3%
3 (заїзд та виїзд)	8691,8	13,3%
2 (виїзд)	5779,1	21,4%
1 (за виїзд їзд)	2891,3	22 %

Для отримання ваги кожної осі, необхідно дані середнього нормалізованого тензометричного значення помножити на ваговий коефіцієнт, який можна отримати під час калібрування вагової платформи.

Для ваг, на яких проводились випробовування коефіцієнт = 4,182.

Отримаємо наступні значення ваги осей візку (табл. 2):

Таблиця 2

Вага осей, після використання коефіцієнту

№ осі	Вага осі, кг
1	12125,70
2	24146,03
3	36349,107

Щоб отримати співвідношення бази вагону до довжини вагону між автозчепленнями, необхідно виконати сегментацію та кластеризацію даних наступним чином – базу вагона знаходимо як відстань між серединою двох візків (рис. 7), а довжину вагону між автозчепленнями як середину відстані між візками до середини автозчеплення (рис. 8) та вираховуємо співвідношення.

Використавши алгоритм, який сегментує дані за серединами автозчеплень до середини вагону (рис. 8) та середини візків (рис. 7), отримаємо графічні (рис. 9, 10) та числові значення.



Рис. 7. Приклад даних, які описують базу вагону



Рис. 8. Приклад даних, які описують довжину вагону між автозчепленнями (потрібно помножити на 2, так як частини симетричні)

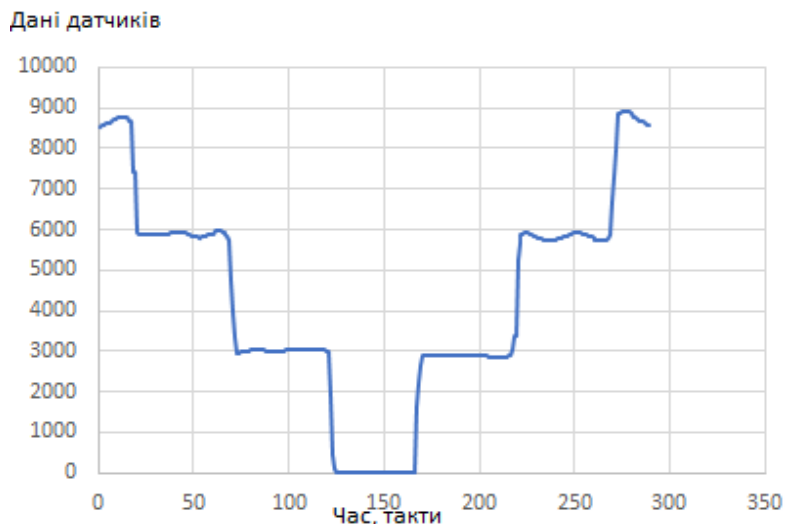


Рис. 9. Приклад даних, які описують базу вагону

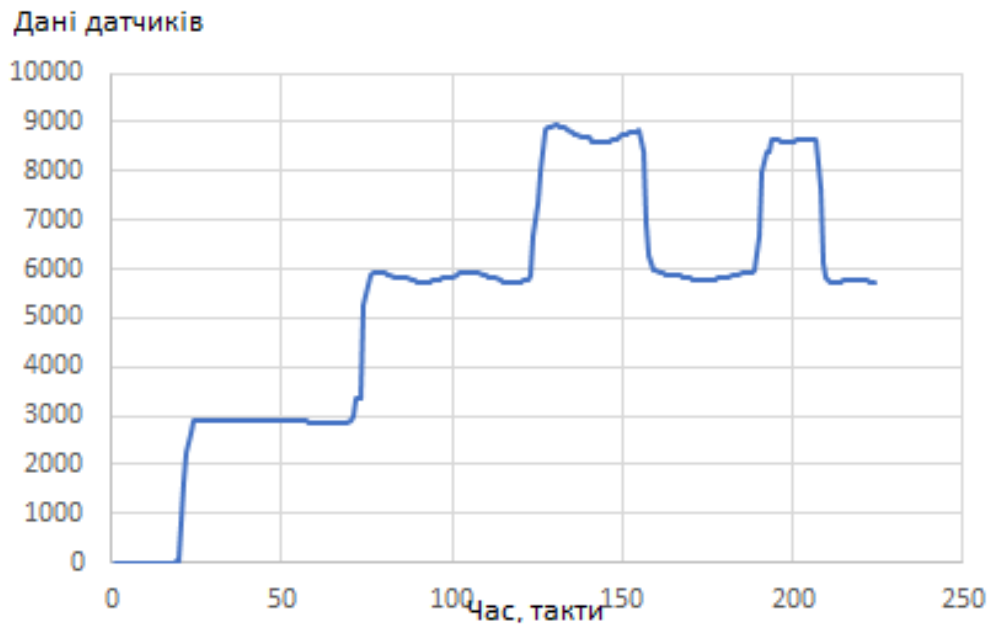


Рис. 10. Приклад даних, які описують довжину вагону з автозчепленням

Саме для даної вибірки маємо наступні результати (табл. 3):

Таблиця 3

Відношення бази вагону до довжини вагону з автозчепленням

База вагону	291
Довжина вагону з автозчеплення	446
Відсоткове співвідношення бази вагону до довжини вагону з автозчепленням	65.2%

Обробляти довжину візку не має сенсу, так як візки:

- симетричні для одного вагону
- мають стандартну довжину (1850 мм для 2-осного візка та 4600мм для 3-осного), та не можуть бути використані для ідентифікації конкретного типу вагону.

Для ідентифікації типу вагону за отриманими характеристиками, використано повнозв'язну нейронну мережу, яка була навчена на довідникових даних [11–14], та на вхід отримує наступні характеристики – осність візку, осність вагону, вага осей (для ідентифікації за максимальним навантаженням), база вагону, довжина вагону з автозчепленням.

На виході отримуємо тип вагону (табл. 4), який максимально підходить за обраними характеристиками. Типи вагонів задаються перед стартом системи у базі даних, там можуть бути обрані саме ті, які використовуються підприємством, що знизить вірогідну похибку.

Таблиця 4

Результат роботи системи

№	Осність візку	Осність вагону	Вага візку 1 осі 1, кг	Вага візку 1 осі 2, кг	Вага візку 1 осі 3	Вага візку 2 осі 1, кг	Вага візку 2 осі 2, кг
1	2	4	12125	24146	36349	12713	24218
2	2	4	11233	23867	34554	11318	23890
3	3	7	7930	17435	26329	7941	17211
№	Вага візку 2 осі 3, кг	Вага візку 3 осі 1, кг	Вага візку 3 осі 2, кг	Вага візку 3 осі 3, кг	База вагону	Довжину вагону з автотцепленням	Тип вагону
1	34153	0	0	0	291	446	4-осная платформа для цистерн, модель 13-149-03
2	40013	0	0	0	216.6	374	4-вісна платформа для листової сталі, модель 13-4094
3	26378	8001	17290	26391	343.3	532.6	6-вісна цистерна для нафти та бензину, модель 15-Ц865

Для отримання ваги вагону, достатньо підсумувати вагу осей візків.

Висновки. Використовуючи такі методи машинного навчання, як згорткові нейронні сітки, кластеризація, персептрон та опираючись на довідникові данні залізничних об'єктів, які можуть бути використані на території України, отримано низку алгоритмічних рішень та реалізовано їх у вигляді програмного забезпечення, які ідентифікують тип вагону за такими характеристиками як осність візку, осність вагону, співвідношення бази вагону до довжину вагону між автотцепленнями, маса осей.

Використовуючи ваговий коефіцієнт для конкретної тензOMETричної системи, під час калібрування ваг, отримуємо залежність ваги вагону від його типу та маси кожної с осей.

Перелік посилань

1. 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/matecconf/201713900203>
2. 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>

3. Wei, J., Zhang, M., & Qin, L. (2016). Research and Design of vehicle Dynamic Weighing System Based on Piezoelectric Quartz Sensor. *Proceedings of the 2015 4th International Conference on Sensors, Measurement and Intelligent Materials*.
<https://doi.org/10.2991/icsmim-15.2016.227>
4. Kirushanth, S., & Kabaso, B. (2020). Design and development of weigh-in-motion using vehicular telematics. *Journal of Sensors*, 2020, 1–22.
<https://doi.org/10.1155/2020/7871215>
5. Dong, M., Zhu, F., & Yu, W. (2015). Research on a Dynamic Truck Scale Weighing System for Container. In *First international conference on information sciences, machinery, materials and energy*. Atlantis Press.
<https://doi.org/10.2991/icismme-15.2015.21>
6. VanderPlas, J. (2016). *Python data science handbook: Essential tools for working with data* (D. Schanafelt, Ред.). O'Reilly Media.
7. Ye, W. (2020). *80% python in 20 minutes: All you need to start reading and writing python*. Independently Published.
8. Romano, F. (2015). *Learning python*. Packt Publishing, Limited.
9. Beazley, D. (2021). *Python distilled*. Pearson Education, Limited.
10. Kolysnychenko, I., & Tkachov, V. (2022). Автоматизація процесу ідентифікації динамічних сигналів тензометричних систем з використанням згорткових нейронних мереж. *Aerospace Technic and Technology*, (4), 99–105.
<https://doi.org/10.32620/akt.2022.4.10>
11. *Вантажні залізничні вагони. Альбом-довідник, колія 1520 мм. Частина 6.1 - Вагони-Цистерни нафта и нафтопродукти.* (n.d.). AGONTA Ltd. – International Freight Forwarder.
12. *Вантажні залізничні вагони. Альбом-довідник, колія 1520 мм. Частина 2 - Наніввагони.* (n.d.). AGONTA Ltd. – International Freight Forwarder.
13. *Вантажні залізничні вагони. Альбом-довідник, колія 1520 мм. Частина 3 - Платформи.* (n.d.). AGONTA Ltd. – International Freight Forwarder.
14. *Вантажні залізничні вагони. Альбом-довідник, колія 1520 мм. Частина 5 - Хопери.* (n.d.). AGONTA Ltd. – International Freight Forwarder.

ABSTRACT

Objective. To increase the quality of work of tensometric systems, using data obtained from the strain gauge system in the form of maps of the passage of moving objects, it is necessary to conduct research on the data of the strain gauge system and develop a set of algorithms, thanks to which it is possible to obtain the characteristics of railway cars in rolling stock and carry out identification of railway objects with a minimum error for further use of the obtained results in the construction of a system of identification and weighing of moving objects through tensometric systems.

Research methods. To build a system for identifying different types of moving objects through single-platform railway scales in motion, it is proposed to use machine learning methods, namely neural networks and clustering algorithms.

The software implemented as part of scientific research is written in the Python programming language using numPy, sklearn, statistics, and other libraries.

Findings. Using such methods of machine learning as convolutional neural networks, clustering, perceptron and relying on the reference data of railway objects that can be used on the territory of Ukraine, a number of algorithmic solutions were obtained and implemented in the form of software, which identify the type of car by such characteristics such as the axle of the cart, the axle of the wagon, the ratio of the base of the wagon to the length of the wagon between the couplings, the weight of the axles.

Using the weight coefficient for a specific tensometric system, during the calibration of the scales, the dependence of the weight of the car on its type and the mass of each of the axles was obtained.

The originality. After conducting a study of the data on the passage of railway carriages and auto couplings through single-platform scales, it was established that the types of wagons can be categorized by such characteristics as the ratio of the base of the wagon to the length of the wagon between the auto couplings, the axle, weight. To obtain the ratio of the wagon base to the length of the wagon between autocouplings, it is necessary to perform data segmentation and clustering as follows - the wagon base is found as the distance between the middle of two bogies, and the length of the wagon between autocouplings as the middle of the distance between the bogies to the middle of the autocoupling.

Practical implications. Using such methods of machine learning as convolutional neural networks, clustering, perceptron and others, an algorithmic solution for data processing of strain gauge systems was obtained, which allows to increase the accuracy of the identification of wagons, while reducing the dependence of the results on the speed of the wagons, which allows to increase the capacity of weighing systems of enterprises

Keywords: *scales, weighing platform, railway car, clustering, identification, algorithm, Python, dynamics.*