

УДК 621.316.13

ПОЛІНОМІАЛЬНА АПРОКСИМАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ СИГНАЛІВ ОДНОПЛАТФОРМЕННИХ ЖД ВАГ

КОЛИСНИЧЕНКО І.Ю. аспірант кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем Дніпровської Політехніки, Дніпро, Україна, e-mail: Kolyasnychenkoilya847@gmail.com;

ТКАЧОВ В.В. д-р техн. наук, професор кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем Дніпровської Політехніки, Дніпро, Україна, e-mail: tkachevv@ukr.net;

Мета роботи. Отримання апроксимуючої функції (або системи апроксимуючих рівнянь), яка з мінімальною похибкою зробить наближення до наявних даних по проїзду залізничних об'єктів через 1-ну платформні залізничні ваги.

Методи дослідження. Для розв'язання поставленої задачі використовуються числові методи, а саме апроксимація поліноміальними функціями n -го порядку. Експериментальні данні, на основі яких виконуються дослідження було отримано з системи зважування та ідентифікації вагонів у русі на одно платформних вагах. Автоматизація процесу апроксимації відбувається за допомогою програми, написаної на мові програмування Python в якій, для отримання коефіцієнтів многочлена, використано функції `polyfit` та `polyid` бібліотеки `numpy`.

Отримані результати. Завдяки використанню поліноміальної апроксимації при обробці даних з тензометричних залізничних вагових систем вдалось отримати систему лінійних рівнянь, які з мінімальною похибкою відновили експериментальні дані, що були отримані з існуючої системи підприємства Північний ГЗК: Метінвест.

При нормалізації показань датчиків від умовних одиниць, отриманих з підсумкової коробки до діапазону значень $[0 ; 1]$ з'явилась змога, у процентному співвідношенні, описати рухомий залізничний об'єкт. Це дає змогу уникнути залежності кінцевих результатів від швидкості проїзду вагона або локомотива, що призводить до підвищення точності ідентифікації вагонів у рухомому складі за рахунок використання процентного співвідношення перебування осей на ваговій платформі(наїзд/з'їзд). З'явилась можливість визначити тип вагона з однаковою кількістю осей, але різними характеристиками міжосьового простору та бази рухомого складу.

Наукова новизна. Новизна полягає в отриманні загального методу апроксимації експериментальних даних проїзду вагонів через одноплатформні ваги, який можна використовувати для навчання інтелектуальних систем та генерації, наближених до реальних даних проїзду вагона(за рахунок накладання шумів, тощо.).

Практична цінність. Підвищення точності та швидкості ідентифікації вагона у цілому а також можливість ідентифікувати тип вагона з однаковою кількістю осей у залізничному складі, зменшує час простою підприємства, що сприяє збільшенню кількості зважених та ідентифікованих рухомих об'єктів. Методи, наведені у роботі, можуть бути використанні як для ідентифікації, так і для задач, кінцевим результатом яких є класифікація вхідних даних(нейронні сітки та т.п.).

Ключові слова: ваги, вагова платформа, залізничний вагон, поліном, апроксимація, оцінка похибки, ідентифікація

І. ВСТУП

Системи відносин між підприємствами спираються на взаємні розрахунки за відвантаженою продукцією, яку потрібно оцінити (зважити, виміряти і т.п.). Це займає чимало часу, а в разі збоїв – є критичним (не в останню чергу через присутність людського фактора). У зв'язку з цим, усе більша кількість підприємств потребують системи зважування вагонів у русі (динаміка), які витратять мінімальний час на обробку інформації, не знижуючи якості ідентифікації і точності. Також, для ряду підприємств, ключовим критерієм є можливість системи коректно ідентифікувати максимальну кількість типів рухомих об'єктів.

Системи зважування у русі [1], [4], [5], [8] мо-

жуть працювати лише з сигналами, які повністю описують проїзд вагона по ваговій платформі(у разі використання вагів для повагонного або повізкового зважування). При реалізації, для таких систем, алгоритму інтелектуальної обробки інформації необхідно мати велику вибірку експериментальних(або сгенерованих штучно, з максимальним наближенням до існуючих) даних, на основі яких можна виконати навчання системи(нейронна сітка). Для аналітичного описання проїзду вагона використовується апроксимація або інтерполяція, в залежності від очікуваного кінцевого результату(крива, відновлена за допомогою отриманої залежності, повинна проходити через усі точки, або наближатися до них з мінімальним відхиленням).

II. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На даний момент існують декілька способів реалізації систем ідентифікації залізничних рухомих об'єктів, алгоритми яких лягли в більшість рішень, доступних на ринку та описаних у роботах [1], [4], [5], [8], а також алгоритми для роботи з автомобільною динамікою (ідеї яких можуть бути використані при проектуванні залізничної системи): [7], [9], [10].

Одним з основних алгоритмів, який широко використовується у вітчизняних системах, є робота Драчука Є.Ф. «Методи зважування залізничних об'єктів» [1], який запропонував (і запатентував) ряд методів, заснованих на складанні унікальних комбінацій наїздів/з'їздів колісних пар на вагову платформу, з подальшим зіставленням цих комбінацій з наперед заданими в системі шаблонами для кожного типу рухомого об'єкта, використовуваного на ваговому терміналі. Метод дозволяє працювати як на 1-но, так і на 2-во платформних вагах.

У методі можна виділити кілька ключових недоліків, які не дозволяють повсюди використовувати системи, побудовані на основі запропонованого алгоритму.

Основним обмеженням системи є необхідність мати заздалегідь задані комбінації наїздів/з'їздів для кожного типу рухомого об'єкта. При цьому на 2-х системах з різними розмірами вагової платформи комбінації можуть відрізнитися, що не дозволяє скласти один шаблон (використовуючи раніше отримані експериментальні дані) і застосовувати його при необхідності. Це накладає істотні обмеження, оскільки не всім підприємствам заздалегідь відомо, які саме типи вагонів будуть зважуватися на даній ділянці вагового комплексу. У разі потрапляння на платформу типу вагона, якого немає в шаблонах - система не зможе його розпізнати, що призведе до відбраковування поточного вагона і накопичення помилки ідентифікації вагонів для складу.

Більшість закордонних систем зважування вагонів у русі (WIM - weight in motion) крім зважування, включають у себе систему детекції дефектів колісних пар (до дефектів, які можуть бути виявлені такими системами відносяться: нерівномірний знос колеса, повзуни, вищербини, тощо) (рис.1) [17], шляхом встановлення тензOMETричних датчиків у залізничні рейки через невеликі проміжки (ці датчики також використовуються для зважування).

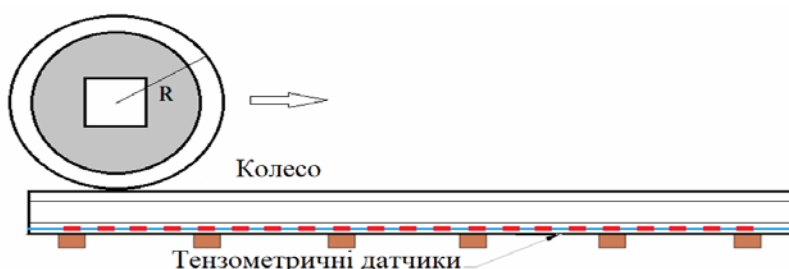


Рисунок 1. Приклад системи контролю дефектів колісних пар на базі тензOMETричних датчиків

Для ідентифікації і прив'язки ваги до вагона в таких системах додатково встановлюються дорожні датчики, які визначають початок і кінець заїзду вагона на вагову платформу. Оскільки в таких системах велика кількість датчиків, це зменшує відмовостійкість, а наявність окремих модулів ідентифікації та зважування не дозволяють як отримати інформацію про вагон (тип, вісність і т.п.), так і ідентифікувати проблемні вагони (що не були розпізнані на етапі ідентифікації).

Відома велика кількість методів апроксимації та інтерполяції даних (основні методи описані в підручнику «Порівняльний аналіз методів апроксимації» [13]). Для описання ступінчатого сигналу (який описує проїзд вагона) використовують апроксимацію сигмоїдою, поліномами n -го ступіню, ряди Фур'є та інші. В роботах [3], [6], [11], [12] наведені основні ідею та підходи до апроксимації з використанням рядів Фур'є та поліномів.

III. МЕТА РОБОТИ

Неефективність існуючих систем ідентифікації

вагона в динаміці приводить нас до задачі розробки алгоритму, який дозволить, використовуючи інформацію, отриману від тензOMETричних датчиків (епюри), з мінімальною похибкою ідентифікувати всі вагони у складі, а ті, які не можуть бути ідентифіковані, - спробувати передбачити з максимальною точністю.

Маючи велику вибірку експериментальних даних (епюр) за всіма типами вагонів, які використовуються на території України, необхідно отримати апроксимуючу функцію (або систему апроксимуючих рівнянь), яка з мінімальною похибкою зробить наближення до наявних даних.

IV. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ І АНАЛІЗ ОТРИМАННИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Розглянемо графік проїзду 1-го візка 4-вісного локомотива через 1-но платформену вагову платформу, що стоїть на 4-х тензOMETричних датчиках, які підключені через підсумкову коробку (рис.2).

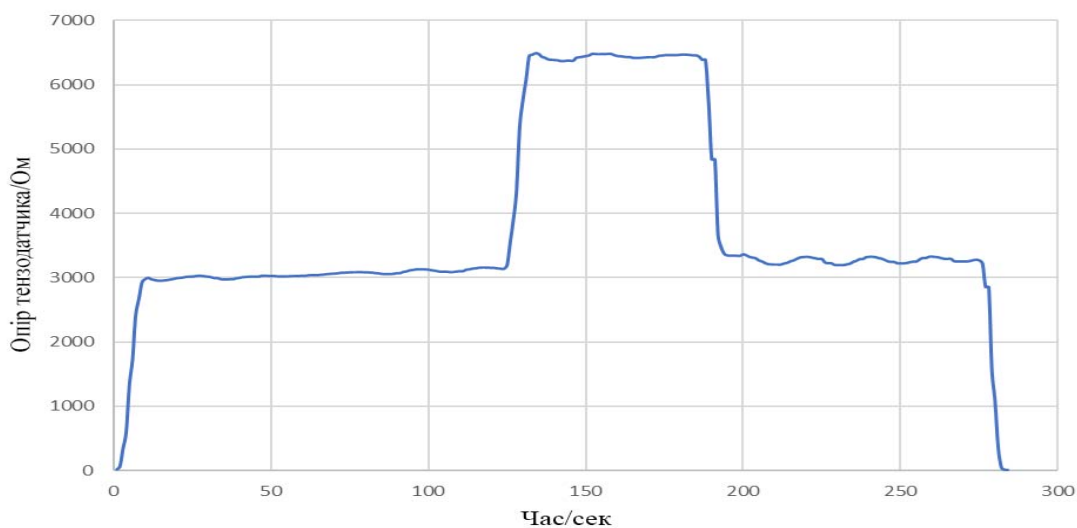


Рисунок 2. Проїзд 1-го візка 4-вісного локомотива через 1-но платформну вагову платформу

Апроксимацію будемо проводити поліномами n -го ступеню.

Оцінку помилки наближення функції розраховуватимемо за формулою середньоквадратичного відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^n (y_k - f(x_k))^2}{n}} \quad (1)$$

, де n – кількість точок апроксимації;
 y_k – експериментальне значення у точці k ;
 $f(x_k)$ – значення апроксимації у точці k .

Написано на мові Python програму, яка, використовуючи бібліотеку NumPy [16], автоматизує процес апроксимації експериментальних даних, підготовлених у табличному форматі.

NumPy [16] – це бібліотека мови python, яка додає підтримку великих багатомірних масивів та матриць, разом з бібліотекою високомірних математичних функцій для операцій з цими масивами.

З цієї бібліотеки нас цікавлять 2-і функції, які дають змогу отримувати список коефіцієнтів многочлена - `polifit` та `polyid`.

Використовуючи дану програму, оцінимо наближення всього графіка поліномами 2, 4, 6, 8 порядку (рис.3-6).

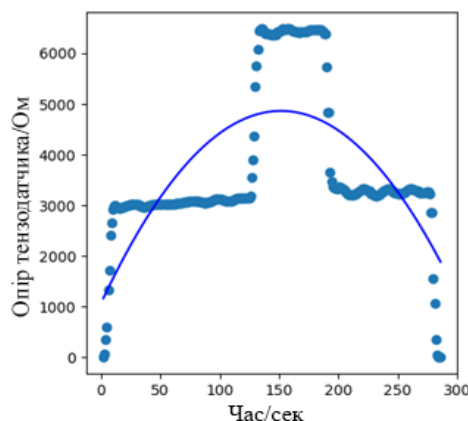


Рисунок 3. Апроксимація проїзду 4-вісного локомотива поліномом 2-го ступеню

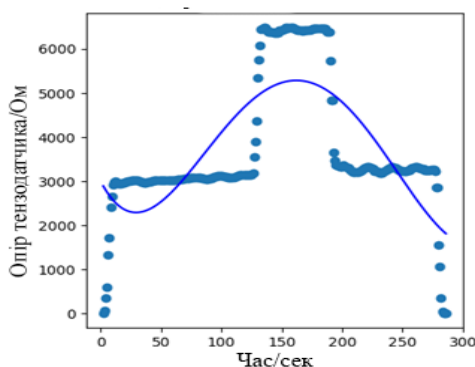


Рисунок 4. Апроксимація проїзду 4-вісного локомотива поліномом 4-го ступеня

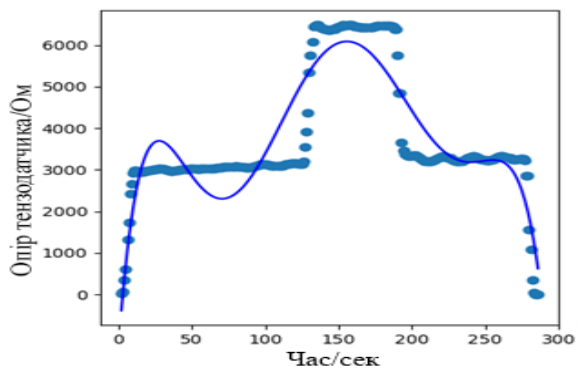


Рисунок 5. Апроксимація проїзду 4-вісного локомотива поліномом 6-го ступеня

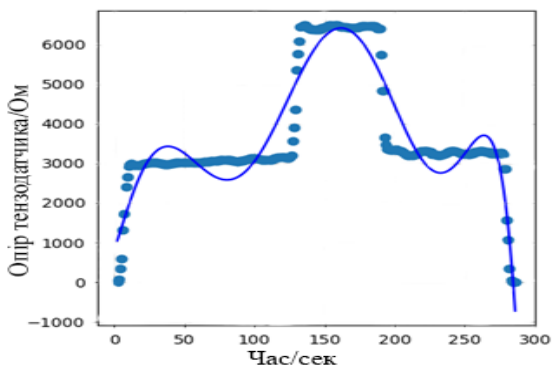


Рисунок 6. Апроксимація проїзду 4-вісного локомотива поліномом 8-го ступеня

Використовуючи (1) розрахуємо середню похибку для поліномів 2, 4, 6, 8 порядку та запишемо їх до таблиці 1.

Таблиця 1. Середня похибка апроксимації експериментальних даних проїзду 4-вісного локомотива для поліномів 2, 4, 6, 8 порядку

	Поліном 2-го ступеня	Поліном 4-го ступеня	Поліном 6-го ступеня	Поліном 8-го ступеня
Похибка	17.14%	15.68%	10.66%	8.584%

Аналіз результатів апроксимації(таб.1) показує, що при використанні полінома 8 ступеня середня похибка склала 8.58%. За нормами ДСТУ OIML R 106 [2], при класі точності ЖД ваг 1 (який найчастіше використовують при оцінюванні), допустимі межі похибки = 0.5%. Оскільки дана похибка належить до оцінки точності ваг, похибка для ідентифікації може бути вища, але мінімально можлива. Отримуємо, що похибка при апроксимації всього графіка дуже велика і не може бути використана для подальших обчислень.

Розіб'ємо графік на частини і проведемо наближення функції поліномами з порядками, які ми вико-

ристовували раніше(рис.7-13). У результаті отримаємо такі дані(таб.2) (на графіку чорним - поліном 2-го порядку, зеленим - поліном 4-го порядку, червоним - поліном 6-го порядку, сірим - поліном 8-го порядку):

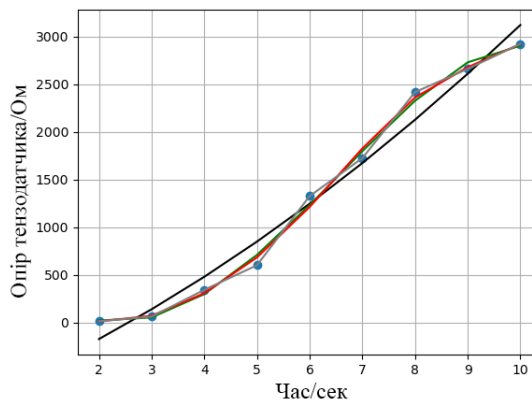


Рисунок 7. Процес заїзду 1-ї осі на вагову платформу

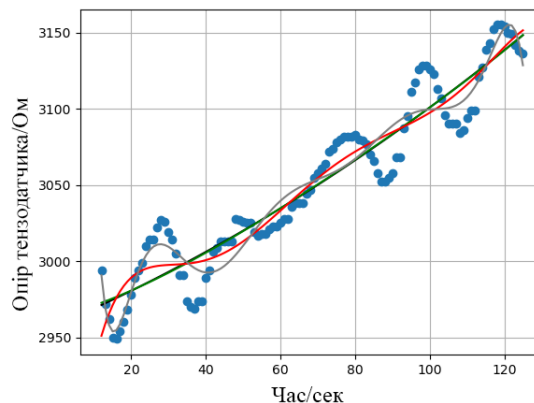


Рисунок 8. Процес проїзду 1-ї осі по ваговій платформі

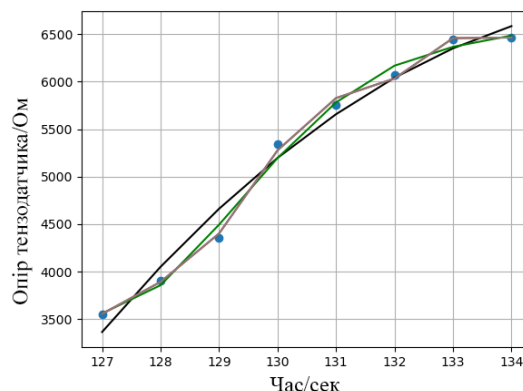


Рисунок 9. Процес заїзду 2-ї осі на вагову платформу

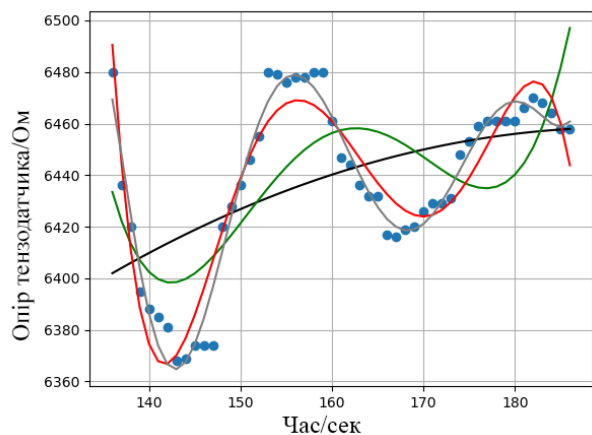


Рисунок 10. Процес проїзду 2-х осей по ваговій платформі

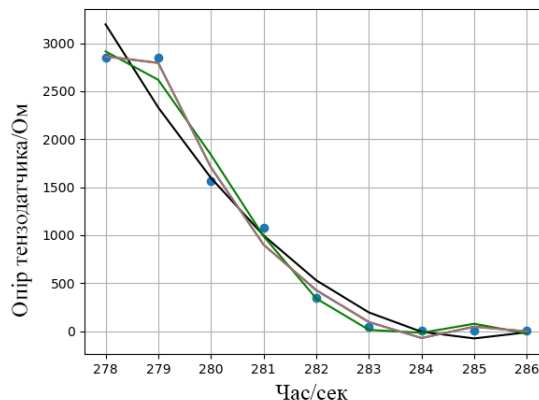


Рисунок 13. Процес заїзду 1-ї осі на вагову платформу

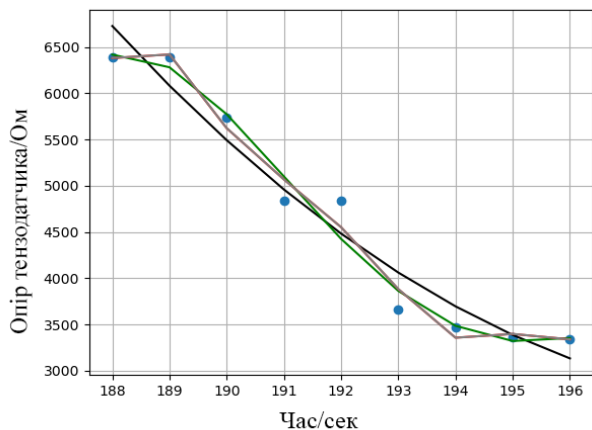


Рисунок 11. Процес з'їзду 1-ї осі

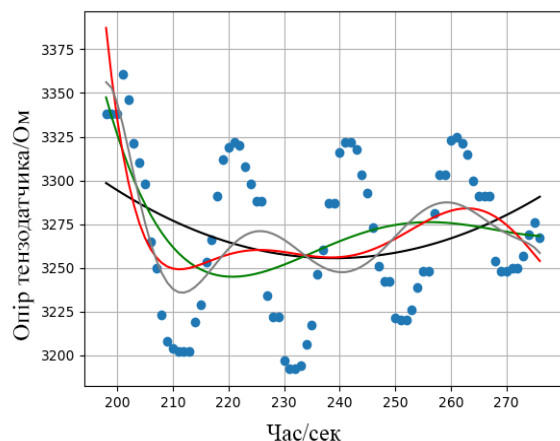


Рисунок 12. Процес проїзду 2-ї осі по ваговій платформі

Таблиця 2. Середня похибка апроксимації на кожній з ділянок

	Поліном 2-го ступеня	Поліном 4-го ступеня	Поліном 6-го ступеня	Поліном 8-го ступеня
Процес заїзду 1-ї осі	6.5%	1.04%	0.96%	0%
Процес проїзду 1-ї осі	0.27%	0.27%	0.259%	0.25%
Процес заїзду 2-ї осі	2.45%	1.32%	0.62%	0.63%
Процес проїзду 2-х осей	0.44%	0.38%	0.16%	0.10%
Процес з'їзду 1-ї осі	4.2%	2.79%	2.36%	2.37%
Процес проїзду 2-ї осі	0.65%	0.6%	0.59%	0.57%
Процес з'їзду 2-ї осі	3.48%	1.97%	1.36%	1.37%

У процесі ідентифікації нас цікавить факт різкого зростання або спаду значень (процес наїзду або з'їзду) і наближення проїзду осі по вагону в рамках допустимої похибки.

Виходячи з цього, отримуємо систему рівнянь для розглянутого прикладу (проїзд 2-вісного візку через 1-но платформні ваги):

$$f(x) = \begin{cases} 0.18x^6 - 6.1x^5 + 79.57x^4 - 524.5x^3 + 1924x^2 - 3604x + 2629, & 0 < x \leq 10 \\ (3.4 \cdot 10^{-7})x^4 - (1.03 \cdot 10^{-4})x^3 + 0.014x^2 + 0.621x + 2963, & 11 \leq x \leq 125 \\ 3.993x^4 - 2099x^3 + (4.1 \cdot 10^5)x^2 - (3.6 \cdot 10^7)x + (1.9 \cdot 10^9), & 126 \leq x \leq 134 \\ (4.5 \cdot 10^{-4})x^4 - 0.29x^3 + 69x^2 - 7332x + (2.97 \cdot 10^5), & 135 \leq x \leq 186 \\ -1.161x^6 + 1338x^5 - (6.4 \cdot 10^5)x^4 + (1.6 \cdot 10^8)x^3 - (2.37 \cdot 10^{10})x^2 + \\ (1.82 \cdot 10^{12})x - 5.82 \cdot 10^{13} & 187 \leq x \leq 196 \\ 0.026x^2 - 12.25x + 4720, & 197 \leq x \leq 276 \\ 0.0025x^6 - 2.8x^5 + 1007x^4 - 633.2x^3 - (8.03 \cdot 10^7)x^2 + (1.82 \cdot 10^{10})x - \\ (1.28 \cdot 10^{12}), & 277 \leq x \leq 286 \end{cases} \quad (2)$$

Оскільки різні об'єкти можуть мати одну вісь, але при цьому різну базу, співвідношення наїздів/проїздів/з'їздів у часі буде різним. Так ми можемо ідентифікувати рухомі об'єкти, що мають однакову осність.

Щоб уникнути величезних коефіцієнтів, виконаємо нормалізацію експериментальних значень в діапазоні від 0 до 1, підберемо ступінь полінома, виходячи з похибок, отриманих раніше у таблиці 1, і повторимо апроксимацію.

Отримаємо остаточну систему рівнянь:

$$f(x) = \begin{cases} 178.9x^2 + 10.63x + 0.1098, & 0 < x < 0.035 \\ 0.04764x^2 + 0.0462x + 0.4558, & 0.035 \leq x < 0.444 \\ -475.6x^2 + 454.3x - 107.4, & 0.444 \leq x < 0.465 \\ -0.2295x^2 + 0.3077x + 0.892, & 0.465 \leq x < 0.661 \\ 352.6x^2 - 483.2x + 172.9, & 0.661 \leq x < 0.685 \\ -0.0072x + 0.5097, & 0.685 \leq x < 0.972 \\ 556.79x^2 - 1114.3x - 557.5, & 0.972 \leq x \leq 1 \end{cases}$$

, де x – номер експериментального виміру

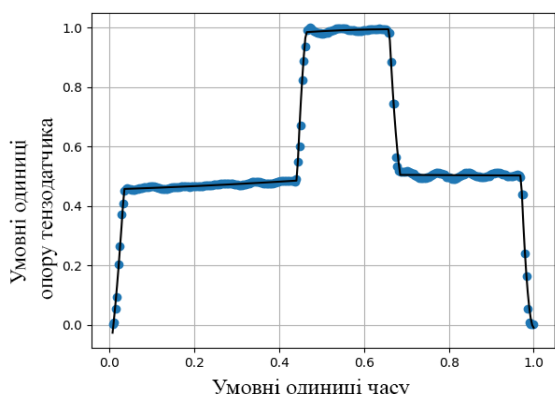


Рисунок 14. Графік, відновлений отриманою системою рівнянь (3). Синім - вхідні дані, чорним - відновлений графік.

Розглянувши графік (рис.14), який було отрима-

но з використанням функції (3) бачимо, що апроксимуюча система рівнянь з допустимою похибкою (1.3%), не залежно від швидкості руху залізничного рухомого об'єкту (завдяки нормалізації значень до діапазону від 0 до 1) відновлює дані, отримані експериментально.

V. ВИСНОВКИ

У результаті, була отримана система рівнянь, що описує проїзд 1-го візка 4-хвісного локомотива через 1-ну платформну вагову платформу. Відновлена апроксимуюча система рівнянь, що описує частини графіка окремо, показала наближення до початкових даних з похибкою 1.3%, що дозволить у подальшому використовувати її для ідентифікації заданого типу рухомого складу. Швидкість обробки даних, використовуючи запропонований метод, не поступається існуючим.

Таким чином, запропонований метод наближення дозволяє, маючи ряд експериментальних даних,

аналітично описати кожен тип рухомого об'єкту, висловивши переходи наїздів/проїздів/з'їздів, а також їх процентне співвідношення, що дозволить, при однаковій вісності, але відмінних інших характеристиках (база, довжина вагона і т.п.) відрізнити один тип рухомого об'єкта від іншого.

Цей метод використано у інтелектуальній системі розпізнавання типів вагону у русі, тестування якої показують збільшення кількості розпізнаних вагонів у рухомому складі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Способ взвешивания железнодорожных объектов : пат. RU2390735C1 Россия : G01G19/04. Заявл. 20.10.2008 ; опубл. 27.05.2010, Бюл. № 15.
- [2] ДСТУ OIML R106-1 Ваги залізничні платформні автоматичні: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 11 с.
- [3] Liu K., Guo X. Fuzzy Least Squares Approximation Using Fuzzy Polynomial. *Mathematical Problems in Engineering*. 2021. Vol. 2021. P. 1–8. URL: <https://doi.org/10.1155/2021/9979544> (date of access: 06.10.2021).
- [4] Test of WIM sensors and systems on an urban road / M. Caprez et al. *International Journal of Heavy Vehicle Systems*. 2000. Vol. 7, no. 2/3. P. 169. URL: <https://doi.org/10.1504/ijhvs.2000.005003> (date of access: 06.10.2021).
- [5] Evaluation of an in-motion vehicle weighing method via Grey estimation model / S. Fujimoto et al. *SICE 2002. of the 41st SICE Annual Conference, Osaka, Japan*. URL: <https://doi.org/10.1109/sice.2002.1195311> (date of access: 06.10.2021).
- [6] M. A. Fariborzi Araghi, A. Fallahzadeh Inherited fuzzy interpolation based on the inherited lower-upper factorization. *Fuzzy Information and Engineering*. 2014. Vol. 6, no. 4. P. 427–434.
- [7] Bernard Jacob, Véronique Feypell-de La Beaumelleb. Improving truck safety: Potential of weigh-in-motion technology. *IATSS Research*. 2010. Vol. 34, no. 1. P. 9–15.
- [8] Research and Design of vehicle Dynamic Weighing System Based on Piezoelectric Quartz Sensor / Jun Wei, Mengjun Zhang, Ligeng Qin, Tiejun Zhang, Wenzheng Jiang, Chi Zhang School of Mechanical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004. 2015. P. 1229–1232.
- [9] Kirushanth S., Kabaso B. Design and Development of Weigh-In-Motion Using Vehicular Telematics. *Journal of Sensors*. 2020. Vol. 2020. P. 1–22. URL: <https://doi.org/10.1155/2020/7871215> (date of access: 06.10.2021).
- [10] Dong M., Zhu F., Yu W. Research on a Dynamic Truck Scale Weighing System for Container. *First International Conference on Information Sciences, Machinery, Materials and Energy, Chongqing, China, 11–13 April 2015. Paris, France, 2015*. URL: <https://doi.org/10.2991/icismme-15.2015.21> (date of access: 06.10.2021).
- [11] Kidron I. Polynomial Approximation of Functions: Historical Perspective and New Tools. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*. 2003. Vol. 8, no. 3. P. 299–331. URL: <https://doi.org/10.1023/b:ijco.0000021793.71677.cd> (date of access: 06.10.2021).
- [12] Susant K. J., Balasubramanian G., Pradhan N. Fourier Approach to Function Approximation. 2011.
- [13] Порівняльний аналіз методів апроксимації / Н. Грищенко Н., Семеріков С., Хараджян О., Чернов Є. *Кривий Піг: КДПІ*, 1998. 25 с.
- [14] Рено Н. Н. Численные методы. Москва : Университет Книжный дом, 2007. 98 с.
- [15] Лапчик М. П., Рагулина М. И., Хеннер Е. К. Численные методы / ред. М. П. Лапчика. Москва : Издательс. центр "Академия", 2004. 384 с.
- [16] Вандер Плас Дж. Python для сложных задач. Наука о данных и машинное обучение. O'Reilly, 2018. 58 – 128 с.
- [17] Liu X.-Z., Xu C., Ni Y.-Q. Wayside Detection of Wheel Minor Defects in High-Speed Trains by a Bayesian Blind Source Separation Method. *Sensors*. 2019. Vol. 19, no. 18. P. 3981. URL: <https://doi.org/10.3390/s19183981> (date of access: 07.10.2021).

Стаття надійшла до редакції 20.04.2021

ПОЛИНОМИАЛЬНАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ОДНОПЛАТФОРМЕННЫХ ЖД ВЕСОВ

КОЛИСНИЧЕНКО І.Ю. аспірант кафедри кіберфізичних і інформаційно-вимірних систем Дніпровської Політехніки, Дніпр, Україна, e-mail: Kolysnychenkoillya847@gmail.com;

ТКАЧЕВ В.В. д-р техн. наук, професор кафедри кіберфізических і інформаційно-вимірних систем Дніпровської Політехніки, Дніпр, Україна, e-mail: tkachevv@ukr.net

Цель работы. Получение аппроксимирующей функции (или системы аппроксимирующих уравнений), которая с минимальной погрешностью сделает приближения к имеющимся данным по поезду железнодорожных

объектов через 1-но платформенные весы.

Методы исследования. Для решения поставленной задачи используются численные методы, а именно аппроксимация полиномиальными функциями n -го порядка. Экспериментальные данные, на основе которых выполняются опыты были получены из системы взвешивания и идентификации вагонов в движении на одно платформенных весах. Автоматизация процесса аппроксимации происходит с помощью программы, написанной на языке программирования Python в которой, для получения коэффициентов многочлена, использовано функции `polyfit` и `polyid` библиотеки `numpy`.

Полученные результаты. Благодаря использованию полиномиальной аппроксимации при обработке данных с тензометрических железнодорожных весовых систем удалось получить систему линейных уравнений, которые с минимальной ошибкой восстановили экспериментальные данные, которые были получены с существующей системы предприятия Северный ГОК: Метинвест.

При нормализации показаний датчиков от условных единиц, полученный из суммирующей коробки к диапазону значений $[0; 1]$ появилась возможность, в процентном соотношении, описать подвижной железнодорожный объект. Это дает возможность избежать зависимость конечных результатов от скорости проезда вагона или локомотива, что приводит к повышению точности идентификации вагонов в подвижном составе за счет использования процентного соотношения перебивания осей на весовой платформе (наезд/съезд). Появилась возможность определить тип вагона с одинаковым количеством осей, но разными характеристиками межосевого пространства и базы подвижного состава.

Научная новизна. Новизна заключается в полученные общего метода аппроксимации экспериментальных данных проезда вагонов через одноплатформенные весы, который можно использовать для обучения интеллектуальных систем и генерации приближенных к реальным данным проезда вагона (за счет наложения шумов, пр.).

Практическая ценность. Повышение точности и скорости идентификации вагона в целом, что уменьшает время простоя предприятия, способствует увеличению количества взвешенных и идентифицированных движущихся объектов, а так же возможность идентифицирования типа вагона с одинаковым количеством осей в железнодорожном составе. Методы, приведенные в работе, могут быть использованы как для идентификации, так и для задач, конечным результатом которых является классификация входных данных (нейронные сети и т.п.).

Ключевые слова: весы, весовая платформа, железнодорожный вагон, полином, аппроксимация, оценка погрешности, идентификация.

POLYNOMIAL APPROXIMATION OF DYNAMIC SIGNALS OF SINGLE PLATFORM RAILWAY SCALES

KOLYSNYCHENKO I.Y. Postgraduate student of the department of cyber-physical and information-measuring systems of Dnipro Polytechnic, Dnipro, Ukraine, e-mail: Kolysnychenkoilya847@gmail.com;

V. V. TKACHOV Sci.D, Professor of the Department of Cyberphysical and Information-measuring Systems, Dnipro University of technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: tkachevv@ukr.net

Purpose. Obtaining an approximating function (or a system of approximating equations), which, with a minimum error, will make approximations to the available data on a train of railway objects through 1 platform scales.

Methodology. To solve this problem, numerical methods are used, namely, the approximation by polynomial functions of the n th order. The experimental data on the basis of which the experiments were carried out were obtained from the weighing and identification system of wagon in motion on a single platform scale. The approximation process is automated using a program written in the Python programming language in which the `polyFit` and `polyid` functions of the `numpy` library are used to obtain the polynomial coefficients.

Findings. Due to the use of polynomial approximation in data processing from tensometric railroad weighing systems, it was possible to obtain a system of linear equations that, with minimal error, restored the experimental data that were obtained from the existing system of the Severny GOK: Metinvest enterprise.

When normalizing the readings of the sensors from conventional units, obtained from the summing box to the range of values $[0; 1]$ it became possible, in percentage terms, to describe a railway object. This makes it possible to avoid the dependence of the final results on the travel speed of the carriage or locomotive, which leads to an increase in the accuracy of the identification of cars in the rolling stock due to the use of the percentage of the axles staying on the weighing platform (approach / exit). It became possible to determine the type of carriage with the same number of axles, but different characteristics of the center space and the base of the rolling stock.

Originality. The novelty is to obtain a general method of approximation of experimental data of the passage of wagons through a single-platform scales, which can be used to train intelligent systems and generate close to real data

of the passage of a car (due to the imposition of noise, etc.).

Practical value. Improving the accuracy and speed of the carriage identification as a whole, which reduces the plant downtime, contributes to an increase in the number of weighed and identified moving objects, as well as the ability to identify the type of carriage with the same number of axles in the train. The methods presented in the work can be used both for identification and for tasks, the end result of which is the classification of input data (neural networks, etc.).

Keywords: scales, weighing platform, railway car, polynomial, approximation, error estimation, identification.

REFERENCES

- [1] Sposob vzveshivaniya zheleznodorozhnykh ob"ektov : pat. RU2390735C1 Rossiya : G01G19/04. Zayavl. 20.10.2008 ; opubl. 27.05.2010, Bjul. № 15.
- [2] DSTU OIML R106-1 Vagi zaliznichni platformni avtomatichni: DP «UkrNDNC», 2019. – 11 c.
- [3] Liu K., Guo X. Fuzzy Least Squares Approximation Using Fuzzy Polynomial. *Mathematical Problems in Engineering*. 2021. Vol. 2021. P. 1–8. URL: <https://doi.org/10.1155/2021/9979544> (date of access: 06.10.2021).
- [4] Test of WIM sensors and systems on an urban road / M. Caprez et al. *International Journal of Heavy Vehicle Systems*. 2000. Vol. 7, no. 2/3. P. 169. URL: <https://doi.org/10.1504/ijhvs.2000.005003> (date of access: 06.10.2021).
- [5] Evaluation of an in-motion vehicle weighing method via Grey estimation model / S. Fujimoto et al. *SICE 2002. of the 41st SICE Annual Conference, Osaka, Japan*. URL: <https://doi.org/10.1109/sice.2002.1195311> (date of access: 06.10.2021).
- [6] M. A. Fariborzi Araghi, A. Fallahzadeh Inherited fuzzy interpolation based on the inherited lower-upper factorization. *Fuzzy Information and Engineering*. 2014. Vol. 6, no. 4. P. 427–434.
- [7] Bernard Jacob, Véronique Feypell-de La Beaumelleb. Improving truck safety: Potential of weigh-in-motion technology. *IATSS Research*. 2010. Vol. 34, no. 1. P. 9–15.
- [8] Research and Design of vehicle Dynamic Weighing System Based on Piezoelectric Quartz Sensor / Jun Wei, Mengjun Zhang, Ligeng Qin, Tieyi Zhang, Wenzheng Jiang, Chi Zhang School of Mechanical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004. 2015. P. 1229–1232.
- [9] Kirushanth S., Kabaso B. Design and Development of Weigh-In-Motion Using Vehicular Telematics. *Journal of Sensors*. 2020. Vol. 2020. P. 1–22. URL: <https://doi.org/10.1155/2020/7871215> (date of access: 06.10.2021).
- [10] Dong M., Zhu F., Yu W. Research on a Dynamic Truck Scale Weighing System for Container. *First International Conference on Information Sciences, Machinery, Materials and Energy, Chongqing, China, 11–13 April 2015. Paris, France, 2015*. URL: <https://doi.org/10.2991/icismme-15.2015.21> (date of access: 06.10.2021).
- [11] Kidron I. Polynomial Approximation of Functions: Historical Perspective and New Tools. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*. 2003. Vol. 8, no. 3. P. 299–331. URL: <https://doi.org/10.1023/b:ijco.0000021793.71677.cd> (date of access: 06.10.2021).
- [12] Susant K. J., Balasubramanian G., Pradhan N. *Fourier Approach to Function Approximation*. 2011.
- [13] Porivnjal'nijj analiz metodiv aproksimacii / N. Grishhenko N., Semerikov S., Kharadzhan O., Chernov C. *Krivijj Rig: KDPI*, 1998. 25 s.
- [14] Reno N. N. *Chislennye metody*. Moskva : Universitet Knizhnyj dom, 2007. 98 s.
- [15] Lapchik M. P., Ragulina M. I., Khenner E. K. *Chislennye metody / red. M. P. Lapchika*. Moskva : Izdatel's. centr "Akademija", 2004. 384 s.
- [16] Vander Plas Dzh. *Python dlja slozhnykh zadach. Nauka o dannykh i mashinnoe obuchenie*. O'Relly, 2018. 58 – 128 c.
- [17] Liu X.-Z., Xu C., Ni Y.-Q. Wayside Detection of Wheel Minor Defects in High-Speed Trains by a Bayesian Blind Source Separation Method. *Sensors*. 2019. Vol. 19, no. 18. P. 3981. URL: <https://doi.org/10.3390/s19183981> (date of access: 07.10.2021).