ТЕЗИ СТЕНДОВИХ ДОПОВІДЕЙ ТА ВИСТУПІВ УЧАСНИКІВ КОНФЕРЕНЦІЇ

HIGHLIGHTS OF REPORTS AND PRESENTATIONS OF PARTICIPANTS TO THE CONFERENCE

УДК 629.4.023:629.463

М.В. Фісун, аспірант, А.В. Рибін, канд.тех.наук
Український державний університет залізничного транспорту
M.V. Fisun, PhD-student, A.V. Rybin, PhD
Ukrainian State University of Railway Transport

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГІБРИДНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА

MODELLING OF THE STRESS–STRAIN STATE OF A HYBRID FREIGHT WAGON STRUCTURE

Підвищення енергоефективності вантажних вагонів без зниження їх міцнісних характеристик є одним із ключових напрямів сучасного вагонобудування. Зменшення маси тари без втрати жорсткості та довговічності конструкції дозволяє знизити питомі енерговитрати на перевезення, збільшити вантажопідйомність і зменшити динамічні навантаження на колію [5]. Одним із перспективних шляхів досягнення цих показників є застосування гібридних конструкцій вагонів, у яких поєднуються традиційні сталі з легкими матеріалами — алюмінієвими сплавами, композитами та сендвіч-панелями [1,2].

Метою дослідження є моделювання напружено-деформованого стану несучої конструкції вантажного вагона гібридного типу для визначення впливу застосування новітніх матеріалів на його масу, міцність і динамічні характеристики.

У роботі розглянуто фрагмент рами вагона-хопера, у якому поздовжні балки зі сталі 09Г2С ($E = 2{,}1\cdot10^5$ МПа, $\rho = 7850$ кг/м³) замінено на алюмінієві профілі зі сплаву 6061 ($E = 6{,}9\cdot10^4$ МПа, $\rho = 2700$ кг/м³) з еквівалентною жорсткістю перерізу. Просторова модель побудована у середовищі ANSYS Workbench, де виконано розрахунок на міцність методом скінченних елементів (FEM). До уваги прийнято режим руху вагона у складі поїзда при дії на його автозчеп повздовжнього навантаження у 2,5 МН. Розрахунок проведено у статиці. Граничні умови передбачали жорстке закріплення несучої конструкції вагона за п’ятники.

Результати числового експерименту показали, що заміна матеріалу балок на алюмінієвий сплав зменшує масу рами на 18 %, тоді як максимальні еквівалентні напруження зменшуються на 7 %. Власна частота коливань конструкції підвищується на 11 %, що свідчить про покращення динамічної стійкості. Додаткове використання полімерних сендвіч-панелей у настилі підлоги кузова дозволило знизити загальну масу вагона ще на 9 % без перевищення допустимих прогинів [1,4].

Аналіз результатів підтверджує доцільність гібридного підходу — комбінування сталевих вузлів із високою міцністю (09Г2С або AHSS) у відповідальних елементах з легкими матеріалами (Al6061, CFRP, GFRP, сендвіч-панелі) у другорядних ділянках конструкції [2,3]. Це забезпечує зменшення маси вагона до 2,5 т при збереженні міцності відповідно до вимог ДСТУ 7598:2014.

Зменшення маси конструкції прямо корелює з енергоефективністю, тому для типового зерновоза економія пального може досягати 8–9 % за життєвий цикл експлуатації, а динамічне навантаження на колію — зменшитися на 4–5 % [5]. Водночас результати моделювання виявили локальні концентрації напружень у місцях стику сталевих і алюмінієвих елементів, що потребує подальшої оптимізації з’єднань і додаткового аналізу втомної довговічності [3].

[1] Cuartero J., Miravete A., Sanz R. Design and calculation of a railway car composite roof under concrete cube crash. International Journal of Crashworthiness. 2011. Vol. 16(1). P. 41–47. https://doi.org/10.1080/13588265.2010.501163
[2] Cascino A., Meli E., Rindi A. A strategy for lightweight designing of a railway vehicle car body including composite material and dynamic structural optimization. Railway Engineering Science. 2023. Vol. 31(9). P. 340–350. DOI:10.1007/s40534-023-00312-6
[3] Фомін О. В., Ловська А. О., Рибін А. В. Дослідження навантаження несучої конструкції вагона-хопера з дахом із композитного матеріалу. Наука та прогрес транспорту. 2022. №1(97). С. 70–76. DOI:10.15802/stp2022/265331
[4] Ватуля Г. Л., Ловська А. О., Краснокутський Є. С. Моделювання поперечної навантаженості контейнера зі стінами із сендвіч-панелей, розміщеного на вагоні-платформі. Розвиток транспорту. 2023. №3(18). С. 50–57. DOI:10.33082/td.2023.3-18.04
[5] Bulakh M. Evaluation and reduction of energy consumption of railway train movement on a straight track section with reduced freight wagon mass. Energies. 2025. Vol. 18(2). P. 1–17. DOI:10.3390/en18020280

УДК 621.865.6

СЕМЕНЕНКО Ю.О. *к.т.н., доцент, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків,*
СЕМЕНЕНКО О.Д. *асистент, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», м. Харків*

АНАЛІЗ МОЖЛИВІСТІ КЕРУВАННЯ ДЕЛЬТА-РОБОТОМ ЗА ДОПОМОГОЮ PID-РЕГУЛЯТОРА

Дельта-робот, винайдений Реймондом Клафелем у 80-х роках XX ст., є паралельним маніпулятором з трьома ступенями свободи (3-DOF), що складається з фіксованої бази, трьох рухомих рук та мобільної платформи. Він відомий своєю високою швидкістю та точністю, що робить його ідеальним для автоматизованих виробництв, таких як пакування, сортування та складання. Однак керування Дельта-роботом є складним завданням через нелінійні зв'язки між руками, вплив гравітації та інерційні ефекти. PID-контролер, як класичний метод зворотного зв'язку, застосовується для регулювання позиції, але часто потребує вдосконалення за допомогою нейронних мереж або fuzzy-логіки для адаптації до змінних умов.

PID-керування часто використовується для управління роботами в промисловості, його перевагою є простота закономірності управління та легкість реалізації алгоритму [3].

PID-регулятор керує керованим об'єктом шляхом лінійної комбінації пропорції (P), інтеграла (I) та диференціала (D) відхилення для формування керованої величини. Принцип управління PID-регулятором полягає в обчисленні відхилення між даними, отриманими від датчика, та заданим очікуваним значенням, а також перерахунку отриманого відхилення як нового вхідного значення системи. Керуючи новим вхідним значенням, регулятор може підтримувати системні дані близькими до очікуваного значенню. Принципова блок-схема системи показана на рис. 1, серед них r(t) – бажаний вхідний сигнал, y(t) – вихідний сигнал системи, а u□ t □ – величина керування системою.

Рис. 1. Принципова блок-схема системи PID-регулятора

Відхилення e(t) складається з бажаного вхідного сигналу r(t) та вихідного сигналу системи y(t):

. (1)

Закон управління PID такий：

, (2)

де Kp, KI , KD , пропорційна, інтегральна і диференціальна константи відповідно.

PID-керування Дельта-роботом забезпечує достатню точність і стабільність руху при високих швидкостях. Основними проблемами залишаються взаємний вплив приводів та необхідність точного налаштування параметрів регулятора. У майбутньому перспективним напрямом є поєднання PID-контролю з адаптивними та робастними алгоритмами.

Список використаних джерел

1. Костюк В. І., Спину Г. О., Ямпольський Л. С., Ткач М. М. Робототехніка: підручник. – Тернопіль : ТНТУ, 2015. – 420 с.

2 Максим М., Міщук Д. Маніпуляторне обладнання для виконання вантажопідіймальних робіт // Зб. наук. праць КНУБА. – Київ : КНУБА, 2020. – С. 92–97.

3. Krakhmalev O.N. Mathematical model manipulator robots //International Journal of Advanced Studies (IJAS). St. Louis, USA: Publishing House Science and Innovation Center, Ltd. 2015. V. 5. № 4. P. 31–35.

4. Wang X., Zhang D., Zhao C. The inverse kinematics of a 7R 6-degree-of-freedom robot with non-spherical wrist. Advanc- es in Mechanical Engineering, 2017, 9(8), 168781401771 4985.

5. Momani S., Abo-Hammour Z.S., Alsmadi O.M. K. Solution of inverse kinematics problem using genetic algorithms // Applied Mathematics & Information Sciences. 2016. V. 10. № 1. P. 225.

УДК 621.865.6

СЕМЕНЕНКО. О.Д. *асистент,*
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут» м. Харків

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ З ПІДВИЩЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Робота різального інструменту (РІ) пов’язана з впливом низки руйнівних факторів, обумовлених впливом високих контактних навантажень і температур, активізації фізико-хімічних процесів. Внаслідок цього посилюється зношування інструмента через абразивний та адгезійний вплив оброблюваного матеріалу, прискорюються дифузійні й окисні процеси, а також відбувається розм’якшення поверхневих шарів інструментального матеріалу. [1]. Продовження працездатності РІ може відбуватися за рахунок поліпшення властивостей інструментальних матеріалів, що призводить до найбільш ефективного опору контактних майданчиків різального інструменту впливу термомеханічних навантажень та різних видів зношування [3].

Рис. 1. Напрями вдосконалення РІ із зносостійкими покриттями [2]

Напрями підвищення експлуатаційних властивостей РІ можна розділити на кілька груп:

- розробка та застосування нових інструментальних матеріалів для ріжучого інструменту;
- вдосконалення конструкції РІ;
- визначення оптимальних експлуатаційних режимів для РІ;
- поліпшення фізико-механічних властивостей матеріалу робочих поверхонь інструменту;
- застосування зносостійких покриттів.

Найбільш ефективними напрямками вдосконалення ріжучого інструменту є методи поліпшення властивостей поверхневих шарів інструментального матеріалу і нанесення покриттів, при яких робочі поверхні різального клина інструменту мають найбільші можливості опиратися термомеханічним навантаженням і процесам зношування.

Останнім часом особливий інтерес становлять наноструктуровані покриття. У цьому випадку створення багатошарово-композиційної архітектури покриттів з шарами різного функціонального призначення з нанометричною структурою і шарами нанорозмірної товщини, що володіють різним композиційним складом, що чергуються між собою, дозволяє значно підвищити властивості покриттів і, в першу чергу, твердість і тріщино. Тому провідні фірми-виробники ріжучого інструменту в даний час зміцнюють композиційно-багатошаровими покриттями різного складу і архітектури до 95% твердо-сплавного інструменту і до 60% інструменту, що виготовляється з швидкорізальної сталі. Аналіз наукової літератури показує, що працездатність ріжучого інструменту істотно зростає при нанесенні на його робочі поверхні зносостійких покриттів. Однак у ряді випадків працездатність різального інструменту із зносостійкими покриттями не відповідає сучасним вимогам машинобудівного комплексу. До того ж технологічний потенціал одно- і багатоелементних, одно- і багатошарових покриттів, розроблених на основі TiN і його варіацій, фактично вичерпаний.

Отже, науково-технічна задача пошуку нових технологій і засобів для подальшого підвищення працездатності ріжучого інструменту з покриттями стає актуальною. Тому додаткова зміцнююча обробка різального інструменту зі зносостійкими покриттями, спрямована на модифікацію фізико-механічних властивостей самого покриття та підвищення міцності адгезії зносостійкого покриття з інструментальною основою може стати рішенням.

Список використаних джерел

1. Костюк Г.І. Нанотехнології: вибір технологічних параметрів і установок,

продуктивність обробки, фізико-механічні характеристики наноструктур : монографія / Г.І. Костюк. – К. : Вид. центр Міжнар. академії наук і інновац. технологій, 2014. – 472 с.

2. Костюк Г.І. Нанотехнології: теорія, експеримент, техніка, перспективи : монографія / Г.І. Костюк. – К. : Вид. центр Міжнар. академії наук і інновац. технологій, 2012. – 648 с.

3. Вплив способу задання теплофізичних і термомеханічних характеристик твердого сплаву В3 на характер і ефективність утворення наноструктур / Г. І. Костюк, О. Д. Семененко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків, 2018. – Вип. 34 (1310). – С. 40–46.

УДК 621.316

СЕМЕНЕНКО Ю.О. *к.т.н., доцент,*
Український державний університет
залізничного транспорту, м. Харків

АНАЛІЗ ПЕРЕБІГУ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ОДНОФАЗНИХ ЗАМИКАННЯХ НА ЗЕМЛЮ В МЕРЕЖАХ 10-35 кВ

Перехідні процеси при однофазних замиканнях на землю (ОЗЗ) в електричних мережах 10-35 кВ характеризуються наступними стадіями [1]: формування початкового фронту на місці ушкодження тобто появою розрядних хвиль по фазам; поширення розрядних хвиль у межах пошкодженої лінії; поширення хвиль у мережі з відображеннями та заломленнями у точках порушення однорідності хвильових опорів; додатковий заряд ємностей непошкоджених фаз через обмотки генераторів та трансформаторів; поширення зарядних хвиль; встановлення нового режиму промислової частоти.

При ОЗЗ на ЛЕП у місці ушкодження відбуваються стрибкоподібні зміни напруг фаз лінії щодо землі: у пошкодженій фазі напруга знижується на деяку величину Δu, а при перехідному опорі $R_п$, що дорівнює нулю, на величину $u_ф$, приймаючи значення $i_п = 0$; у непошкоджених фазах напруга підвищується за рахунок електромагнітних зв'язків.

Розрахункові співвідношення для перехідних процесів при ОЗЗ розглядаємо за допомогою хвильових рівнянь трифазної лінії:

$$\begin{cases} u_A = z_{AA} i_A + z_{AB} i_B + z_{AC} i_C; \\ u_B = z_{BA} i_A + z_{BB} i_B + z_{BC} i_C; \\ u_C = z_{CA} i_A + z_{CB} i_B + z_{CC} i_C. \end{cases} \quad (1)$$

де u_A, u_B, u_C та i_A, i_B, i_C – миттєві напруги та струми у фазах трифазної лінії при хвильовому перехідному процесі;

z_{AA}, z_{BB}, z_{CC} та z_{AB}, z_{BC}, z_{AC} – власні та взаємні хвильові опори фаз лінії.

У трифазній ЛЕП 10-35 кВ утворюється три хвильових канали (два міжфазні канали та канал «фаза – земля»). У симетричній трифазній ЛЕП коефіцієнти поширення міжфазних хвильових каналах приймаються однаковими. Це визначає можливість розкладання напруг і струмів хвиль такої ЛЕП на дві незалежні складові (міжфазний канал і канал «фаза-земля» (нульовий)).

Рівняння при розкладанні фазних величин на складові мають вигляд:

$$\begin{cases} u_A = u_a + u_{a0}; \quad i_A = i_a + i_{a0}; \\ u_B = u_b + u_{b0}; \quad i_B = i_b + i_{b0}; \\ u_C = u_c + u_{c0}; \quad i_C = i_c + i_{c0}. \end{cases} \quad (2)$$

де u_a, u_b, u_c та i_a, i_b, i_c – миттєві напруги та струми, які є складовими міжфазного хвильового каналу; u_{a0}, u_{b0}, u_{c0} та i_{a0}, i_{b0}, i_{c0} – миттєві напруги та струми, які є складовими нульового хвильового каналу.

Для пристроїв захисту від ОЗЗ, що базуються на використанні електричних величин перехідного процесу, ці величини є вхідними інформаційними сигналами. До переваг використання для дії захисту від ОЗЗ електричних величин перехідного процесу відносяться: незалежність функціонування режиму заземлення нейтралі мережі; налаштування від струмів небалансу фільтрів струму нульовий послідовності; можливість фіксації короткочасних пробоїв ізоляції та використання інформації про них у діагностичних цілях для контролю стану ізоляції мережі.

Створення ефективних захистів на основі використання електричних величин перехідного процесу, стало можливим лише після широкого впровадження мікроелектронної технології у релейному захисті. Сучасна мікропроцесорна база дає нові можливості для вдосконалення принципів виконання та створення багатофункціональних виконань пристроїв захисту від ОЗЗ, заснованих на використанні електричних величин як перехідних процесів, так і сталого режиму ОЗЗ.

Список використаних джерел

1. Середа О. Г. Теоретичні основи розвитку цифрових технологій в системах автоматизації, діагностики, контролю та захисту електротехнічних комплексів: дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.09.03 / Олександр Григорійович Середа; [наук. консультант Шевченко С. Ю.]; Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків, 2021. – 39 с. – укр.

2. Li, J.; Wang, G.; Zeng, D.; Li, H. High-impedance ground faulted line-section location method for a resonant grounding system based on the zero-sequence current's declining periodic component. Int. J. Electr. Power Energy Syst. 2020, 19, 105910.

3. Liu, K.; Zhang, S.; Li, B.; Zhang, C.; Liu, B.; Jin, H.; Zhao, J. Faulty Feeder Identification Based on Data Analysis and Similarity Comparison for Flexible Grounding System in Electric Distribution Networks. Sensors 2021, 21, 154.

4. Shao,W.; Bai, J.; Cheng, Y.; Zhang, Z.; Li, N. Research on a Faulty Line Selection Method Based on the Zero-Sequence Disturbance Power of Resonant Grounded Distribution Networks. Energies 2019, 12, 846.

УДК 621.316

СЕМЕНЕНКО Ю.О. *к.т.н., доцент,*
Український державний університет
залізничного транспорту, м. Харків

АНАЛІЗ ПЕРЕБІГУ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ОДНОФАЗНИХ ЗАМИКАННЯХ НА ЗЕМЛЮ В МЕРЕЖАХ 10-35 кВ

Перехідні процеси при однофазних замиканнях на землю (ОЗЗ) в електричних мережах 10-35 кВ характеризуються наступними стадіями [1]: формування початкового фронту на місці ушкодження тобто появою розрядних хвиль по фазам; поширення розрядних хвиль у межах пошкодженої лінії; поширення хвиль у мережі з відображеннями та заломленнями у точках порушення однорідності хвильових опорів; додатковий заряд ємностей непошкоджених фаз через обмотки генераторів та трансформаторів; поширення зарядних хвиль; встановлення нового режиму промислової частоти.

При ОЗЗ на ЛЕП у місці ушкодження відбуваються стрибкоподібні зміни напруг фаз лінії щодо землі: у пошкодженій фазі напруга знижується на деяку величину Δu, а при перехідному опорі $R_п$, що дорівнює нулю, на величину $u_ф$, приймаючи значення $i_п = 0$; у непошкоджених фазах напруга підвищується за рахунок електромагнітних зв'язків.

Розрахункові співвідношення для перехідних процесів при ОЗЗ розглядаємо за допомогою хвильових рівнянь трифазної лінії:

$$\begin{cases} u_A = z_{AA} i_A + z_{AB} i_B + z_{AC} i_C; \\ u_B = z_{BA} i_A + z_{BB} i_B + z_{BC} i_C; \\ u_C = z_{CA} i_A + z_{CB} i_B + z_{CC} i_C. \end{cases} \quad (1)$$

де u_A, u_B, u_C та i_A, i_B, i_C – миттєві напруги та струми у фазах трифазної лінії при хвильовому перехідному процесі;

z_{AA}, z_{BB}, z_{CC} та z_{AB}, z_{BC}, z_{AC} – власні та взаємні хвильові опори фаз лінії.

У трифазній ЛЕП 10-35 кВ утворюється три хвильових канали (два міжфазні канали та канал «фаза – земля»). У симетричній трифазній ЛЕП коефіцієнти поширення міжфазних хвильових каналах приймаються однаковими. Це визначає можливість розкладання напруг і струмів хвиль такої ЛЕП на дві незалежні складові (міжфазний канал і канал «фаза-земля» (нульовий)).

Рівняння при розкладанні фазних величин на складові мають вигляд:

$$\begin{cases} u_A = u_a + u_{a0}; \quad i_A = i_a + i_{a0}; \\ u_B = u_b + u_{b0}; \quad i_B = i_b + i_{b0}; \\ u_C = u_c + u_{c0}; \quad i_C = i_c + i_{c0}. \end{cases} \quad (2)$$

де u_a, u_b, u_c та i_a, i_b, i_c – миттєві напруги та струми, які є складовими міжфазного хвильового каналу; u_{a0}, u_{b0}, u_{c0} та i_{a0}, i_{b0}, i_{c0} – миттєві напруги та струми, які є складовими нульового хвильового каналу.

Для пристроїв захисту від ОЗЗ, що базуються на використанні електричних величин перехідного процесу, ці величини є вхідними інформаційними сигналами. До переваг використання для дії захисту від ОЗЗ електричних величин перехідного процесу відносяться: незалежність функціонування режиму заземлення нейтралі мережі; налаштування від струмів небалансу фільтрів струму нульовий послідовності; можливість фіксації короткочасних пробоїв ізоляції та використання інформації про них у діагностичних цілях для контролю стану ізоляції мережі.

Створення ефективних захистів на основі використання електричних величин перехідного процесу, стало можливим лише після широкого впровадження мікроелектронної технології у релейному захисті. Сучасна мікропроцесорна база дає нові можливості для вдосконалення принципів виконання та створення багатофункціональних виконань пристроїв захисту від ОЗЗ, заснованих на

використанні електричних величин як перехідних процесів, так і сталого режиму ОЗЗ.

Список використаних джерел

1. Середа О. Г. Теоретичні основи розвитку цифрових технологій в системах автоматизації, діагностики, контролю та захисту електротехнічних комплексів: дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.09.03 / Олександр Григорійович Середа; [наук. консультант Шевченко С. Ю.]; Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків, 2021. – 344 с. – укр.

2. Li, J.; Wang, G.; Zeng, D.; Li, H. High-impedance ground faulted line-section location method for a resonant grounding system based on the zero-sequence current's declining periodic component. Int. J. Electr. Power Energy Syst. 2020, 19, 105910.

3. Liu, K.; Zhang, S.; Li, B.; Zhang, C.; Liu, B.; Jin, H.; Zhao, J. Faulty Feeder Identification Based on Data Analysis and Similarity Comparison for Flexible Grounding System in Electric Distribution Networks. Sensors 2021, 21, 154.

4. Shao,W.; Bai, J.; Cheng, Y.; Zhang, Z.; Li, N. Research on a Faulty Line Selection Method Based on the Zero-Sequence Disturbance Power of Resonant Grounded Distribution Networks. Energies 2019, 12, 846.

УДК 621.316

СЕМЕНЕНКО Ю. О. *к.т.н., доцент, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків,*
СЕРЕДА ОЛЕКСАНДР Г. *д.т.н., доцент,*
СЕРЕДА ОЛЕНА Г. *к.т.н., доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків*
СЕМЕНЕНКО О. Д. *асистент, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», м. Харків*

ДО ПИТАННЯ ЗАХИСТУ ВІД ОДНОФАЗНОГО ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ

Пристрої захисту від однофазного замикання на землю (ОЗЗ), засновані на використанні електричних величин перехідного процесу, розроблялися в Україні, країнах ЄС та США, насамперед для вирішення проблеми селективності при ОЗЗ у ізольованих та резистивно-заземлених мережах [1, 2]. Дослідження та досвід застосування захисту від ОЗЗ, що реагують на перехідний процес, показали, що найбільшу універсальність можуть забезпечити пристрої, в яких визначення пошкодженого приєднання здійснюється з використанням наступних способів: порівняння амплітуд перехідних струмів у приєднаннях об'єкта, що захищається;
визначення знака миттєвої потужності нульової послідовності у початковій стадії перехідного процесу [3-5]. На основі першого із зазначених способів виконуються централізовані струмові пристрої відносного вимірювання. За другим способом можуть бути отримані спрямовані централізовані та індивідуальні пристрої захисту від ОЗЗ.

Область їх застосування, як і інших пристроїв захисту від ОЗЗ, виконаних за допомогою відносного виміру значень струмів встановленого режиму ОЗЗ в приєднаннях до захищаючого об'єкта обмежується похибками вимірювальних трансформаторів струму. Похибки перетворення амплітуд перехідних струмів вимірювальних трансформаторів струму у порівнювані величинами до прикладу напруги на входах вимірювального органу централізованого пристрою захисту, що виконано способом, який залежать від великої кількості факторів.

Для усунення впливу зазначених похибок виникає необхідність застосування вторинних перетворювачів вхідних величин з регульованими коефіцієнтами перетворення і виборі оптимальних параметрів їхнього налаштування. Все це призводить до ускладнення проектування та експлуатації захисту від ОЗЗ, які порівнюють значення перехідних струмів.

Більш ефективні рішення створюються при використанні спрямованих пристроїв захисту, що базуються на контролі співвідношень електричних величин перехідного процесу [1-5]. Властивість спрямованості дозволяє застосовувати їх у мережах будь-якої конфігурації, з різними характеристиками вимірювальних трансформаторів струму і виключає необхідність вибору параметрів спрацьовування. Останнє значно полегшує проектування, налагодження та експлуатацію пристроїв захисту від ОЗЗ.

Список використаних джерел

1. Середа О. Г. Теоретичні основи розвитку цифрових технологій в системах автоматизації, діагностики, контролю та захисту електротехнічних комплексів: дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.09.03 / Олександр Григорійович Середа; [наук. консультант Шевченко С. Ю.]; Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків, 2021. – 39 с. – укр.

2. Sagastabeitia K.J., Zamora I., MazÓ n A.J., Aginako Z., Buigues G. Phase asymmetry: a new parameter for detecting single-phase earth faults in compensated MV networks. IEEE Trans Power Deliv 2011; vol. 26: no. 4, p. 2251–2258. doi: 10.1109/TPWRD.2011.2141155.

3. Alsumaidaee YAM, Yaw CT, Koh SP, Tiong SK, Chen CP, Ali K. Review of Mediumvoltage switchgear fault detection in a condition-based monitoring system by using deep learning. Energies 2022;15(18):6762. https://doi.org/10.3390/en15186762.

4. Wei K, Zhang J, He Y, Yao G, Zhang Y. Faulty feeder detection method based on VMD–FFT and Pearson correlation coefficient of non-power frequency component in resonant grounded systems. Energies, Vol. 13, No.18, Sep., 2020, pp. 1-18. https://doi.org/10.3390/en13184724.

5. Guo MF, Yang NC, You LX. Wavelet-transform based early detection method for short-circuit faults in power distribution networks. Int J Electr Power Energy Syst 2018; 99:706–21. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.01.013.

УДК 621.316

СЕМЕНЕНКО Ю. О. *к.т.н., доцент, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків,*
СЕРЕДА ОЛЕКСАНДР Г. *д.т.н., доцент,*
СЕРЕДА ОЛЕНА Г. *к.т.н., доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків*
СЕМЕНЕНКО О. Д. *асистент, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», м. Харків*

ДО ПИТАННЯ ЗАХИСТУ ВІД ОДНОФАЗНОГО ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ

Пристрої захисту від однофазного замикання на землю (ОЗЗ), засновані на використанні електричних величин перехідного процесу, розроблялися в Україні, країнах ЄС та США, насамперед для вирішення проблеми селективності при ОЗЗ у ізольованих та резистивно-заземлених мережах [1, 2]. Дослідження та досвід застосування захисту від ОЗЗ, що реагують на перехідний процес, показали, що найбільшу універсальність можуть забезпечити пристрої, в яких визначення пошкодженого приєднання здійснюється з використанням наступних способів: порівняння амплітуд перехідних струмів у приєднаннях об'єкта, що захищається;
визначення знака миттєвої потужності нульової послідовності у початковій стадії перехідного процесу [3-5]. На основі першого із зазначених способів виконуються централізовані струмові пристрої відносного вимірювання. За другим способом можуть бути отримані спрямовані централізовані та індивідуальні пристрої захисту від ОЗЗ.

Область їх застосування, як і інших пристроїв захисту від ОЗЗ, виконаних за допомогою відносного виміру значень струмів встановленого режиму ОЗЗ в приєднаннях до захищаючого об’єкта обмежується похибками вимірювальних трансформаторів струму. Похибки перетворення амплітуд перехідних струмів вимірювальних трансформаторів струму у порівнювані величинами до прикладу напруги на входах вимірювального органу централізованого пристрою захисту, що виконано способом, який залежать від великої кількості факторів.

Для усунення впливу зазначених похибок виникає необхідність застосування вторинних перетворювачів вхідних величин з регульованими коефіцієнтами перетворення і виборі оптимальних параметрів їхнього налаштування. Все це призводить до ускладнення проектування та експлуатації захисту від ОЗЗ, які порівнюють значення перехідних струмів.

Більш ефективні рішення створюються при використанні спрямованих пристроїв захисту, що базуються на контролі співвідношень електричних величин перехідного процесу [1-5]. Властивість спрямованості дозволяє застосовувати їх у мережах будь-якої конфігурації, з різними характеристиками вимірювальних трансформаторів струму і виключає необхідність вибору параметрів спрацьовування. Останнє значно полегшує проектування, налагодження та експлуатацію пристроїв захисту від ОЗЗ.

Список використаних джерел

1. Середа О. Г. Теоретичні основи розвитку цифрових технологій в системах автоматизації, діагностики, контролю та захисту електротехнічних комплексів: дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.09.03 / Олександр Григорійович Середа; [наук. консультант Шевченко С. Ю.]; Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків, 2021. – 344 с. – укр.

2. Sagastabeitia K.J., Zamora I., MazÓ n A.J., Aginako Z., Buigues G. Phase asymmetry: a new parameter for detecting single-phase earth faults in compensated MV networks. IEEE Trans Power Deliv 2011; vol. 26: no. 4, p. 2251–2258. doi: 10.1109/TPWRD.2011.2141155.

3. Alsumaidaee YAM, Yaw CT, Koh SP, Tiong SK, Chen CP, Ali K. Review of Mediumvoltage switchgear fault detection in a condition-based monitoring system by using deep learning. Energies 2022;15(18):6762. https://doi.org/10.3390/en15186762.

4. Wei K, Zhang J, He Y, Yao G, Zhang Y. Faulty feeder detection method based on VMD–FFT and Pearson correlation coefficient of non-power frequency component in resonant grounded systems. Energies, Vol.

13, No.18, Sep., 2020, pp. 1-18. https://doi.org/10.3390/en13184724.

5. Guo MF, Yang NC, You LX. Wavelet-transform based early detection method for short-circuit faults in power distribution networks. Int J Electr Power Energy Syst 2018; 99:706–21. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.01.013.

УДК 004.75: 519.854: 006

к.т.н. ***Бутенко В. М.,*** *студ.* ***Свєтош В. Ю.***
Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

ВИКОРИСТАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ДОПОМІЖНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДІВ

USE OF SPECIALIZED COMPUTER NETWORKS FOR AUXILIARY PROVISION OF TRAIN SAFETY

Вступ. Зростання швидкостей руху, численні руйнування інфраструктури та інтеграція у європейський транспортний простір висувають зміну вимог до безпеки. Як підкреслюють звіти Міжнародного союзу залізниць [1, с. 57], одним із найбільш ефективних рішень для забезпечення додаткової надійності є впровадження спеціалізованих комп'ютерних мереж (СКМ). Вони забезпечують стійкий, високошвидкісний і захищений обмін даними між поїздами, інфраструктурою та диспетчерськими центрами, що дозволяє мінімізувати вплив людського фактора і підвищити рівень функціонування комп'ютерних систем управління рухом поїздів та, як наслідок, всього залізничного транспорту [2, с. 80].

Результати досліджень. Європейська система GSM-R, розроблена на основі стандарту 2G, тривалий час виконувала функцію єдиного цифрового каналу зв'язку між поїздами та інфраструктурою. Проте, як зазначає Європейський інститут телекомунікаційних стандартів [3, с. 11], її функціональні можливості вже не відповідають сучасним потребам: пропускна здатність є недостатньою, затримки сигналів перевищують допустимі межі, а рівень захисту від кіберзагроз затребується підвищеним. Перехід до системи LTE-R у Південній Кореї довів свою ефективність, адже, як показано у дослідженнях [4, с. 5], на високошвидкісних магістралях вдалося забезпечити стабільний зв'язок навіть при русі зі швидкістю понад 300 км/год та суттєво зменшити кількість відхилень від графіка [5, с. 1]. У свою чергу, китайський досвід упровадження 5G Rail у поєднанні з алгоритмами штучного інтелекту підвищує ефективність використання таких технологій для прогнозування відмов обладнання і підвищення надійності інфраструктури. Досвід провідних країн доводить, що спеціалізовані комп'ютерні мережі стають фундаментом інтелектуальної транспортної інфраструктури. Перехід до LTE-R дозволив значно покращити якість зв'язку і швидкість обміну даними, а використання 5G Rail забезпечує поєднання комунікаційних можливостей із функціями прогнозування технічних відмов. Європейська концепція FRMCS, за даними UIC, передбачає створення універсальної платформи, яка замінить GSM-R до 2035 року і стане єдиним стандартом для країн ЄС, інтегрованим у систему ERTMS (European Rail Traffic Management System). Це забезпечить не лише безпечний рух поїздів, а й повну сумісність у міжнародних перевезеннях та кіберфізичних систем управління рухом поїздів на полігонах залізниць. Саме поєднання кіберфізичних систем з інформаційно-вимірювальними компонентами контролю технологічних процесів на базі сучасної елементної бази та спеціалізованих комп'ютерних мереж є базою для розвитку індустрії 5.0 на транспорті в майбутньому.

Окремим важливим напрямом досліджень є кіберзахист. Цифровізація транспорту створює нові вектори атак: порушення синхронізації часу, втручання у канали зв'язку, підробка сигналів. Для їхнього запобігання пропонуються багаторівневі системи шифрування та алгоритми штучного інтелекту, які можуть виявляти аномалії у мережевому трафіку ще на ранніх стадіях. Також слід зазначити роль прогнозних моделей, які інтегруються у сучасні комп'ютерні мережі. Завдяки великій кількості датчиків, сенсорів і систем збору даних мережі стають здатними не лише передавати інформацію, а й проводити її аналіз у режимі реального часу. Це дозволяє автоматично визначати потенційні відмови обладнання й попереджати аварійні ситуації.

Для України актуальною є стратегія поетапного переходу. Збереження наявних засобів на малонавантажених ділянках може забезпечити базовий рівень зв'язку, тоді як на головних, безпечних магістралях доцільно впроваджувати LTE-R. В перспективі необхідно готувати інфраструктуру до переходу на FRMCS, що дозволить інтегрувати українську залізницю у європейський транспортний простір.

Висновок. Проведений аналіз доводить, що спеціалізовані комп'ютерні мережі є основою для допоміжного підвищення безпеки руху поїздів у сучасних умовах. Міжнародний досвід демонструє ефективність поетапного переходу від GSM-R до

LTE-R і далі до FRMCS, що дозволяє суттєво підвищити рівень надійності та ефективності залізничних перевезень. Важливою складовою нових систем стають і користувацькі сервіси, які завдяки інтеграції з інформаційно-керуючими підсистемами впливають не лише на комфорт пасажирів, а й на рівень безпеки транспортних операцій. Для України оптимальним є поетапний сценарій модернізації: використання старих систем на малонавантажених ділянках, запровадження LTE-R на магістральних напрямках та поступовий перехід в перспективі до FRMCS. Реалізація цієї стратегії, у поєднанні з розвитком цифрових сервісів та систем кіберзахисту, дозволить сформувати сучасну інтелектуальну транспортну інфраструктуру, інтегровану у європейський транспортний простір.

Література.

1. Feleke F. B., Demissie B. Cybersecurity of Railway Network Management and Partitioning // Problemy Kolejnictwa. 2023. №189. С. 57–65. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://problemykolejnictwa.pl/images/PDF/189_6E.pdf
2. Бутенко В.М., Мойсеенко В.И., Кузьменко Д.М. Компьютерная система управления движением поездов // Залізнич. трансп. України.– 2000.– № 5 – 6. – С. 80 – 82.
3. ETSI. GSM-R: Railway Mobile Communication. Sophia Antipolis: European Telecommunications Standards Institute, 2024. 37 p. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.etsi.org
4. Aboud M. A., Zangar N., Langar R., Berbineau M., Madec J. Optimizing Resource Allocation and Scheduling towards FRMCS and GSM-R networks coexistence in Railway Systems. arXiv preprint, 2025. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://arxiv.org/abs/2503.21300
5. Zhang X., He R., Ai B., et al. Cluster-Based Time-Variant Channel Characterization and Modeling for 5G-Railways. arXiv preprint, 2024. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://arxiv.org/abs/2412.20943

Мойсеєнко В. І., Бутенко В. М., Соколов А. К., Яранцев В. Р. Розробка мобільного додатку подорожувальника // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2024. №2. С. 18–24. ISSN: 2413-3833

УДК 004.75: 519.854: 006

к.т.н. ***Бутенко В. М.,*** *студенти* ***Пліщенко П. В., Голіков Д. В.***

Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

ВРАЗЛИВОСТІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ДОПОМІЖНИХ ПЕОМ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

VULNERABILITIES WHEN USING AUXILIARY PC INFORMATION SYSTEMS OF COMPUTER ENGINEERING FOR TRANSPORT PURPOSES

Вступ. Численні руйнування інфраструктури та інтеграція у європейську транспортну систему української залізничної галузі підтверджують вірність раніше вибраного напрямку модернізації інформатизації залізниць [1, с. 8]. Впроваджувана концепція давно вимагала застосування комп'ютерних систем управління рухом поїздів[2, с. 80]. Для зменшення часу розробки, виготовлення та мінімізації витрат з експлуатації комп'ютерних систем, які в той час розроблялись авторами роботи [3, с. 24], було запропоновано застосовувати для комунікації зазначених спеціалізованих кіберфізичних систем корпоративного рівня сімейство стандартизованих протоколів TCP/IP загального застосування з технологічною назвою RailWayNet (відповідний домен .rwn).

Результати досліджень. Сучасний транспортний простір вимагає зміну вимог до безпеки як основних ЕОМ, які забезпечують інформатизацію з керування транспортом, так і допоміжних які використовуються в індивідуальному режимі користування але під'єднанні до мережі Інтернет. Як підкреслюють звіти Міжнародного союзу залізниць [4, с. 57], одним із найбільш ефективних рішень для забезпечення додаткової надійності є впровадження спеціалізованих комп'ютерних мереж (СКМ). При такому впровадженні основні ЕОМ обчислювально-інформаційних центрів забезпечуються як ліцензійним програмним забезпеченням (операційні системи, прикладні та антивірусні програми) так і кваліфікованим персоналом з високою культурою дотримання стандартів безпечної роботи в мережі. Тож одним з вразливих місць кіберфізичних систем транспортного призначення є СКМ, технологічні моделі та допоміжні комп'ютери.

Удосконалення моделювання руху транспортних засобів у комп'ютерних інформаційно-керуючих системах та шляхи такої реалізації наведені в роботі

[5, с. 36]. Опубліковані матеріали висвітлюють удосконалення моделювання та модернізації через адаптацію сучасних систем транспорту до досвіду європейських країн, як одних з передових розробок з окремими покращеннями. А ось робота [6, с. 15] пропонує удосконалення принципових схем інформаційно-вимірювальних та комутаційних компонентів кіберфізичних систем комп'ютерної

інженерії електронними засобами. Однак зазначене обходить захист інформаційних систем від несанкціонованого впливу на верхньому рівні інформаційної ієрархії. Особливо це критично для допоміжних комп'ютерів індивідуального користування з побудовою локальних баз даних. Як правило такі бази даних розробляються для індивідуального користування і не оформлюються за всіма вимогами до подібних систем, але при цьому містять в собі частину технологічних даних та оперативно-управлінської інформації про виробничі процеси управління рухом поїздів. Захист в таких системах контролюється тільки самим користувачем через антивірусні програми. Здебільшого ці програми мають безкоштовну ліцензію на використання, бо не виділяється на це жодних коштів підприємства, і заробітні плати дуже скромні.

Отже серед основних вразливостей як апаратні так і програмні компоненти об'єктивного забезпечення систем управління. Не слід знімати відповідальність з персоналу та організаційних заходів. Для вирішення останніх в мережі інтернет присутні як сайти з програмними засобами які містять сигнатури дуже великої кількості паразитного програмного забезпечення та спеціалізовані програми які виявляють будь-які підозрілі компоненти. Таким чином тільки організаційними засобами можливо допомогти користувачам допоміжних персональних електронно-обчислювальних машин (ПЕОМ) долати труднощі з вредоносним програмним забезпеченням та, як наслідок підвищувати надійність та безпечність інформаційних систем.

Такий простий алгоритм використання безкоштовного програмного забезпечення при використанні допоміжних ПЕОМ з ретельно продуманими організаційними заходами дозволить суттєво убезпечити весь масив даних систем транспортного призначення. Додатково майже до нуля знизити вразливості при використанні допоміжних ПЕОМ інформаційних систем комп'ютерної інженерії транспортного призначення. Для перевірки персоналу з кібербезпеки проводять внутрішні перевірки та виявляють слабкі місця, як у знаннях так і навичках спеціалістів. Ці заходи дозволяють підвищити загальну обізнаність персоналу про загрози та мінімізацію ризиків, пов'язаних з людськими помилками. Також підвищується рівень персоналу до рівня надійних спеціалістів, що захищають свої дані та системи корпоративного рівня від кібератак.

Висновок. В доповіді наводяться результати досліджень в формі проведеного аналізу як організаційно-технічної процедури для виявлення та блокування вразливостей так і вимог до персоналу.

Література

1. Бутенко В.М., Бантюков С.Є., Пчолін В.Г. Конспект лекцій з дисципліни "Інформаційні системи на залізничному транспорті" // Харків: УкрДАЗТ, 2008. – Ч. 1. – 28 с.

2. Бутенко В.М., Мойсеенко В.И., Кузьменко Д.М. Компьютерная система управления движением поездов // Залізнич. трансп. України.– 2000.– № 5 – 6. – С. 80 – 82.

3. Адресація та захист інформації в мережі RailWayNet / Бутенко В.М. // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1997. – №3. – С.24 – 26.

4. Feleke F. B., Demissie B. Cybersecurity of Railway Network Management and Partitioning // Problemy Kolejnictwa. 2023. №189. С. 57–65. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://problemykolejnictwa.pl/images/PDF/189_6E.pdf

5. Modeling of vehicle movement in computer information-control systems // V. Moiseenko, O. Golovko, V. Butenko, K. Trubchaninova - RADIOELECTRONIC AND COMPUTER SYSTEMS, 2022. Pages 36 – 49. Open access – DOI: https://doi.org/10.32620/reks.2022.1.03

6. Бутенко В. М., Чуб С.Г., Головко О.В., Сергієнко Р.П. Удосконалення принципових схем інформаційно-вимірювальних та комутаційних компонентів систем залізничної автоматики електронними засобами комп'ютерної інженерії//Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2021. – №4 (Том 26). – С. 15 – 23. ISSN: 2413-3833

УДК 656.25:004.05:004.8

Ph.D. S.O. Zmii, postgraduate student V.Y. Choba
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF NEURAL NETWORKS AND CLASSICAL STATISTICAL METHODS IN THE DIAGNOSTICS OF MICROPROCESSOR-BASED CENTRALIZATION SYSTEMS

The introduction of microprocessor-based centralization systems (MPC) is a key stage in the modernization of railway infrastructure, ensuring increased traffic safety and station throughput. Unlike morally and physically obsolete block route-relay centralizations, which are characterized by rigid logic, significant operating costs, and a lack of self-diagnostic

capabilities, MPCs offer flexibility, high reliability, and integrated control, monitoring, archiving, and diagnostic functions. [1] This technological transition fundamentally changes the diagnostic paradigm: from searching for physically faulty components (e.g., relays) to analyzing complex data sets to identify system anomalies. The complexity of MPC hardware and software complexes, which include central processors, object controllers, and a large number of field devices, creates a new, significantly broader space for potential failures.

Effective diagnostics in such conditions become critical to ensuring uninterrupted operation and compliance with SIL4 safety standards. The deep self-diagnostics function is an integral part of modern MPCs, allowing a shift from reactive repair to proactive "as-is" maintenance. This necessitates the use of advanced data analysis methods to automate the diagnostic process. The purpose of this report is to provide a comparative analysis of two dominant approaches to solving this problem: classical statistical methods based on models and data-driven neural networks.

Classic statistical methods are approaches based on the construction of mathematical models that describe cause-and-effect relationships in a system based on probability theory and expert knowledge. Among them, Bayesian networks – probabilistic graphical models that represent dependencies between variables (e.g., symptoms and causes of failures) – are the most promising for diagnosing complex systems. The report shows that a Bayesian network can model the relationship between an abnormal current surge in a switch drive, the ambient temperature, and the probability of malfunctions such as icing or foreign object intrusion. The main advantage of this approach is its high interpretability. The structure of the model, often based on the knowledge of expert engineers, is transparent, and the logical inference process can be traced and verified. This is crucial for the railway industry, where the requirements for validation and certification of safety systems are extremely strict. In addition, such models can work effectively even with a limited amount of labeled data, as their structure can be specified a priori. At the same time, the main drawback is the complexity of manually creating an accurate and comprehensive model for such a complex system as the MPC, and the potential difficulty in identifying complex nonlinear dependencies not embedded in the model by the expert. [1, 2]

Neural networks (NN) represent a data-driven paradigm where the model automatically learns complex dependencies directly from historical data without the need for explicit programming of rules or construction of physical models. Specific architectures are of particular interest for MPC diagnostics tasks. Recurrent neural networks (RNN), in particular long short-term memory (LSTM) networks, are ideal for analyzing time series such as the dynamics of current consumption by a pointer electric drive. They are capable of detecting temporal anomalies that indicate the development of a defect. Convolutional neural networks (CNN) are excellent at automatically extracting meaningful features from raw signals (e.g., vibration or current), converting a one-dimensional signal into a characteristic "signature" for each state class (normal, failure type), eliminating the need for manual feature engineering. [3]

The main advantage of ANNs is their ability to achieve extremely high accuracy in classification tasks, especially when working with multidimensional, noisy, and nonlinear data, where it is impossible to build an analytical model. Their ability to "end-to-end learning" from raw data to final diagnosis is a powerful automation tool. However, the main drawbacks are the "black box" problem—the opacity of the decision-making process, which complicates their validation in critical systems—as well as high requirements for the volume and quality of training data. Collecting a sufficient number of examples of rare but dangerous failures is a difficult task, leading to the problem of class imbalance. The use of ML marks a transition from diagnostics based on engineer experience to diagnostics based on data analysis, which has profound implications for the organization of maintenance processes and personnel qualification requirements.

Based on the results of the analysis, the report shows that choosing the optimal method is an engineering compromise. The future of effective MPC diagnostics probably lies in hybrid approaches that combine the strengths of both paradigms. For example, CNN can be used to automatically extract highly informative features from raw sensor data, which can then serve as input for a Bayesian network. This approach combines the high accuracy of deep learning with the probabilistic logic and interpretability of statistical models, which is mentioned as a promising direction in research.

References

1. Автоматизовані системи керування рухом поїздів на станціях : навчальний посібник / В. І. Мойсеєнко, В. О. Сотник, С. О. Змій, О. В. Щебликіна. - Харків : УкрДУЗТ, 2024. - 184 с.

2. Reetz S., Neumann T., Schrijver G., et al. Expert system based fault diagnosis for railway point machines. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 2024. Vol. 238(2). P. 214–224.

3. Liu R., Yang B., Zio E., Chen X. Artificial intelligence for fault diagnosis of rotating machinery: A review. Mechanical Systems and Signal Processing. 2023. Vol. 187. P. https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2018.02.016.

UDC 004.9:681.5:656.2

Ph.D., Associate Professor **T.S. Hryshechkina**
Ukrainian State University of Science and Technology (Dnipro, Ukraine)

ACCOUNTING FOR DEPENDENT FAILURES IN A TECHNICAL SYSTEM

The issue of accounting for dependent (interrelated) failures in complex technical systems of railway transport is considered. Dependent failures, in particular those caused by common causes (operational, design, or environmental), result in an excessive concentration of malfunctions and underestimation of reliability estimates when classical independent models are employed. An approach to the systematic accounting of such failures is proposed.

Current research focuses on three areas: (1) modeling dependencies between components (multivariate distributions, copulas, Bayesian networks, common cause failure models — CCF); (2) methods of data collection and processing to identify event correlations (event logs, SCADA/CBM data, time series); (3) practical approaches to integrating information into maintenance systems (CMMS/ERP, condition-based maintenance analytics).

Based on the research carried out in [1], it has been shown that the use of models that take into account dependent failures allows for more accurate prediction of intervals between failures, optimization of maintenance intervals, and reduction of the risks of mass failures of elements of a complex technical system. Criteria for classifying dependencies between elements and a procedure for identifying group events have been developed.

An information and analytical system consisting of three levels has been proposed:

Data collection: unified event log, telemetry from sensors, repair records; time stamps.

Processing and detection: pre-processing modules (filtering, normalization), event correlation algorithms (temporal correlation, spatial-topological relationships), clustering and CCF pattern detection; application of mathematical apparatus using recurrent relations on sets to assess dependencies.

Analytics and integration into O&M: interface for engineers with recommendations for preventive measures, automatic triggers for changing repair priorities, reports for logistics planning.

The implementation of a dependent failure accounting system increases the accuracy of diagnostics, allows for the adjustment of maintenance policies, and reduces the risk of simultaneous multiple failures of elements of complex technical systems. Further research should focus on testing algorithms in real operating conditions and optimizing modeling coefficients, taking into account local failure statistics.

References:

1. Hryshechkina, T. S. Improvement of the maintenance system for railway transport technical objects, taking into account the dependent failures of their elements: dissertation Candidate of Technical Sciences: 05.22.20. Dnipro, 2021. 164 p. 0421U103001.

Oleksii Lazariev
Ukrainian State University of Railway Transport
Viktor Lazariev
Kharkiv National University of Radio Electronics
Oleksandra Lazarieva
V.N. Karazin Kharkiv National University

IMPROVEMENT OF TECHNICAL DIAGNOSTICS OF RAILWAY AUTOMATION SYSTEMS

In the current conditions of martial law and a shortage of staff for the timely maintenance of railway automation systems, improving the technical diagnostics of these systems is a relevant task. Technical diagnostics of railway automation systems are classified according to several criteria [1]:

– by purpose and functionality (performance monitoring, technical condition assessment, fault detection (localization), residual life prediction);

– by object of diagnosis (component level, node level, system level);

– by timing (scheduled (periodic) diagnostics, continuous (non-stop) diagnostics, operational (emergency) diagnostics, test diagnostics);

– by level of automation (manual (visual), automated).

Modern railway automation systems strive to use continuous automated diagnostics at all levels to minimize the human factor and detect malfunctions before they lead to traffic safety violations [2].

Finding (locating) faults in railway automation systems is a critically important and highly organized process that combines automated monitoring and actions by maintenance staff.

In modern signaling control systems (especially microprocessor-based ones), this process is divided into several stages:

– detection and registration of faults (automatic recording, dispatcher control, hardware journal of object status changes);

– remote preliminary localization (analysis of damage reports, parameter checks, power supply checks,

analysis of the impact of neighboring elements, damage dynamics);

– localization at the facility and determination of the cause (use of logic and diagrams, method of separation (Half-Split), measurements).

After the fault has been fixed, certain checks are carried out to confirm that the system has been fully restored and is safe to operate.

The use of modern information and communication technologies can improve the technical diagnostics of railway automation systems, particularly in terms of fault detection. A Telegram bot can significantly improve fault detection (localization) in railway automation systems by acting as a mobile interface for diagnostic systems and a communication tool for staff. The Telegram bot will provide the following functions:

– mobile access to diagnostic data (instant damage notification, request for current device parameters, access to the history of changes in the status of objects);

– support in decision-making (Decision Support) (knowledge base of possible causes of damage, simplified step-by-step diagnostics based on a diagnostic tree, photo reports for further analysis);

– communication and reporting (centralized reporting with automatic sending to leadership, sharing of information about faults between relevant specialists, automatic reminders about scheduled maintenance).

In general, the use of modern information and communication technologies, in particular bots, will help improve the diagnostics of railway automation systems, speed up the search for faults, and increase traffic safety when repairing damage.

References

1 Mojsejenko V.I., Cheghodajev B.V., Zotova O.S. Metody diaghnostuvannja system zaliznychnoji avtomatyky. Informacijno-kerujuchi systemy na zaliznychnomu transporti. 2014. No 4. p. 26–32.

2 Beznarytnyj A.M., Ghavryljuk V.I., Gholoobova O.O. Analiz suchasnogho stanu prystrojiv avtoblokuvannja, metodiv jogho obslughovuvannja ta kontrolju. Visnyk Dnipropetr. nac. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazarjana. 2014. No 1 (49). p. 22–32.

УДК 656.2:004.8

Ph.D. **S.O. Zmii, V.O. Sotnyk, A.A. Melikhov**
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv), Mipro OY (Tallinn, Estonia)

THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN RAILWAY SYSTEMS. CURRENT STATUS AND FUTURE PROSPECTS

Artificial Intelligence (AI) is a pivotal technology reshaping numerous industries, with the railway sector being no exception. Modern railway systems grapple with multifaceted challenges, including the optimization of operational complexities, enhancement of safety protocols, assurance of infrastructural reliability, and elevation of passenger service quality. AI technologies provide robust tools to address these issues, bridging the gap between theoretical models and practical implementation. This paper presents a comprehensive systematic review of the current state of AI applications within railway systems. The analysis is founded on 139 scholarly articles published between from 2010, encompassing seven key sub-domains: maintenance and inspection, traffic planning and management, safety and security, autonomous driving and control, revenue management, transport policy, and passenger mobility.

The analysis of research distribution reveals a significant imbalance in the scientific community's focus. The vast majority of publications are concentrated in the field of maintenance and inspection, accounting for 57% (81 articles) of the reviewed literature. This emphasis is driven by the direct economic impact of predictive maintenance, which facilitates reduced operational costs and minimizes service disruptions. The second most researched area is traffic planning and management, with a 25% share (34 articles), where AI methods are employed to solve complex optimization problems.

Other critical domains have received considerably less attention. Research in safety and security (8%), autonomous driving and control (5%), and passenger mobility (5%) is notably less frequent. A critical finding is the complete absence of scholarly work on AI applications in strategic areas such as revenue management and transport policy. This gap highlights a substantial untapped potential for future research.

The technological landscape is also heterogeneous. The maintenance domain is dominated by Machine Learning (ML) techniques, particularly Deep Learning (DL) and Computer Vision (CV). Models like Convolutional Neural Networks (CNNs) are effectively used for the automated detection of defects in railway components such as rails, sleepers, and fasteners. In contrast, the field of traffic planning favors Evolutionary Computing, such as Genetic Algorithms (GA), and Reinforcement Learning (RL) to address NP-hard scheduling and real-time adjustment tasks. The domain of autonomous operation, especially the development of Automatic Train Operation (ATO) systems, is also advancing rapidly, as confirmed by specialized reviews.

This review indicates that while research into AI applications in railways is still in its nascent stages across most sub-domains, it demonstrates significant potential to revolutionize the industry. Key findings point to the predominance of maintenance-related topics, a trend attributable to data accessibility and clear economic

advantages. Concurrently, significant research gaps have been identified in the areas of revenue management and transport policy.

For the successful future integration of AI, it is imperative to address several fundamental challenges. Firstly, data-related problems, including ensuring data quality, accessibility, and standardization, as well as developing methods to work with limited or imbalanced datasets (e.g., for rare events like accidents). Secondly, the development of hybrid approaches that merge AI with traditional optimization methods to solve multifaceted problems. Thirdly, the growing importance of intelligent cybersecurity amidst the increasing digitalization and automation of railway systems. Addressing these challenges will pave the way for creating safer, more efficient, and sustainable railway transportation for the future.

References

1 Tang R., De Donato L., Besˇinović N., Flammini F., Goverde R. M. P., Lin Z., Liu R., Tang T., Vittorini V., Wang Z. A literature review of Artificial Intelligence applications in railway systems. Transportation Research Part C. 2022. Vol. 140. P. 103679. URL: https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103679.

2 Chenariyan Nakhaee, M., Hiemstra, D., Stoelinga, M., van Noort, M. (2019). The Recent Applications of Machine Learning in Rail Track Maintenance: A Survey. In: Collart-Dutilleul, S., Lecomte, T., Romanovsky, A. (eds) Reliability, Safety, and Security of Railway Systems. Modelling, Analysis, Verification, and Certification. RSSRail 2019. Lecture Notes in Computer Science(), vol 11495. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18744-6_6 .

3 Yin J., Tang T., Yang L., Xun J., Huang Y., Gao Z. Research and development of automatic train operation for railway transportation systems: A survey. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2017. Vol. 85. P. 548–572. URL: https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.09.009.

UDC 004.8+681.5

Tetyana Petrenko, PhD, Associate Professor
Oleksii Poluektov, master's student
Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv

SMART HOME SYSTEM DESIGN

Modern smart home systems are rapidly developing due to the integration of Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI) technologies. Creating an adaptive environment using the Artificial Internet of Things (AIoT) to improve the comfort, safety, and energy efficiency of living space is the main task of smart home systems [1-2]. The current problem is the selection or creation of such an architecture of a smart home system that provides a certain autonomy of the system, but allows the user to intervene in the system as needed. Analysis of typical scenarios of everyday life of smart home users with subsequent control of lighting, temperature and humidity, air quality, water supply, energy supply, and security makes it possible to build a coordinated functioning of a significant number of smart things in a smart home.

The purpose of the work is to analyze possible solutions for using existing platforms to create a smart home system, justify the choice of a particular platform and design a smart home system that prioritizes flexibility and innovative solutions and allows the use of machine learning algorithms to build smart home control scenarios. The functioning of the designed system should correspond to the strategy of intuitive interaction with system users. In other words, the smart home system should be a good assistant, but not create unnecessary problems for system users.

This paper examines the ecosystems of three typical smart home architectures as ESPHome, Apple Home, and Google Home and identifies the advantages of the ESPHome architecture for creating a flexible and scalable smart home system.

The features of a smart home system built on the basis of ESPHome are:

1. The ESPHome ecosystem can be a standalone system, or be part of a larger Home Assistant ecosystem, allowing for the connection of devices and services not only compatible with ESPHome.
2. The ESPHome ecosystem is an open source system.
3. The system developer on ESPHome (administrator) can control both the hardware and software of the system. Edge computing based on machine learning can be implemented.
4. The control part of the system can be distributed (no hub required), or can use the hub of the Home Assistant ecosystem. ESPHome devices can function as autonomous IoT devices.
5. Dependence on external Internet connections is minimized. Local API and MQTT are used for communication, including with Home Assistant.
6. To form the microcontroller software in ESPHome, a Python-based firmware generator is used, which processes a YAML configuration file to create its own customized C++ firmware. The firmware is installed on ESP-based microcontrollers, after which the devices operate independently.
7. Access of the ESPHome-based smart home system to cloud environments is possible, and

data confidentiality is provided through priorities.

8. Building a smart home system based on ESPHome requires certain knowledge from the developer, but opens up prospects for creating an individualized and tamper-proof system.

Comparing the ESPHome, Apple Home, and Google Home ecosystems, we can highlight the advantages of ESPHome as a decentralized, open-source platform for creating firmware for Do It Yourself (DIY) smart devices, which prioritizes local control. Apple and Google, on the other hand, offer commercial cloud ecosystems built around their own hubs and centralized services.

To determine the functionality of the smart home subsystems, the work uses modeling methods based on UML diagrams to describe static and dynamic aspects, and Fuzzy Cognitive Maps (FCMs) to analyze the internal dynamics of the system. This approach allowed us to create a holistic set of models as an architectural basis for further implementation. The conceptual model, which is created in the form of a UML use case diagram, defines the actors, system boundaries, and key system functions. The physical model, represented by a deployment diagram, describes the hardware architecture. For the analysis of dynamics, a cognitive model is proposed in the form of an FCM, the modeling of which allows us to analyze the relationships between key components and determine priority areas for system improvement. The behavior of the system for key scenarios is illustrated by dynamic models created using UML Sequence and Activity diagrams.

The conducted research shows the importance of using modeling methods such as UML and FCM to create a balanced and logically consistent architecture of a smart home based on ESPHome. The key aspect is to identify a compromise between maximizing the comfort of the residents of a smart home and minimizing energy consumption. An effective solution to this problem is possible only with the help of intelligent algorithms capable of making decisions regarding the adaptability of the smart home system. The conclusions drawn on the basis of system modeling allowed the work to formulate key areas of designing a smart home based on ESPHome. In the future, the integration of the designed system into Node-RED should contribute to the creation of an intelligent and user-oriented smart home system.

References

1. Reddy V. et.al. Home Automation using Artificial Intelligent & Internet of Things. MATEC Web of Conferences (ICMED 2024), vol. 392 (01058), 2024. URL: https://doi.org/10.1051/matecconf/202439201058 (Last accessed: 20.09.2025)
2. Smart Home Ecosystem Growth Opportunities. URL: https://www.ashb.com/wp-content/uploads/2022/03/IS-2022-50.pdf (Last accessed: 20.09.2025)

UDC 004.8+681.5

Tetyana Petrenko, PhD, Associate Professor
Anton Zadorozhnyi, PhD student; Vladyslav Snehirov, master's student;
Kateryna Aleksieieva, bachelor's student
Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv

DESIGN OF A SMART TRAFFIC LIGHT CONTROL SYSTEM BASED ON FUZZY COGNITIVE MAPS

In modern cities, there is an increase in the intensity of traffic flows and congestion, an increase in the level of accidents and a decrease in road safety. Traditional traffic light systems that operate on fixed cycles do not consider the dynamics of the traffic situation and are therefore often ineffective [1]. This highlights the need to create intelligent control systems that can adapt the duration of traffic light phases depending on real-time conditions, the presence of pedestrians, the appearance of emergency service cars and the presence of emergencies.

A smart traffic light has access to network communication with other traffic lights, an external dispatch service, and cloud environments, unlike a traffic light that operates thanks to a local automation system. The presence of certain sensors and actuators (mandatory components of a smart traffic light) does not make a regular traffic light truly smart, but, of course, it expands the possibilities of making more informed decisions if the traffic light has certain computing capabilities. A smart traffic light must be provided with autonomous power supply for a certain period and be able to receive additional power to replenish the electricity supply. Thus, the necessary conditions for defining a smart traffic light are the presence of computing capabilities, sensors and actuators, autonomous power supply, and Internet connection. The presence of a traffic light connection with the Internet ensures the transition of the traffic light to the category of intelligent traffic lights, because in this case the traffic light not only gets the opportunity for a more advanced representation of the state of the environment, but also gets access to cloud environments with powerful computing capabilities. If the computational capabilities of the traffic light are sufficient to use machine or deep learning algorithms, then the use of edge computing is possible. Certain requirements for the quality of communication with the Internet are essential for an intelligent traffic light.

Timely response to an emergency requires the presence of 5G.

Determining the level of intelligence of a particular traffic light and creating databases of patterns of normal and emergency situations are priority tasks for research.

The thesis proposes an approach to designing a smart traffic light based on the use of Fuzzy Cognitive Maps (FCM) [2]. The approach allows formalizing cause-and-effect relationships between key factors: traffic density, time of day, presence of pedestrians, category and extremeness of incidents, equipment reliability, and the level of satisfaction of pedestrians and drivers. The description of different views on the smart traffic light control system using UML diagrams (Use Case, Deployment, Activity, Sequence) made it possible in this work to determine the scenarios of the traffic light operation and the logic of interaction of its components. Scenario modeling was conducted in the Mental Modeler environment, which showed the effectiveness of the developed system. In the "pedestrian comfort" mode, a reduction in waiting time at the crossing was achieved; in the "driver comfort" mode, the average idle time of transport was reduced; the compromise mode provided a certain level of satisfaction for both categories of participants; in case of emergency situations, the system correctly prioritized the movement of emergency service cars.

Special attention was paid to modeling possible emergency situations that must be considered in adaptive traffic light control. The study allowed us to identify emergency situations in this work to which a certain traffic light can’t respond satisfactorily without the appropriate level of intelligence.

For example, among the situations that are considered emergency, we can consider situations caused by certain weather conditions (excessive precipitation, ice, fog, very high or very low air temperature together with certain humidity values, strong wind, powerful lightning). The presence of certain sensors (video surveillance systems, weather, visibility and road condition sensors) in a smart traffic light, as well as computing capabilities, allows the smart sensor to collect, analyze, detect changes in the traffic light environment and adjust signaling modes in almost real time, even considering the possible change in the emotional state of drivers and pedestrians. But the use of certain communication networks for Internet access by a smart traffic light expands the capabilities of a smart traffic light not only by adding information about weather conditions and emergencies outside the operating area of a single traffic light in a smart city, but also by software remote control of the traffic light or even manual intervention of the operator in changing the signaling mode from the transport center of a smart city. Considering emergency weather conditions, the traffic light requires more reliable equipment for both the traffic light itself and the reliability of all hardware and software components of a smart traffic light.

The obtained results of modeling the operation of a smart traffic light confirm the feasibility of using FCMs for adaptive traffic light control.

Further research should be directed to modeling the integration of hardware and software of the system, including the use of reinforcement learning algorithms for the smart traffic light control system.

References

1. Schicktanz C. and Gimm K. Detection and analysis of corner case scenarios at a signalized urban intersection. Accident Analysis & Prevention, vol. 210, 2025, 107838. URL: https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107838 (Last accessed: 20.09.2025)
2. Amini M., Hatwagner M., and Koczy L. A Combined Approach of Fuzzy Cognitive Maps and Fuzzy Rule-Based Inference Supporting Freeway Traffic Control Strategies. *Mathematics* 2022, 10, 4139. URL: https://doi.org/10.3390/math10214139 (Last accessed: 20.09.2025)

УДК 656.212

PhD (techn.) ***H. Shelekhan*** *(Ukrainian State University Of Railway Transport),*
PhD Student ***V. Lutsiv*** *(Ukrainian State University Of Railway Transport),*
PhD Student ***Yu. Papka*** *(Ukrainian State University Of Railway Transport)*

ON THE ISSUE OF IMPROVING THE TRANSPORT AND LOGISTICS INFRASTRUCTURE FOR FREIGHT TRANSPORTATION IN UKRAINE

The optimization of transport infrastructure has a positive impact on the environmental situation, while the utilization of transit potential contributes to an increase in government revenues. Global experience demonstrates the need for continuous improvement of transport systems at both national and international levels to ensure effective interaction among participants in the transport process.

One of the key ways to enhance the competitiveness of enterprises is the development of logistics centers. Ukraine benefits from a favorable geographical location, positioned at the crossroads of trade routes between the European Union and the countries of the Customs Union. As such, an important area of research is the adaptation

of international logistics infrastructure development practices to the current Ukrainian context.

However, under current conditions, the operations of customs authorities face a range of challenges, among which delays in cargo handling, as well as the idling of railcars and vessels in seaports and adjacent railway stations, occupy a particularly significant place. These issues not only slow down logistics processes but also generate additional costs for businesses, adversely affecting the country's investment climate. The unjustifiably long duration of customs inspections and the preparation of the corresponding documentation is currently one of the main causes of substantial queues of vehicles at border crossing points. This situation negatively affects the dynamics of freight transportation, including multimodal shipments involving rail transport.

The operation of these facilities is organized on the basis of careful planning and the rational movement of goods from border-crossing points to end-users, achieved through the calculation and implementation of optimal logistics chains.

It is therefore proposed to create a network of customs-logistics complexes located at major railway stations to provide ancillary transport services for international rail shipments — such as customs clearance, consignment formation, and document handling.

In this context, the challenge arises of determining the optimal number of such complexes across different regions and their spatial distribution within the country. Developing and refining a methodology for identifying the optimal quantity and locations of customs-logistics complexes is thus both a pressing scientific task and a practical necessity.

УДК 622.6:656.025.6

канд. техн. наук Ю.В. Шульдінер[1], Бабак Є.О[1]., Мигуліна Д.С.,[1] Прищепа Д.О.[1] *[1]Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

RAILWAY DEVELOPMENT IN COMPARATIVE PERSPECTIVE: THE CASE OF THE UNITED KINGDOM AND UKRAINE

АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ: ДОСВІД ВЕЛИКОЇ БРИТАНІЇ ТА УКРАЇНИ

Railways have always played more than a purely functional role in nations' development; they are strategic assets, especially in times of crisis. For Ukraine, the railway network is not only a major economic artery, but also a key component of national security. During the war, railways facilitated evacuation, humanitarian aid, and supply lines. In peacetime and post-war recovery, they will form the backbone of rebuilding trade, restoring connectivity, and aligning with European standards.

Digitalization and Customer Orientation.

The UK has made significant advances in digital railway services: real-time information systems, mobile apps for journey planning, integrated ticketing, sophisticated freight tracking, and systems for accessibility. These contribute not just to convenience, but also to efficiency, reliability, and public trust.

Ukraine's Ukrzaliznytsia has taken steps in this direction: online ticketing, digital logistics, and app services. But the pace of adoption and integration can be improved. Digital customs clearance, e-CMR for freight, real-time cargo tracking, passenger feedback mechanisms, and accessibility standards can be expanded. Such tools often cost less (relative to track building or electrification) but yield high returns in user satisfaction and operational efficiency[3].

Opportunities and Challenges of Adaptation.

Using Ukraine's substantial electrified track (≈ 45%), expanding into non-electrified lines offers both environmental and cost savings.

Improved freight and passenger services can boost domestic trade and integration into EU corridors.

Highlighting infrastructure projects (e.g. strategic cross-border lines) can attract international finance (EU, EIB, etc.) [2].

Financial scale: HS2's Phase 1 being estimated at ~£66 billion shows how fast costs can escalate. Ukraine must avoid cost overruns, corruption, and overly optimistic assumptions.

Pace of electrification: in the UK, despite its wealth, current rates are far below what is needed to reach net-zero by 2050. Less than half the needed annual kilometres are being electrified [1]. Ukraine's recent speeds (70 km in a year) are commendable, but scaling that up will require major investment, workforce capacity, and stable supply chains.

From the UK's experience, the following strategic lessons emerge:

Prioritize electrification: build on the ≈45% already electrified network in Ukraine. Seek to increase the annual rate of track electrification substantially, with clear targets.

Rigorous cost estimation and risk management: using HS2 as cautionary tale, all phases must include contingency, realistic inflation adjustments, and strict oversight.

Selectively engage PPPs in freight, logistics, and maintenance, not necessarily service operation everywhere, to attract capital and innovation while maintaining control over strategic assets.

Accelerate digitalization and customer-centric reforms: small investments in digital tools, feedback

mechanisms, accessibility improvements can yield outsized benefits in trust, usage, and efficiency.

Integration with EU standards: in track, signaling, digital infrastructure, safety and environmental regulations, to facilitate cross-border trade and funding opportunities.

The British railway model is far from perfect, but its evolution offers Ukraine both inspiration and warnings. From the UK we see the tangible value of electrification (even when progress is slow), the transformative possibilities and risks of high-speed rail, the mixed results of public-private models, and the growing importance of digital, customer-oriented service.

For Ukraine, railways are more than transport: they are tools for economic recovery, national cohesion, and European integration. By learning (but not blindly copying) from Britain's successes and failures - adapting them to Ukraine's scale, war-affected infrastructure, financial constraints, and strategic imperatives - Ukraine can build a railway system that is modern, resilient, and aligned with future needs.

1. Department for Transport (UK). *High Speed Two (HS2) Business Case*. London: HM Government, 2020. Available at: https://www.gov.uk/government/publications/high-speed-two-hs2-business-case
2. Rail Industry Association (RIA). *Electrification Cost Challenge Report*. London: RIA, 2019. Available at: https://www.riagb.org.uk/RIA/RIA/Newsroom/Press_Releases/Electrification_Cost_Challenge.aspx
3. European Bank for Reconstruction and Development (EBRD). *Ukraine Railways: Modernisation and Reform Projects*. London: EBRD, 2021. Available at: https://www.ebrd.com/work-with-us/projects/psd/ukraine-railways.html

УДК 681.7.068:625.1:004.85

Ph.D., S.O. Zmii, applicants M.V. Kanevskii, D.S. Kanevskii.
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

VIBRATION ANALYSIS AND NEURAL NETWORKS FOR PROACTIVE RAILWAY TRACK MONITORING USING FIBER OPTIC SENSORS

The safety and efficiency of rail transport directly depend on the integrity of the track infrastructure. However, traditional monitoring methods, such as visual inspections, non-destructive testing, and rail loops, are mostly reactive or periodic. [1, 2] They leave significant time gaps during which critical defects can arise and develop, and their effectiveness is limited by subjectivity, high cost, and vulnerability to external factors. This creates an urgent need for innovative automated systems capable of providing continuous, highly accurate, and, most importantly, proactive monitoring of the condition of railway tracks in real time.

In the context of full-scale military aggression against Ukraine, the relevance of such systems is growing exponentially. The railway infrastructure has become a strategic target, subject to constant attacks and sabotage aimed at disrupting military and humanitarian logistics. Traditional control methods are proving insufficiently effective in countering such threats, requiring the immediate introduction of technologies that function as a system of continuous surveillance and instant response. They are capable of not only providing early warning of the consequences of attacks, such as damage to tracks due to explosions, but also recording attempts at physical interference by malicious actors, in particular the installation of explosive devices or other sabotage objects.

The work proposes and theoretically substantiates an innovative approach that uses fiber optic sensors, in particular distributed acoustic sensor (DAS) technology, to monitor railway infrastructure. The scientific novelty lies in the use of vibration and acoustic signals generated by the rolling stock itself to diagnose the condition of the track at a considerable distance ahead of the train. This methodology transforms the train from a passive means of transport into an active diagnostic tool that continuously "listens" to the track ahead. Instead of passively waiting for an event at the sensor location, the system actively analyzes the propagation of energy emitted by the train in the rail structure. This allows for proactive detection of rail integrity violations or the presence of foreign objects long before approaching them, providing critical time to prevent accidents.

The methodological basis of the system is the analysis of two key components of the vibration signal. First, the integrity of the rail is assessed by analyzing the spatial attenuation of the transmitted wave. The presence of microcracks, fastening defects, or ballast degradation changes the physical properties of the rail, leading to a local increase in the attenuation coefficient. The DAS system, acting as a continuous array of virtual sensors, detects an abnormally sharp drop in signal amplitude and accurately identifies the potentially damaged section. Secondly, foreign objects on the track are detected by analyzing reflected waves. The obstacle creates acoustic impedance, reflecting part of the vibration energy back to the source. The system identifies this "echo," and the time it takes to propagate allows the distance to the object to be accurately determined. Thus, a single "natural" signal from the train is used to obtain two different types

of diagnostic information: about distributed defects in the environment and about point obstacles.

DAS technology generates huge amounts of data, reaching terabytes per day, which makes manual analysis impossible. Therefore, artificial intelligence and machine learning are key, integral components of the proposed system. The use of modern neural network architectures, such as convolutional neural networks (CNN) for recognizing unique patterns in signal spectrograms and long short-term memory (LSTM) recurrent networks for analyzing the temporal dynamics of events, allows the classification process to be automated. These models are capable of distinguishing with high accuracy between vibrations caused by normal train movement, track defects, or external interference. In this context, AI is not just a tool for improvement, but a fundamental technology that transforms raw optical data arrays into structured, actionable information, without which the system cannot function. [3]

As a result, the synergy of fiber-optic sensor technologies and advanced AI methods creates the basis for the transition from outdated reactive approaches to proactive and predictive management of railway infrastructure. Based on the conclusions of the neural network, a practical algorithm for classifying the level of danger has been developed, which divides the state of the system into three levels: normal, warning, and critical. This allows for the generation of clear, timely, and adequate alerts for operators and maintenance services, from planning technical inspections to immediate traffic stoppages, which significantly improves the safety, reliability, and cost-effectiveness of railway operations.

References

1. Łomżyńska A, Strugarek K, Nowak M, Ludwiczak A, Klekowicki M, Szymański GM. Identification of railway track damage using vibration signal characteristics. Rail Vehicles/Pojazdy Szynowe. 2024;3-4:64-72. https://doi.org/10.53502/RAIL-201445
2. Industry Track Inspection. CN. URL: https://www.cn.ca/-/media/Files/Customer-Centre/Track-Specifications/industry-track-inspection-en.pdf (дата звернення: 15.09.2025).
3. Al-Ashwal, N.H.; Al Soufy, K.A.M.; Hamza, M.E.; Swillam, M.A. Deep Learning for Optical Sensor Applications: A Review. *Sensors* **2023**, *23*, 6486. https://doi.org/10.3390/s23146486

УДК 352 + 681.3

д-р техн. наук О.М. Ананьєва, ст. гр. 135-ОКСКРП-Д23 А.І. Семикрас
(Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

АНАЛІЗ УКРАЇНСЬКИХ ЛІДЕРІВ-ВИРОБНИКІВ КОНЦЕПЦІЇ «SMART CITY» (РОЗУМНОГО МІСТА)

З появою та стрімким розвитком концепції «Розумного міста», інформаційно керуючі технології зробили великий інноваційний прогрес та поставили нові виклики для виробників даної концепції [1, 2]. Smart City є технічним проєктом, спрямованим на забезпечення підвищення якості життя мешканців, комфортного та безпечного проживання в Українських містах та громадах [3].

В даній роботі проведений огляд та аналіз технічних можливостей таких виробників, як Smart Місто, IncoreSoft, ELKO Ukraine, що являються безперечними флагманами в Smart технологіях Українських міст. Не дивлячись на спільну рису виробників, вони пропонують інноваційні рішення в рамках концепції. Розробники охоплюють різні технічні сфери застосування, такі як:

Smart Misto (провідна IT-компанія, яка спеціалізується на впровадженні цифрових технологій) – цифровізує міські послуги, робить гнучким управління комунальними підприємствами, забезпечує доступність послуг у смартфоні для кожного жителя міста та громади, а також використовує домени для комунікації.

IncoreSoft (компанія, що розробляє рішення у сфері відеоаналітики та розпізнавання об'єктів у місті на основі технологій штучного інтелекту) – трансформує безпеку для спільнот і підприємств будь-якого розміру за допомогою інноваційної аналітики відеоспостереження на основі штучного інтелекту та нейронних мереж.

ELKO Ukraine (дистриб'ютор широкого асортименту IT продуктів і рішень) – постачає мережеве обладнання, програмне забезпечення для відеоспостереження та інші компоненти для створення інтелектуальної інфраструктури.

Спільна діяльність виробників забезпечує повний цикл реалізації «Розумного міста» – від кінцевих цифрових послуг та безпеки до базової IT-інфраструктури.

Список використаних джерел

1. Гладун Ю.Я. Побудова автоматизованої інформаційно-аналітичної системи безпечне місто / Ефективність державного управління / Збірник наукових праць. – 2012. – Вип. 32. 277-283с.
2. Шайтуро О.П. Заходи протидії злочинності в межах реалізації проектів безпечне місто // Кримінально-правові та кримінологічні засоби протидії злочинам проти громадської безпеки та публічного порядку, 2019. 225-227с.

3. Смілевський М. Забезпечення громадської безпеки в місті на прикладі системи відеоспостереження безпечне місто Львів // Біологічні, хімічні та екологічні загрози під час війни, 2025. https://doi.org/10.32447/bcet.2025.32

УДК 656.2:681.3

Кандидат технічних наук, С.Є. Бантюков
Український державний університет залізничного транспорту

МОДЕЛЬ ПЕРЕНЕСЕННЯ РИЗИКУ В ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

Сучасні технічні системи стають все більш складними, інтегруючи різноманітні технології, автоматизацію та елементи штучного інтелекту. В таких умовах управління ризиками набуває особливого значення, оскільки навіть незначний збій в одній із підсистем може призвести до каскадних наслідків у всій системі. Одним з ключових понять в управлінні ризиками є модель перенесення ризику. Вона дозволяє не тільки виявляти джерела загроз, але й розуміти, як ризики поширюються всередині технічної

Модель перенесення ризику – це концептуальний та аналітичний інструмент, що описує механізми передачі впливу несприятливих подій від одного елемента системи до іншого. У контексті технічних систем це може означати, що помилка в одному модулі програмного забезпечення призводить до збоїв в апаратній частині або відмова датчика викликає некоректну роботу виконавчого механізму.

Важливо розуміти, що у технічних системах ризики не існують в ізоляції. Компоненти пов'язані один з одним причинно-наслідковими зв'язками, і тому негативна подія рідко буває локалізованою. Ризик може «перетікати» по ланцюжку взаємодій, посилюватись або, навпаки, пом'якшуватися залежно від конструкції системи, архітектури управління та ступеня захищеності.

Модель перенесення ризику включає:

- джерела ризику;
- шляхи поширення ризику;
- вразливості цих шляхах;
- наслідки кінцевих елементів системи;
- можливості локалізації чи розриву ланцюжка перенесення ризику.

Перенесення ризику може відбуватися різними каналами, серед яких можна виділити:

1. Фізичне перенесення: наприклад, пожежа в одному відсіку може поширитися на сусідні зони через вентиляційні системи або кабельні траси.
2. Інформаційний канал: передача помилкових даних між модулями програмного забезпечення або між сенсором та керуючим елементом.
3. Управлінське перенесення: прийняття помилкових рішень на верхньому рівні управління, спричинене недостатньою інформацією або порушеннями в системі моніторингу, може призвести до ризиків на виконавчому рівні.
4. Фінансово-економічне перенесення: недостатнє фінансування технічного обслуговування одного елемента може вплинути на надійність всієї системи.
5. Організаційне або міжсистемне перенесення: при взаємодії кількох організацій або підрядників, помилки або недбалість однієї сторони можуть передавати ризик іншим.

Модель перенесення ризику має кілька прикладних цілей:

- Запобігання каскадним відмовам. Розуміння, як ризики поширюються, допомагає проектувати механізми захисту, які розривають ланцюжок передачі.
- Оптимізація архітектури системи. Знання про напрями перенесення ризику дозволяє створити такі зв'язки між компонентами, у яких ризик не може перейти на критично важливі вузли.
- Оцінка залишкового ризику. Після застосування засобів захисту необхідно оцінити, які ризики залишаються і як вони можуть бути передані.
- Розробка плану аварійного реагування. Розуміння моделі поширення ризику дозволяє створювати ефективні сценарії дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

Список використаних джерел

1. Ivo Haring. *Technical Safety, Reliability and Resilience: Methods and Processes.* Springer Singapore : – 2021, 308 p.

УДК 656.2:681.3

Кандидат технічних наук, С.О. Бантюкова
Український державний університет залізничного транспорту

СТРАТЕГІЯ ПРИЙНЯТТЯ РИЗИКІВ У ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

У сучасних умовах стрімкого науково-технічного прогресу та повсюдної автоматизації, технічні системи стають все більш складними та багаторівневими. Це робить питання управління ризиками у технічному середовищі невід'ємною частиною проектування, експлуатації та модернізації

таких систем. Стратегія прийняття ризиків – це не просто формальна згода на ймовірність відмов чи збоїв, а продумана система заходів, спрямованих на забезпечення стійкості, ефективності та безпеки функціонування технічних об'єктів.

У технічних системах ризик найчастіше визначається як імовірність настання небажаної події, помноженої на тяжкість його наслідків. Ця подія може бути відмовою обладнання, збоєм у програмному забезпеченні, помилкою оператора, порушенням технологічного процесу та інше. Особливістю ризику в технічній сфері є його багатофакторність: на підсумковий рівень загрози впливають конструктивні, експлуатаційні, технологічні та людські фактори.

Сенс стратегії прийняття ризиків

Прийняття ризику – це усвідомлене рішення вважати певний рівень ризику допустимим. Така стратегія застосовується, коли:

1. Повне усунення ризику неможливе або економічно недоцільне.

2. Ризик перебуває у межах допустимого порогу, встановленого нормативами чи внутрішніми стандартами.

3. Заходи щодо зниження ризику можуть призвести до втрат більшої величини, ніж потенційні збитки від його реалізації.

Таким чином, стратегія прийняття ризику заснована не на бездіяльності, а на аналізі балансу між витратами на безпеку та очікуваними наслідками можливих збоїв. Це особливо актуально у сферах, де відмова малоймовірна, але потенційно катастрофічна подія (транспорт, енергетика, хімічна промисловість тощо).

Основні засади стратегії прийняття ризику

1. Ідентифікація та класифікація ризиків. Перш ніж прийняти ризик, він має бути ретельно вивчений. Це включає виявлення джерел небезпеки, уразливих компонентів та сценаріїв розвитку подій.

2. Якісний та кількісний аналіз. Оцінюється імовірність настання ризику та тяжкість наслідків. Методи включають імовірнісні розрахунки, моделювання, аналіз відмов та ін.

3. Встановлення меж допустимого ризику. Ризик, що приймається, повинен відповідати нормативним вимогам і корпоративним стандартам.

4. Розробка компенсуючих заходів. Прийняття ризику не означає повної відмови від заходів захисту. Навпаки, розробляються організаційні та технічні рішення, які пом'якшують наслідки його реалізації – від запровадження аварійного резервування до підготовки персоналу.

5. Моніторинг та перегляд. Прийнятий ризик повинен регулярно переоцінюватися, особливо у разі зміни умов експлуатації, впровадження нових технологій або виявлення нових факторів.

Прийняття ризику – ключовий елемент управління життєвим циклом технічної системи від стадії проектування до утилізації. На різних етапах рівень допустимого ризику може змінюватись:

- На етапі проектування важливо передбачити можливі ризики та врахувати їх у конструктивних рішеннях.
- На етапі експлуатації – завдання полягає у постійному моніторингу ризиків та коригуванні стратегії у разі змін умов.
- На етапі модернізації або виведення з експлуатації потрібні додаткові заходи щодо управління залишковими ризиками.

Таким чином, стратегія прийняття ризиків у технічних системах – це раціональний підхід до управління невизначеністю. Вона дозволяє інженерам, менеджерам та проектувальникам приймати зважені рішення, мінімізуючи потенційні збитки при збереженні економічної та технічної ефективності. В умовах зростаючої складності технічних систем та обмежених ресурсів така стратегія стає необхідним інструментом сталого та безпечного розвитку технологій, яка дозволяє оптимізувати ресурси, уникнути надлишкових витрат та зосередитися на справді критичних зонах системи.

Список використаних джерел

1. John X. Wang. What Every Engineer Should Know About Risk Engineering and Management. CRC Press : 2023, 264 p.

УДК 629.4

*Аспірант **О.Ю. Бележинський,** д.т.н., професор **О.М.Горобченко** Навчально-науковий Київський інститут залізничного транспорту НТУ*

ДИНАМІКА ЗРОСТАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЯГОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НА РІЗНИХ ЕТАПАХ РОЗВИТКУ

Робота тягових перетворювачів ґрунтується на низці базових фізичних принципів, які забезпечують перетворення електроенергії у форму, сумісну з вимогами тягових двигунів та систем керування [1]. До таких принципів належать процеси випрямлення, інверсії, а також модуляції частоти та напруги, що дозволяють ефективно узгоджувати параметри живлення з режимами рухомого складу.

Сучасні розробки орієнтовані на впровадження силових елементів нового покоління, як то SiC- та GaN-транзисторів, що дозволяють зменшити втрати

при комутації, знизити габарити обладнання та забезпечити роботу в умовах підвищених навантажень. З позицій типу живлення виділяють перетворювачі для систем постійного і змінного струму. У міському транспорті переважають рішення для мереж постійного струму (600-750 В та 3 кВ), тоді як для магістральних перевезень активно застосовуються системи змінного струму (15-25 кВ). Функціонально розрізняють випрямлячі, інвертори, перетворювачі частоти та комбіновані системи, які поєднують кілька режимів перетворення. Така багатовимірна класифікація дозволяє охопити історичні, технічні й функціональні аспекти розвитку, а також порівняти різні підходи за критеріями ефективності, надійності та перспективності впровадження.

Розвиток тягових перетворювачів відображає еволюцію транспортної електроніки, що пройшла шлях від енергоємних і малоефективних систем до високопродуктивних напівпровідникових рішень. У міському і приміському транспорті поширення набули чотири групи перетворювачів [3]:

- реостатно-контакторні системи, які застосовувалися на ранніх етапах і забезпечували лише ступінчасте регулювання;
- тиристорні модулі, що дозволили підвищити точність регулювання та скоротити втрати;
- інвертори на основі IGBT, які поєднали високу ефективність, компактність і можливість роботи у широкому діапазоні навантажень;
- перетворювачі на SiC- і GaN-елементах, що репрезентують сучасний етап розвитку завдяки низьким втратам при комутації, підвищеній температурній стійкості та зменшеним габаритам.

Еволюція тягових перетворювачів демонструє не лише зміну конструктивних підходів, але й стале зростання рівня енергоефективності від реостатно-контакторних систем до сучасних SiC- та GaN-рішень. Як видно з рис. 1, кожен наступний етап розвитку супроводжується підвищенням коефіцієнта корисної дії, зменшенням втрат енергії та покращенням експлуатаційних характеристик. Це підтверджує закономірність поступового переходу від простих, але енергоємних рішень до високотехнологічних модулів, що забезпечують мінімізацію витрат і відкривають перспективи інтеграції у енергетичні системи міського транспорту з інтелектуальним керуванням.

Рис. 1. Динаміка зростання енергоефективності тягових перетворювачів на різних етапах розвитку [2, 3]

Еволюція від реостатно-контакторних схем до високоефективних напівпровідникових модулів на базі IGBT, SiC та GaN підтверджує закономірність переходу до більш енергоощадних та надійних рішень. Розгляд базових фізичних принципів і функціональних можливостей показав, що перетворювачі виступають не лише засобом узгодження параметрів живлення з вимогами різних типів двигунів, але й інструментом реалізації стратегій енергозбереження через рекуперацію та адаптивне регулювання. На окрему увагу заслуговує інтеграція з інтелектуальними системами керування та «Smart Grid», яка розширює функціональність перетворювальної техніки до рівня ключового елемента транспортно-енергетичної інфраструктури. У сукупності це підкреслює, що подальші перспективи розвитку міського і магістрального електротранспорту безпосередньо залежать від удосконалення тягових перетворювачів та їх гармонійного включення у цифровізовані й стійкі енергетичні системи.

Перелік посилань

1. О.І. Ступко, О.М. Горобченко. Розробка організаційних та технічних заходів щодо енергозбереження у локомотивному господарстві. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців. Збірник матеріалів. «Сучасні дослідження: траспортна інфраструктура та інноваційні технологій» Частина 2. 2023 р.

2. Ding, R., Dou, Z., Qi, Y., Mei, W., & Liu, G. (2022). Analysis on characteristic of 3.3-kV full SiC device and railway traction converter design. *IET Power Electronics*, *15*(10), 978–988. https://doi.org/10.1049/pel2.12280.

3 .Hu, H., Liu, Y., & Li, Z. (2024). Traction power systems for electrified railways: evolution, technologies, and future trends. *Chinese Journal of*

Electrical Engineering, 10(2), 123–141.
https://doi.org/10.1007/s40534-023-00320-6

УДК 621.396

д-р техн. наук, проф., ***Трубчанінова К.А.****, УкрДУЗТ, м. Харків, Україна*
аспірант, ***Голейчук Л.В.****, УкрДУЗТ, м. Харків, Україна*

ІНТЕГРАЦІЯ НАДШИРОКОСМУГОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ З МАШИННИМ НАВЧАННЯМ ДЛЯ АДАПТИВНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ В ДИНАМІЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Надширокосмугові (UWB) технології є ключовим інструментом сучасних інформаційних та комунікаційних систем, оскільки поєднують високу пропускну здатність, стійкість до багатопроменевих завад та можливість високоточного позиціонування. Проте динамічність середовищ (зміна геометрії простору, рух об’єктів, варіативність відбитих сигналів) знижує точність визначення місцеположення та стабільність передачі даних. Інтеграція надширокосмугових технологій (UWB) з алгоритмами машинного навчання відкриває новий рівень розвитку адаптивних систем у сфері інформаційних та комунікаційних технологій. Головною перевагою UWB є надзвичайно висока точність вимірювання відстані та стійкість до впливу перешкод, що робить цю технологію незамінною у завданнях позиціонування, відстеження та передачі даних у складних середовищах. Проте основна проблема полягає в тому, що ефективність роботи UWB значно знижується у динамічних умовах, коли середовище постійно змінюється: з’являються нові відбивальні поверхні, рухаються об’єкти, змінюється конфігурація простору. Це призводить до коливань у затримках сигналу, багатопроменевих ефектів і зростання похибки визначення координат.

Машинне навчання дає змогу розширити функціональні можливості UWB, забезпечуючи створення систем, здатних самостійно адаптуватися до змін. Алгоритми навчання можуть виявляти закономірності у великих масивах даних, що формуються під час роботи UWB-систем, і використовувати ці знання для прогнозування та компенсації помилок. Наприклад, замість того, щоб покладатися лише на вимірювання часу приходу сигналу, система може враховувати й інші характеристики каналу: зміну рівня потужності сигналу, співвідношення сигнал/шум, статистику відбитих хвиль. Поєднання цих параметрів із алгоритмами машинного навчання дозволяє системі робити висновки про реальне розташування об’єкта навіть у присутності суттєвих завад.

Важливим напрямом інтеграції є використання алгоритмів глибинного навчання для аналізу часових послідовностей. Оскільки параметри UWB-сигналу змінюються не лише просторово, а й у часі, ефективними є архітектури на зразок рекурентних нейронних мереж, які можуть «запам’ятовувати» попередні стани й на цій основі передбачати наступні. Таким чином, система не просто реагує на зміни середовища, а прогнозує їх, що дозволяє зменшити затримки та забезпечити більш плавну роботу в реальному часі.

Не менш перспективним є застосування методів онлайн-навчання, коли модель постійно оновлює свої параметри в міру отримання нових даних. Це особливо актуально для динамічних середовищ, у яких характеристики каналу можуть змінюватися дуже швидко, наприклад, на виробничих лініях з великою кількістю рухомих об’єктів або в транспортних системах. Онлайн-алгоритми забезпечують адаптацію системи без необхідності повного перенавчання, що дозволяє зберігати стабільність роботи навіть у непередбачуваних умовах.

Робота присвячена розробці адаптивних систем на основі інтеграції UWB технологій та алгоритмів машинного навчання для підвищення точності позиціонування та стабільності передачі даних у динамічних середовищах. Використання таких алгоритмів дозволить створювати системи, здатні самостійно адаптуватися до змін умов роботи, прогнозувати похибки та коригувати їх, враховуючи різні характеристики сигналу, включаючи форму імпульсу, рівень потужності та співвідношення сигнал/шум.

Розроблені методи та моделі забезпечують перехід від статичних систем до динамічних, що самонавчаються під час експлуатації, підвищуючи точність і надійність роботи у складних умовах, де з’являються нові відбивальні поверхні, рухаються об’єкти або змінюється конфігурація простору. Особлива увага приділена енергоефективності: адаптивні системи можуть автоматично регулювати частоту опитування сенсорів або динамічно змінювати режим роботи залежно від поточної якості каналу, що дозволяє продовжити термін служби батарей у пристроях IoT.

1. Liu, Y., Wang, J., & Huang, K. (2023). Machine learning empowered UWB localization for dynamic IoT environments. IEEE Internet of Things Journal, 10(5), 4123-4135.
2. Zhang, X., Chen, Y., & Li, T. (2024). Adaptive fusion of UWB and deep learning algorithms for robust positioning in complex environments. IEEE Transactions on Mobile Computing, 23(2), 765-777.

УДК:656:021

к.е.н., доцент Н.В. Гриценко
Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ЛОГІСТИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

DIGITAL TECHNOLOGY AS AN ADVANCED COMPETITIVENESS OF LOGISTICS TRANSPORT SYSTEMS

Впровадження цифрових технологій є давно назрілою необхідністю для логістичних транспортних систем. Багато з цих технологій вже використовуються в транспортній логістиці сьогодні, включаючи безпілотні та мобільні технології, технології ідентифікації, блокчейн, електронні бази даних, безпаперові технології, дрони, роботизовані системи, штучний інтелект, нейронні мережі тощо.

Застосування цифрових технологій і цифрових технологій у логістичній транспортній системі виявляється ефективним засобом зниження витрат і підвищення продуктивності, що, у свою чергу, підвищує конкурентоспроможність у транспортній галузі. Дослідження PwC показало, що 54% світових транспортних компаній очікують зростання доходів у результаті цифровізації. Крім того, 16% очікують підвищення прибутковості, тоді як 11% прагнуть підвищити рівень задоволеності клієнтів. Розгортання цифрових інструментів може сприяти створенню конкурентних переваг, залученню нових клієнтів і утриманню існуючих клієнтів у транспортній галузі. [1].

Треба відзначити, що, цифрові технології відіграють ключову роль у розвитку мультимодальних транспортних систем, сприяючи інноваціям і стимулюючи прогрес у цій галузі. Створення ринкового потенціалу для кооперативного, інтегрованого та автоматизованого транспорту веде до появи численних нових можливостей для працевлаштування. Важливим аспектом цього процесу є встановлення зв’язку між транспортними засобами, інфраструктурою та іншими учасниками логістичної системи, що сприяє безпеці автоматизованих транспортних засобів та їх комплексній інтеграції в транспортну систему. Розвиток інтегрованої транспортної мережі відповідає викликом ринку та сприяє взаємодії між різними електронними системами та технологічними стандартами.

Цифровізація є запорукою подолання конкуренції на ринку перевезень на національному рівні. Цей стратегічний крок необхідний для задоволення зростаючих витрат і зростаючих вимог клієнтів. Особливо важливою складовою є платформизація процесів продажів, що передбачає автоматизацію закупівель та використання цифрових платформ, що поєднують різноманітні сервіси. Це дозволяє підприємствам ефективно працювати в електронному середовищі, забезпечуючи швидкий доступ до інформації та послуг. Цифровізація оптимізує бізнес-процеси, забезпечує ефективне управління ресурсами та підвищує конкурентоспроможність транспортних компаній у сучасному цифровому світі.

Зрозуміло, що для розвитку передових цифрових технологій потрібні значні інвестиції, особливо в транспортному секторі, де ця технологія все ще знаходиться в зародковому стані. Фонди венчурного капіталу вже інвестували в цифрову доставку та логістику в останні роки, але вартість цих інвестицій залишається високою. Це є значною перешкодою для малих і середніх підприємств, які стикаються з фінансовими обмеженнями. [2]. Тим не менш, інноваційні інструменти стають все більш доступними завдяки цифровим платформам і комплексним рішенням. Ці рішення можна легко впровадити, незалежно від розміру транспортної компанії. Залишається питання: чи варті ці рішення інвестицій?

Є три ключові способи розвитку цифрового транспорту: оптимізація логістичних процесів, покращення вантажних перевезень і полегшення взаємодії між різними вантажовласниками на ринку. Цифрові технології гарантують ефективне використання ресурсів, підвищену безпеку та точніше управління транспортними потоками. Зрозуміло, що цифрові інновації повинні бути запроваджені в транспортному секторі для вирішення таких проблем: низька маржа; порожні пробіги; неефективні організаційні та транспортні процеси; застаріле обладнання.

Розвиток інтелектуальних систем транспортної логістики є ключовим пріоритетом як нашої країни, так і світової транспортної політики в цілому. Цифровізація транспортної мережі є вирішальним фактором для повного використання переваг інноваційних технологій та підвищення конкурентоспроможності всієї транспортної логістичної системи країни. Це охоплює як незначні аспекти, такі як розширення доступу до транспортних ресурсів, зменшення неефективних ручних процесів, так і макроаспекти, включаючи об’єднання ринку, безперешкодний рух товарів і послуг, збільшення пропускної здатності транспортної інфраструктури та зменшення

негативного впливу на навколишнє середовище. Можна виділити основні переваги: адаптивне регулювання трафіку, моніторинг руху, системи диспетчеризації; обмін даними між транспортним засобом, інфраструктурою та інфраструктурними об'єктами; універсальні рішення для пасажирів (цифрове квітування, мобільні додатки для сервісів, онлайн-розклад та реальна інформація про пробки); логістика та ланцюги постачання (маршрутна оптимізація, трекінг вантажів, динамічне ціноутворення на маршрути).

1. Звіт про прозорість. Компанія PwC Ешуренс 2023 https://www.pwc.com/ua/uk/services/assurance/transparency-report.html (дата останнього звернення 01.09.2025р).
2. Воронков Д. К. Управління стратегічними змінами щодо інноваційного розвитку підприємства. Вісник Хмельницького націон. універ.: наук. журн. Серія: «Економічні науки». Хмельницький, 2019. № 6. С. 7−11.

д.т.н. Доценко С.І.
Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

Аналіз тенденцій розвитку методологій моделювання підприємства

Теоретичною основою моделювання діяльності підприємств слід вважати роботи в галузі формування організаційної структури та визначення змісту функцій які реалізуються елементами визначених організаційних структур для підприємства.

Згідно стандарту ISO 14258-2008:

«Моделі підприємства застосовують як інструменти для опису і представлення підприємства в контексті конкретної мети. Підприємства є системами, які можуть аналізуватися і моделюватися із застосуванням теорії систем. Такі моделі розробляють для аналізу, інжинірингу та менеджменту підприємств… . Моделі підприємства визначають відповідні аспекти підприємства, необхідні для:

– створення, проектування, закупівель та побудови підприємства, що включає в себе будь-яку сукупність відповідним чином обраних процесів;

– управління і роботи підприємства для виконання поставленої перед ним цілі і ;

– підтримки процесів зміни, перепроектування, ліквідації та перебудови підприємства.»

Важливим положенням стандарту ISO 14258-2008 є положення про інтеграцію моделі підприємства:

«Концепції інтеграції моделі. Модель підприємства включає в себе структуровані дані і правила, що поширюються на інформацію, яка використовується додатками для виконання своєї роботи. Підприємство являє собою великий і складний організм, що передбачає наявність багатьох моделей для найрізноманітніших цілей для опису того, що відбувається в будь-який період часу. У зв'язку з різноманіттям додатків на підприємстві інформація, що міститься в моделях, кодується у багатьох форматах залежно від потреб розробників і користувачів інформації. Моделі можуть бути у формі органограм, електронних таблиць, інженерних креслень, даних про протікання процесів, комп'ютерної інженерії, комп'ютерного проектування та комп'ютерних виробничих файлів.».

На цей час в Україні прийнято стандарт ДСТУ EN ISO 19439:2022, який набув чинності з 31 грудня 2023 року. Методологічною основою для цього стандарту є стандарт ISO 14258-2008.

Отже, для України розробка моделей підприємства згідно стандарту ДСТУ EN ISO 19439:2022 знаходиться на початковому етапі. Тому важливою є задача визначення основних положень методології моделювання підприємства на основі цього стандарту.

Згідно ДСТУ EN ISO 19439:2022 запровадження автоматизованих систем управління підприємством передбачає розробку (див. п (3.61):

- моделі його архітектури (з чого складається підприємство);
- моделі задач діяльності (для чого воно призначене);
- моделі діяльності (яким чином діє).

Основою розглянутого представлення інтеграції підприємства є структурно-функціональний підхід.

В стандарті ДСТУ EN ISO 19439-2022 визначено зміст наступних видів представлення (моделі) підприємства [9]:

«3.32 функціональне представлення (function view)… .

3.40 інформаційне представлення (вид) (information view)… .

3.52 організаційне представлення (вид) (organization view)... .

3.61 ресурсне представлення (вид) (resource view)... .»

На жаль, в даному стандарті відсутні вимоги до формування стандартних моделей для вказаних представлень. Натомість в даному стандарті встановлено вимоги до *середовища моделювання* підприємства за вказаними представленнями.

Згідно стандарту ISO 15704—2019 провідною для інтеграції підприємства визнається категорія «архітектура»:

«– архітектура: Опис (модель) основного устрою (структури) та зв'язків частин системи (фізичного або концептуального об'єкта або сутності).»

В цьому стандарті запроваджується узагальнена стандартна архітектура підприємства і методологія (GERAM) описана P. Bernus зі співавторами у

Слід звернути увагу на наступну обставину. З аналізу розглянутих вимог досліджених стандартів слідує що:

– не ставляться задачі розробки ідеальних архітектур для конкретних представлень (моделей) підприємства, а саме: функціонального; інформаційного; організаційного; та ресурсного;

– не ставиться задача дослідження взаємозв'язку поміж вказаними моделями, вони визнаються незалежними.

В той же час запропоновано застосовувати ідеальну модель функціонального представлення підприємства, яка обґрунтована у роботі [1] для формування ідеальної моделі організаційного представлення і на її основі у роботі [2] доведено, що поміж функціональним та організаційним представленням також можливо встановити ізоморфізм.

Література

1. Доценко С. І. Теоретичні основи створення інтелектуальних систем комп'ютерної підтримки рішень при управлінні енергозбереженням організацій: дис. д-ра. техн. наук: 05.13.06 / С. І. Доценко. – Харків, 2017. – 369 с.

2. Dotsenko S. I. Architecture Development of Information System of an Enterprise [Текст] / S. I. Dotsenko, S. S. Kamenskyi // Науковий журнал Системи та технології (правонаступник наукового журналу "Вісник Академії митної служби України. Серія: "Технічні науки") 2019, № 1 (57). С. 36-46.

д.т.н. Доценко С.І.

Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

Аналіз тенденцій розвитку методологій моделювання підприємства

Теоретичною основою моделювання діяльності підприємств слід вважати роботи в галузі формування організаційної структури та визначення змісту функцій які реалізуються елементами визначених організаційних структур для підприємства.

Згідно стандарту ISO 14258-2008:

«Моделі підприємства застосовують як інструменти для опису і представлення підприємства в контексті конкретної мети. Підприємства є системами, які можуть аналізуватися і моделюватися із застосуванням теорії систем. Такі моделі розробляють для аналізу, інжинірингу та менеджменту підприємств… . Моделі підприємства визначають відповідні аспекти підприємства, необхідні для:

– створення, проектування, закупівель та побудови підприємства, що включає в себе будь-яку сукупність відповідним чином обраних процесів;

– управління і роботи підприємства для виконання поставленої перед ним цілі і ;

– підтримки процесів зміни, перепроектування, ліквідації та перебудови підприємства.»

Важливим положенням стандарту ISO 14258-2008 є положення про інтеграцію моделі підприємства:

«Концепції інтеграції моделі. Модель підприємства включає в себе структуровані дані і правила, що поширюються на інформацію, яка використовується додатками для виконання своєї роботи. Підприємство являє собою великий і складний організм, що передбачає наявність багатьох моделей для найрізноманітніших цілей для опису того, що відбувається в будь-який період часу. У зв'язку з різноманіттям додатків на підприємстві інформація, що міститься в моделях, кодується у багатьох форматах залежно від потреб розробників і користувачів інформації. Моделі можуть бути у формі органограм, електронних таблиць, інженерних креслень, даних про протікання процесів, комп'ютерної інженерії, комп'ютерного проектування та комп'ютерних виробничих файлів.».

На цей час в Україні прийнято стандарт ДСТУ EN ISO 19439:2022, який набув чинності з 31 грудня 2023 року. Методологічною основою для цього стандарту є стандарт ISO 14258-2008.

Отже, для України розробка моделей підприємства згідно стандарту ДСТУ EN ISO 19439:2022 знаходиться на початковому етапі. Тому важливою є задача визначення основних положень методології моделювання підприємства на основі цього стандарту.

Згідно ДСТУ EN ISO 19439:2022 запровадження автоматизованих систем управління підприємством передбачає розробку (див. п (3.61):

- моделі його архітектури (з чого складається підприємство);
- моделі задач діяльності (для чого воно призначене);
- моделі діяльності (яким чином діє).

Основою розглянутого представлення інтеграції підприємства є структурно-функціональний підхід.

В стандарті ДСТУ EN ISO 19439-2022 визначено зміст наступних видів представлення (моделі) підприємства [9]:

«3.32 функціональне представлення (function view)… .

3.40 інформаційне представлення (вид) (information view)… .

3.52 організаційне представлення (вид) (organization view)... .

3.61 ресурсне представлення (вид) (resource view)... .»

На жаль, в даному стандарті відсутні вимоги до формування стандартних моделей для вказаних представлень. Натомість в даному стандарті встановлено вимоги до *середовища моделювання* підприємства за вказаними представленнями.

Згідно стандарту ISO 15704—2019 провідною для інтеграції підприємства визнається категорія «архітектура»:

«– архітектура: Опис (модель) основного устрою (структури) та зв'язків частин системи (фізичного або концептуального об'єкта або сутності).»

В цьому стандарті запроваджується узагальнена стандартна архітектура підприємства і методологія (GERAM) описана P. Bernus зі співавторами у

Слід звернути увагу на наступну обставину. З аналізу розглянутих вимог досліджених стандартів слідує що:

– не ставляться задачі розробки ідеальних архітектур для конкретних представлень (моделей) підприємства, а саме: функціонального; інформаційного; організаційного; та ресурсного;

– не ставиться задача дослідження взаємозв’язку поміж вказаними моделями, вони визнаються незалежними.

В той же час запропоновано застосовувати ідеальну модель функціонального представлення підприємства, яка обґрунтована у роботі [1] для формування ідеальної моделі організаційного представлення і на її основі у роботі [2] доведено, що поміж функціональним та організаційним представленням також можливо встановити ізоморфізм.

Література

1. Доценко С. І. Теоретичні основи створення інтелектуальних систем комп’ютерної підтримки рішень при управлінні енергозбереженням організацій: дис. д-ра. техн. наук: 05.13.06 / С. І. Доценко. – Харків, 2017. – 369 с.

2. Dotsenko S. I. Architecture Development of Information System of an Enterprise [Текст] / S. I. Dotsenko, S. S. Kamenskyi // Науковий журнал Системи та технології (правонаступник наукового журналу “Вісник Академії митної служби України. Серія: “Технічні науки”) 2019, № 1 (57). С. 36-46.

УДК 625.1/.5:621.33

к.т.н. Дудін О.А., аспіранти Коваленко І.С., Філімонов О.О.

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

ДЖЕРЕЛА ТА ШЛЯХИ НАВЕДЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ЗМІННОГО СТРУМУ НА ШТУЧНІ СПОРУДИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ТА ІНШІ КОНСТРУКЦІЇ ТА СПОРУДИ.

На ділянках залізниць, електрифікованих змінним струмом, експлуатується дуже значна кількість штучних споруд, будівель, службово-технічних споруд, що мають суттєві пошкодження, що швидко розвиваються. В результаті досліджень встановлено, що блукаючі змінні струми для підземних металевих конструкцій, а також надземних металевих та залізобетонних конструкцій є небезпечними [1].

Причиною утворення блукаючого змінного струму є електрифіковані змінним струмом ділянки залізниць, високовольтні лінії електропередачі та інші джерела змінного струму. Згідно зі схемою живлення ЕРС струм від тягової підстанції надходить у контактний провід, через струмознімач на електродвигуни ЕРС. Рейка служить зворотним проводом, що з'єднує локомотив з тяговою підстанцією. В результаті утворюється замкнутий електричний ланцюг, що і приводить у обертання електродвигуни.

Якщо при цьому під рейковим шляхом знаходяться підземні добре проводять струм споруди, наприклад, металеві кабелі, трубопроводи, інші споруди і комунікації, струм витоку переходить на них і може протікати на великі відстані до місця виходу, що утворюється за рахунок пошкоджень підземної споруди, в більш провідних ґрунтах, поруч з провідних ґрунтах, поруч з провідними ґрунтами, поруч з провідними ґрунтами, поруч з провідних ґрунтів, поруч з спорудами. блукаючим струмом [2].

Особливістю контактної мережі є її розподіл на секції. Розрізняють поперечне (головних шляхів на перегонах та станціях) та поздовжнє (вздовж лінії) секціонування. При цьому в секції виділяють контактну мережу станцій, парків, великих штучних споруд (тунелі, мости, естакади та шляхопроводи). Крім того, за допомогою ізолюючих стиків на своєрідні секції підрозділяються і рейкові шляхи, що виконують у ланцюгах живлення ЕПС функції зворотного проводу.

При проходженні рейкової колії через залізобетонний міст, естакаду або шляхопровід, а також через тунель, струм від рейок через конструкції рейкових скріплень, шпали (або плити безбаласного мостового полотна) перетікає через сталеву або залізобетонну пролітну будову, опорні частини і опори в річку.

При проходженні рейкового шляху по насипу над водопропускною трубою, струм витоку з рейок, пройшовши через рейкові скріплення, шпали, баласт і насип, проходить через конструкції труби у водотік з відповідним виникненням електричних потенціалів на конструкціях [3].

На мостах з прогоновими будівлями у вигляді сталевих ферм або арок контактна мережа знаходиться поблизу конструкцій моста, потенціал і струм витоку можуть потрапити на конструкції прогонової будови через контактну мережу і брудні і мокрі ізолятори (дощ, сніг, заледеніння) [3].

У тунелях контактна підвіска виконується зазвичай у вигляді ланцюгової підвіски з прольотом між точками підвісу несучого троса 15-25 м. Ізолятори зміцнюються на штирях, зароблених у склепінні тунелю. При стисненому габариті роблять поглиблення (ніші) у склепінні тунелю, що дають можливість збільшити висоту кріплення ізоляторів. У цьому випадку відстань від контактного проводу до найближчих конструкцій суттєво зменшується.

Від опор ліній електропередачі ЛЕП у трубопроводах виникає наведений змінний струм у випадках паралельного проходження трубопроводу в одному коридорі з ЛЕП або при перетині ним траси ЛЕП під кутом, що відрізняється від 90°.

Висновки. На ділянках залізниць, електрифікованих змінним струмом, штучні та службово-технічні споруди (мости, тунелі, трубопроводи) піддаються небезпечному впливу блукаючих змінних струмів і наведеного електромагнітного поля, що призводить до швидкого розвитку їхніх пошкоджень. Основним джерелом БЗС є тяговий струм, що витікає з рейок та потрапляє на підземні комунікації або перетікає через конструктивні елементи споруд (шпали, баласт, прогонові будови) у ґрунт/водотік, викликаючи виникнення електричних потенціалів. Крім того, контактна мережа та лінії електропередачі (ЛЕП), розташовані поблизу або паралельно, індукують струми в металевих конструкціях, особливо в місцях порушення ізоляції, що підкреслює необхідність глибших досліджень механізму виникнення цих струмів та їхнього руйнівного впливу на бетон і арматуру для розробки ефективних заходів захисту.

Перелік посилань

1. Plugin A.N. Research of influence of leakage currents and stray currents on railways on buildings and constructions / A.N.Plugin, A.A.Plugin, O.Plugin, O.Dudin, O.Borzyak // 17 Internationale Baustofftagung, 23-26 September 2009, Weimar, Bundesrepublik Deutscland: Tagungsbericht. – Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2009. – Band 2. – P.1151–1156.
2. Технічні вказівки з контролю електричного опору бетону і залізобетонних шпал у заводських та експлуатаційних умовах / УкрДАЗТ; ЦП Укрзалізниці.- Затв.11.12.2008.- Харків; Київ, 2007.- 25 с.
3. Плугин А.Н. Блукаючі струми на конструкціях, будівлях та спорудах, розташованих поблизу електрифікованих постійним струмом ділянках залізниць / А.Н. Плугін, А.А. Плугін, О.А. Калінін, Д.А.Плугін, Ал.А.Плугін, О.А.Дудін, О.С.Борзяк // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: Зб.наук.праць.- Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип.109.- С.131-143.

УДК 65.012.2:658.7:519.86

д.е.н., О.М. Загурський
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУ ПОСТАЧАНЬ БАГАТОКАНАЛЬЕОЇ МЕРЕЖІ З УРАХУВАННЯМ НАДІЙНОСТІ

Оскільки ланцюг постачань визначається безліччю взаємопов'язаних елементів, то його можна розглядати як мережеву логістичну систему, яка, у свою чергу, складається із систем нижчого рівня (мікрологістичних систем) і в той же час є складовою логістичних систем мезо-, макро- та мега-рівня. Для таких систем К.Ку, А. Мен та М. Гох пропонують використовувати модель планування, де для замовника завдання формування мережі постачань переходить у завдання вибору каналів з найменшими витратами за умови дотримання вимог безвідмовності. При цьому зазначається, що аутсорсинг третій стороні може працювати ефективно лише у разі, коли зовнішній координатор може забезпечити низьку вартість передачі знань в ланцюгу постачань. За таких умов безвідмовність можна визначити за формулою найпростішої паралельно-послідовної схеми:

$$1-\prod_{i=1}^{m}\left(1-\prod_{j=1}^{n}P_j\right)\geq P_0;\ \ if X_{ij}\geq 0 \qquad (1)$$

де: n – кількість каналів (постачальників);
m – кількість ланцюгів постачань.

Такі моделі, зазвичай, доповнюються умовами обмежень витрат для роботи системи. Відповідно

математична модель такого завдання має наступний вигляд:

$$S(X) = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} X_{ij} \times Z_j \times C_j; \quad (2)$$

за обмежень:

$\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} X_{ij} \times Z_j = Q_0;$ вимог до об'ємів постачань

$\sum_{i=1}^{m} X_{ij} \times Z_j \leq q_j; \quad j = 1, n$ вимог до потужності каналів постачань

$1 - \prod_{i=1}^{m} \left(1 - \prod_{j=1}^{n} P_j\right) \geq P_0; \; if X_{ij} \geq 0$ вимога до безвідмовності постачань

$Z_j \geq d; \quad j = 1, n$ вимог до мінімального об'єму замовлення

де: $X_{i,j}$ – бінарна змінна (змінна вибору), що приймає значення 0 або 1

Z_j – оптимальний план j-го каналу постачань;

C_j – собівартість j-го каналу постачань;

Q_j – об'єм j-го каналу постачань;

q_j – можливий обсяг (потужність) постачань по j-го каналу.

У цій моделі цільова функція визначає найбільш привабливий ланцюг за мінімумом витрат в якому з n каналів формується мережа m ланцюгів постачань із послідовно-паралельною схемою структурної надійності. Оптимальний план постачання знаходиться в результаті вирішення задачі математичного програмування, де в план оптимізації включена надійність каналу мережі. У такому випадку цільова функція системи може бути записана в наступному вигляді:

$$S(X_0) = \sum_{i=1}^{m\Sigma} \sum_{j=1}^{n\Sigma} (1 - \prod_{j=1}^{n} P_{ij}) X_{ij} \times Z_j \times C_j \to min; \quad (3)$$

за аналогічних обмежень, що і у попередній формулі.

Так, завдання визначення оптимального плану постачань, що забезпечує мінімум витрат 4-х канального ланцюга постачань із послідовно-паралельною схемою структурної надійності за показників та обмежень наданих у табл. 1 можна розв'язати за допомогою редактора Excel «Пошук рішення» (рис. 1).

Таблиця1 **Характеристики багатоканального ланцюга постачань**

	канал 1	канал2	канал3	канал4
Показники роботи каналу				
Собівартість С, грн. од	10	14	11	12
Оптимальний план постачань Z, од	40	80	40	20
Потужність каналу Q, од	200	400	120	80
Надійність постачань, %	90	80	92	95
Обмеження до постачань				
На об'єм постачання	500			
На мінімальний об'єм замовлення	40			
Вимога до безвідмовності	0,2			

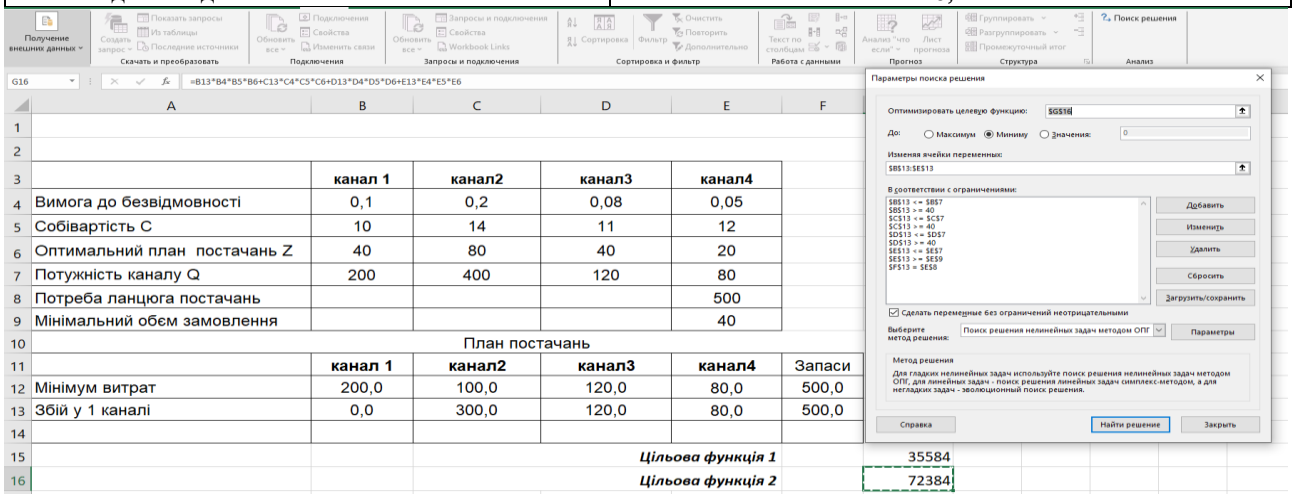


Рис.2 **Розрахунок оптимального плану постачань**

Результати розрахунків показують, що за безвідмовної роботи усіх чотирьох каналів постачань мінімальні витрати постачань 500 одиниць товарів складають 35584 грн. на місяць. А за збоїв у постачаннях першого каналу вони зростають до 72384 грн. проте зберігається необхідна (визначена) надійність постачань. Отже, багатоканальні ланцюги постачань з резервними каналами забезпечують підвищену надійність, стійкість та відновлюваність. Такий підхід дозволяє вирішити задачу не тільки забезпечення необхідної безвідмовності постачань з мінімальними витратами, а й вибрати ланцюг із каналів з найбільшою надійністю. Дана модель є одним із

напрямків у розвитку моделей оптимізації планування постачань з урахуванням надійності (безвідмовності) виконання стратегічних планів та визначення ланцюгів постачань з високою надійністю.

Список використаних джерел

1. Lu, Q., Meng, F., Goh, M. Choice of supply chain governance: Self-managing or outsourcing?, International Journal of Production Economics, Volume 154, 2014, 32-38.

2. Zagurskiy, O., Duczmal,W., Savchenko, L., et al., Models of Formation of Reliability of Supply Chains for the Supply of Agricultural Products. Research on World Agricultural Economy. 2024. 5(3): 14-23.

3. Zagurskyi O., Pokusa T., Duczmal M., Ohiienko M., Zagurska S., Titova L., Rogovskii I. Ohiienko A. Logistics centers: status and development trends. Monograph. Opole: Academy of Applied Sciences Academy of Management and Administration in Opole, 2023. 191.

Залата А.С.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНИМИ УСТАНОВКАМИ АВТОНОМНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Інтегральний коефіцієнт ефективності є показником, що дозволяє комплексно оцінити роботу інтелектуальної системи керування дизель-генераторною установкою у порівнянні з класичною схемою. Його ключова перевага полягає у можливості узагальнити різні за природою критерії (паливну економічність, стабільність напруги, сталість частоти обертання та екологічні характеристики) в єдине числове значення, яке відображає загальний рівень покращення. У традиційних підходах ці показники аналізуються окремо, що ускладнює формування інтегральної оцінки. Запровадження єдиного коефіцієнта дозволяє усунути цю проблему та створити інструмент для об’єктивного порівняння [1, 2].

Формально коефіцієнт визначається як середнє відносне покращення сукупності параметрів

$$K_{eff} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Q_{i,classical} - Q_{i,\mathrm{int}elligent}}{Q_{i,classical}} \times 100\%\right) \quad (1)$$

де $Q_{i,classical}$ – значення і-го показника для класичної системи,

$Q_{i,\mathrm{int}elligent}$ – відповідне значення для інтелектуальної системи,

Q_i – значення i-го показника (питома витрата палива, стабільність напруги, стабільність частоти обертання, рівень викидів),

n – кількість показників.

Таким чином, кожен окремий параметр робить свій внесок у загальний результат, і жоден аспект функціонування не залишається поза увагою.

У сценарії змінного навантаження, коли потужність коливалася у діапазоні від 30 до 100 % номінального значення, було зафіксовано зменшення питомої витрати палива на 6,28 %, зниження відхилень напруги на 27,78 %, стабілізацію частоти обертання на рівні 33,33 % та зменшення викидів NO_x на 9,62 %. Обчислений інтегральний коефіцієнт ефективності для цього режиму становив 19,75 %. Саме ця величина узагальнює усі зазначені покращення і дозволяє представити результати не у вигляді розрізнених чисел, а як єдиний кількісний показник.

У другому сценарії, що моделював різкий стрибок навантаження на 50 % протягом часу менше однієї секунди, інтегральний коефіцієнт склав 20,57 %. Це значення є вищим, ніж у попередньому випадку, і воно відображає підвищену здатність інтелектуальної системи підтримувати стабільність у динамічних режимах. Важливо підкреслити, що числове значення коефіцієнта демонструє не лише окремі покращення, але й інтегральну реакцію системи на складні перехідні процеси.

У третьому сценарії, що передбачав роботу дизель-генераторної установки в умовах зниженого атмосферного тиску до 70 кПа, підвищеної температури довкілля до +45 °С та поступового зношення паливної апаратури, інтегральний коефіцієнт ефективності досягнув 19,58 %. Це свідчить про те, що навіть за екстремальних умов експлуатації інтелектуальна система зберігає стійкі переваги. Окремі показники, такі як скорочення питомої витрати палива на 7,08 % та зменшення викидів оксидів азоту на 10,34 %, у сукупності формують узагальнене значення, яке підтверджує комплексний ефект застосування нового підходу.

Завдяки введенню інтегрального коефіцієнта стає можливим кількісно порівнювати різні режими експлуатації без втрати інформації про важливі технічні та екологічні параметри. Середнє значення цього показника за всіма випробуваними сценаріями становить близько 20 %, що можна інтерпретувати як універсальний індикатор загального рівня покращення. На відміну від аналізу окремих характеристик, інтегральний коефіцієнт

дозволяє зробити однозначний висновок про ефективність системи у цілому.

У контексті практичного застосування інтегральний коефіцієнт ефективності набуває особливого значення, оскільки він відображає не лише технічні, але й економічні наслідки впровадження інтелектуальної системи. Зменшення питомої витрати палива безпосередньо впливає на зниження експлуатаційних витрат, а стабілізація режимів роботи зменшує потребу у технічному обслуговуванні. Тому інтегральний показник може розглядатися як універсальний критерій, що поєднує енергетичну, екологічну та економічну складові у єдину числову оцінку.

1. *Tavazoei, M. S. Notes on integral performance indices in fractional-order control systems. Control Engineering Practice. Amsterdam: Elsevier, 2010. – 18(3). – P. 285–293.*

2. *Zou, Y., Xiao, B., Qian, J., Xiao, Z. Design of Intelligent Nonlinear Robust Control Strategy of Diesel Generator-Based CPSOGSA Optimization Algorithm. Processes. Basel: MDPI, 2023. – 11(7). – 1867. – 22 p.*

УДК 656.225:629.1

К.т.н. В.М. Запара,
аспірант С.Г. Сеник,
аспірант Ю-Н.І. Боровець
студент В.В. Шаталін
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ТА ПРАВОВІ АСПЕКТИ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ ЗА ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ

Наразі залізничний транспорт України проходить непростий етап реформування в умовах широкомасштабної агресії російської федерації. В цей період все більш актуалізуються та потребують подальшого розвитку питання інтеграції вітчизняної залізниці на основі європейського досвіду. Перехід на європейські технічні стандарти орієнтовно обійдуться країні в астрономічну суму 160 млрд дол. США [1], частина ж цих ресурсів повинна бути використана для вирішення певних проблем інтероперабельності (технічної сумісності) залізниці України і транспортного простору країн ЄС.

В умовах широкомасштабної війни пріоритетна увага приділяється питанням технічної сумісності та інтеграції у європейську мережу, а саме: розвиток (тобто побудова, модернізація) європейської ширини колії (1435 мм) на діючій мережі ширини колії 1520 мм (суміщення мереж), а також впровадження ERTMS – Європейська система управління залізничним рухом. В планах є підвищення пропускної спроможності залізничних напрямів, пріоритетно до прикордонних переходів з країнами ЄС. Впровадження ERTMS сприятиме підвищенню рівня безпеки перевезень із-за стабільності зв`язку між поїзними локомотивами та диспетчерами, дозволить зменшити затримку під час передачі сигналів, поліпшить можливість керування рухом поїздів on-line.

FRMCS – мережа радіозв`язку залізничного транспорту має призначення забезпечити функціонування станційного, поїзного, ремонтно-оперативного радіозв`язку і управління рухом поїздів, а в перспективі – бортове і приколійне відеоспостереження, мультимедійні технологічні відеопотоки (тобто відеодані від дверей поїзда, із залізничного переїзду тощо) [2]. Реалізація такої мережі радіозв`язку на залізниці України передбачає необхідність створення інфраструктури мережі FRMCS лише тільки вздовж головних і станційних колій на території магістральних станцій, а також вздовж перегонів, які з`єднують ці станції. Саме реалізація ERTMS, що складається з системи управління рухом поїздів, а також системи радіозв`язку для залізниці (відповідно стандарту GSM-R чи майбутньої FRMCS) передбачається регламентом Єврокомісії 2016/919/ЄС щодо технічної специфікації інтероперабельності, яка стосується підсистем управління, контролю і сигналізації залізничної системи в ЄС від 27.05.2016, а ще Директивою 2016/797/ЄС Європарламенту і Ради щодо сумісності залізничної системи.

ERTMS буде поступово впроваджуватись першочергово на залізничній інфраструктурі з євроколією (1435 мм). Однак при цьому важливими моментами процесу інтеграції залізничних мереж має стати синергія між інфраструктурними мережами України з різною шириною колії (1520 та 1435 мм) для уникнення можливості фрагментації залізничної транспортної системи.

Слід підкреслити, що на сьогодні більшість нормативно-правових актів, які вирішують питання інтероперабельності залізничного транспорту України до європейської системи, потребують суттєвого доопрацювання та, головне, саме впровадження. За оцінками прогрес у виконанні Угоди про асоціацію в транспортній сфері не перевищує і 58%.

Звичайно, що інтеграція до європейської системи вимагає досить зважених підходів: не зациклюватись на масовому переході на євроколію 1435 мм (це дуже дорого і не має сенсу в технологічному аспекті – перевезення вантажів наявною колією 1520 мм ефективніше (наразі в

Україні поширена вага вантажного поїзда 5…6 тис. т, а в Європі – не перевищує 2 тис. т), різниця стандартів відчутна і для пасажирів – їм комфортніше у ширших вітчизняних вагонах (3,20 та 3,50 м), ніж у вузьких європейських – 2,80 м. Вважається доцільним більш активно нарощувати потужності перевалки та реально стимулювати контейнеризацію, а також зосередитись на подальшому реформуванні АТ «Укрзалізниця» і активніше проводити адаптування залізничної галузі до чинних вимог ринку перевезень Європи.

Досить важливим аспектом євроінтеграції залізниці України є актуалізація транспортного законодавства щодо гармонізації вітчизняної системи залізничного транспорту з транспортним простором ЄС. У цьому напрямі передбачено до кінця 2025 року розробити законопроєкт «Про безпеку руху та інтероперабельність залізничного транспорту» [3].

До цього часу досить не просто розвивалась ситуація із законодавчою базою залізниці України. Закон України «Про залізничний транспорт» безсумнівно потребує оновлення, але вже оновлений проєкт 2018 року не був затверджений Верховною Радою України, а наступний законопроєкт «Про систему та особливості функціонування ринку залізничного транспорту України» знято з розгляду. Виходячи з цього Мінрозвитку прийняв рішення знятий законопроєкт розділити на два окремі документи: пріоритетно підготувати проєт щодо питань безпеки і технічного регулювання на залізничному транспорті для забезпечення імплементації положень Директив і Регламентів ЄС саме в цій сфері, а в подальшому підготувати законопроєкт, який буде передбачати відкриття ринку перевезень залізницею у відповідності до європейської моделі.

Перелік посилань

[1] - Запара В.М., Оленюк В.О., Тимошенко І.О. Технічні специфікації з інтероперабельності та їх упровадження у швидкісному русі на залізницях України. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. - 2017. - Випуск 173. - С. 12-20.

[2] - УЗ впровадить європейську систему управління залізничним рухом. – URL: https://www.railinsider.com.ua/uz-vprovadyt-yevropejsku-systemu-upravlinnya-zaliznychnym-ruhom-ertms/ (дата звернення – 22.09.2025)

[3] - Мінрозвитку проводить електронні консультації щодо законопроєкту «Про безпеку та інтероперабельність залізничного транспорту України». – URL: https://www.railinsider.com.ua/minrozvytku-provodyt-elektronni-konsultacziyi-shhodo-zakonoproyektu-pro-bezpeku-ta-interoperabelnist-zaliznychnogo-transportu-ukrayiny/ (дата звернення – 22.09.2025)

УДК 656.2

к.т.н., доцент Я.В. Запара
аспірант В.К. Панченко
аспірант Р.І. Боровець
Український державний університет залізничного транспорту, (м. Харків)

ФОРМУВАННЯ ЄДИНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ УЧАСНИКІВ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Мультимодальні перевезення є ключовим елементом сучасних транспортно-логістичних систем, де задіяно два або більше видів транспорту для ефективного транспортування вантажів. Процеси цифровізації та діджиталізації відіграють вирішальну роль на стиках видів транспорту, сприяючи їх взаємодії в інтелектуальних транспортних системах. Центральною темою дослідження є формування єдиного інформаційного простору, який інтегрує дані між учасниками ринку — логістичними операторами, перевізниками та клієнтами, усуває бар'єри та прискорює прийняття рішень. Це створює основу для інноваційних сервісів, підвищує ефективність і сприяє сталому розвитку глобальних ланцюгів постачання.

Терміни "цифровізація" (digitisation) та "діджиталізація" (digitalisation) визначаються провідними науковими джерелами. Цифровізація — це процес перетворення аналогових форм у цифрові, тоді як діджиталізація передбачає використання цифрових технологій для зміни бізнес-моделей і створення нових можливостей для доходу. Цифровізація визначається як конверсія аналогових даних у цифрову форму, а діджиталізація — як зростання використання цифрових технологій організаціями чи галузями. Ці етапи формують інтегративні трансформації: від початкової цифровізації з фрагментарними змінами до стратегічної інтеграції технологій на етапі цифрової трансформації, з акцентом на розширення функціоналу онлайн-систем.

Єдиний інформаційний простір у мультимодальних перевезеннях реалізується через уніфіковані системи управління транспортом (TMS), які інтегрують дані від різних учасників. У Європі, зокрема, Європейська комісія просуває платформу European Multimodal Transport Information Platform (EMTIP) [3], що забезпечує обмін даними між національними системами, оптимізує маршрутизацію та відстеження вантажів у реальному часі. У дослідженні для міста Роттердам

(Нідерланди) інтеграція даних через EMTIP підвищила ефективність портових операцій на 30% за рахунок синхронізації залізничного, морського та автомобільного транспорту. В Україні проєкт "Державна транспортна інформаційна система" (ДТІС) спрямований на створення централізованого реєстру перевезень, що полегшує координацію між Укрзалізницею, автоперевізниками та митними органами, зменшуючи затримки на 15-20% у пілотних регіонах.

Цей простір також включає інтеграцію просторових даних з різних джерел для створення мультимодальної міської транспортної мережі (MUTN). В Україні подібний підхід може бути адаптований у містах, таких як Київ, де інтеграція даних громадського транспорту з логістичними потоками могла б зменшити затримки на перехрестях, як зазначено в дослідженнях О. Білецької [1] щодо теорії Пуассона.

Сталість транспорту досягається завдяки моделям реального часу, що включають телеметрію, операційні показники терміналів та цінові фактори. В Україні проєкт "Електронна черга" [2] на митницях є кроком до інтеграції даних для уникнення перевантажень, а пілотні тести показали скорочення часу митного оформлення на 25%. Інструменти, такі як штучний інтелект, IoT та API, забезпечують впорядкування інформації, усунення шумів і прискорення рішень.

У якості мети інноваційних концепцій для логістичних операторів та мультимодальних перевізників пропонуються різноманітні підходи. Для операторів мета — інтеграція даних через TMS за європейськими стандартами, такими як EMTIP [3], для екологічних інновацій. Для перевізників — створення гнучких моделей із партнерськими середовищами, де спільні ланцюги цінності базуються на довірі та інтеграції даних. Ці концепції забезпечують незворотність трансформацій і перехід до цифрової трансформації.

Формування єдиного інформаційного простору є стратегічним напрямком розвитку мультимодальних перевезень, що сприяє інтеграції даних, підвищенню ефективності та сталому розвитку. Інноваційні підходи, адаптовані до європейського та українського контексту, забезпечують конкурентні переваги для учасників ринку.

Література

1. O. Bieletska, Ye. Liubyi, S. Ocheretenko, D. Muzylyov, V. Ivanov, I. Pavlenko, Approach to Determine Transport Delays at Unsignalized Intersections. Communications – Scientific Letters of the University of Zilina, 25(3), 124–136 (2023).

2. Y. Zapara, A. Nechyporuk, M. Kotova, L. Mazhnyk, V. Panchenko, I. Vasylenko, Innovative concepts of digitisation and digitalisation in the multimodal transportation organisation. E3S Web of Conferences 621, 03014 (2025).

3. European Commission. European Multimodal Transport Information Platform (EMTIP). Available at: https://transport.ec.europa.eu (accessed 21.09.2025).

УДК 656.25

к.т.н. Змій С.О., аспірантка Алмамедова Мехрібан Гусейнага гизи

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНТРОЛЮ СТРІЛОЧНИХ ДІЛЯНОК ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМ РАХУНКУ ОСЕЙ

Забезпечення безпеки руху поїздів та максимальної пропускної спроможності залізничних станцій є ключовими завданнями систем залізничної автоматики та телемеханіки. Традиційним методом контролю вільності колійних ділянок є використання рейкових кіл, де колійний розвиток станції поділяється на ізольовані секції за допомогою ізолюючих стиків. Цей підхід має суттєві недоліки: ізолюючі стики є ненадійними елементами колійної інфраструктури, вимагають встановлення додаткової апаратури для пропуску тягового струму та не дозволяють точно визначити місцезнаходження рухомого складу (РС) в межах контрольованої ділянки. Особливо гостро ця проблема постає на стрілочних переводах, де для гарантування безпеки руху встановлюється граничний стовпчик. Якщо через конструктивні особливості колії ізолюючий стик є негабаритним, тобто встановлений на відстані менше 3.5 м від граничного стовпчика, виникає ситуація небезпечної невизначеності. Система фіксує зайнятість усієї ділянки, навіть якщо РС фактично звільнив простір біля граничного стовпчика, що унеможливлює рух по суміжному маршруту і значно знижує пропускну спроможність станції. [1, 2]

Частково ці недоліки усуваються в сучасних мікропроцесорних системах контролю вільності ділянок колії методом рахунку осей, які не потребують ізолюючих стиків. Такі системи використовують колійні датчики (рахункові пункти) для підрахунку осей РС, що в'їжджає на ділянку та виїжджає з неї. Однак, попри вищу надійність, ці системи успадковують ключовий недолік рейкових кіл: вони контролюють вільність ділянки в цілому, але не надають інформації про точне положення РС відносно критичних точок, таких як граничний

стовпчик. Таким чином, проблема блокування суміжних маршрутів при зайнятості негабаритних ділянок залишається невирішеною, що вимагає додаткових перевірок умов безпеки та обмежує ефективність використання станційної інфраструктури. [3]

В основу запропонованого способу покладено задачу усунення вказаної невизначеності шляхом створення системи точного контролю місцезнаходження РС безпосередньо в зоні граничного стовпчика. Задача вирішується шляхом розміщення точкових колійних датчиків (рахункових пунктів) на відстані 3.5 м від граничного стовпчика в кожному напрямку руху по стрілочному переводу. Ці датчики створюють коротку, високоточну контрольну мікро-ділянку, що охоплює виключно зону граничного стовпчика. Інформація про кількість осей, що прослідувала через кожен датчик, у реальному часі надходить до підсистеми забезпечення безпеки, яка інтегрована з центральною системою електричної централізації (ЕЦ) станції.

Технологія роботи системи полягає в наступному. Підсистема забезпечення безпеки безперервно аналізує дані з пари точкових датчиків. Шляхом порівняння кількості осей, що увійшли в мікро-ділянку та вийшли з неї, система з абсолютною точністю визначає її стан: «вільно» або «зайнято». У разі, якщо хоча б одна вісь РС знаходиться між датчиками, що свідчить про фактичне перебування РС в зоні граничного стовпчика, підсистема негайно блокує можливість руху поїздів по ворожому маршруту через стрілочний перевід, вмикаючи на відповідних світлофорах заборонне показання. Як тільки остання вісь РС звільняє мікро-ділянку, система фіксує її вільний стан і передає дозвіл до системи ЕЦ для встановлення раніше заблокованого маршруту.

Впровадження запропонованого способу дозволяє досягти значних переваг. По-перше, повністю виключається необхідність у використанні ненадійних ізолюючих стиків, рейкових кіл та апаратури для обходу тягового струму. По-друге, усувається сама проблема негабаритних колійних ділянок та пов’язана з нею необхідність у додаткових перевірках безпеки. Найголовніше, система надає змогу фактично визначати місцезнаходження РС в критичній зоні стрілочного переводу. Це дозволяє системі ЕЦ приймати рішення, що базуються на реальній дорожній обстановці, а не на консервативних припущеннях. Завдяки цьому стає можливим виконувати переміщення по протилежному положенню стрілочного переводу одразу після фактичного звільнення зони граничного стовпчика, що призводить до суттєвого збільшення пропускної спроможності залізничних станцій та підвищення загального рівня безпеки руху.

Перелік посилань

4. Автоматизовані системи керування рухом поїздів на станціях : навчальний посібник / В. І. Мойсеєнко, В. О. Сотник, С. О. Змій, О. В. Щебликіна. - Харків : УкрДУЗТ, 2024. - 184 с.
5. Theeg G., Vlasenko S. (Eds.). Railway Signalling & Interlocking: International Compendium. 3rd ed. Hamburg : PMC Media House, 2019. 552 p.
6. Pachl J. Railway Signalling Principles. 2nd ed. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2021. 100 p.

УДК 004.93:625.1

доктор філософії ***О.І. Іванюк,*** *аспірант* ***В.Ю. Орлов*** *(УкрДУЗТ)*

СИНТЕТИЧНИЙ НАБІР ДАНИХ ДЛЯ НАВЧАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІЙ

У сучасних умовах зростання ризиків терористичних актів і аварій на залізничному транспорті особливого значення набувають системи автоматизованого моніторингу стану колій. Перспективними є підходи, що залучають сучасні методи машинного навчання [1]. Ефективність таких систем істотно залежить від якості навчальних даних для моделей комп’ютерного зору. Традиційні способи збирання даних шляхом створення реалістичних сцен (фізичне розміщення предметів на коліях) є трудомісткими, дорогими, потенційно небезпечними та погано масштабованими.

У роботі запропоновано підхід до формування синтетичного набору даних (СНД) [2] для навчання моделей машинного навчання, що без втручання в реальну інфраструктуру забезпечує отримання великих масивів навчальних зображень залізничних колій із фізично коректним розміщенням і масштабуванням небезпечних предметів у міжрейковому просторі. Показано, як із публічно доступних відео та зображень із відкритими ліцензіями побудувати працездатний генератор синтетичних сцен для формування СНД.

На першому етапі було сформовано базовий набір реалістичних зображень залізничної колії (ЗЗК). Для цього на платформі YouTube відібрано відеозаписи з відкритими ліцензіями, зняті з кабін локомотивів, із забезпеченням різноманітності умов: пори року, погодні умови, час доби, ландшафти, оточення (міське середовище, природні ділянки тощо), а також типи інфраструктури (одно-, дво- та

багатоколійні лінії, тунелі, мости). Із відео отримували зображення шляхом відбору кожного 300-го кадру. Для кожного кадру створювалися бінарні маски, що відокремлювали рейки від фону; це досягалося комбінацією порогової обробки, морфологічних операцій, виокремлення контурів і, за потреби, фінального ручного коригування.

Другим етапом стало формування набору зображень об'єктів (ЗО), які потенційно можуть потрапляти на колії. Складено перелік із 45 категорій, що охоплюють як небезпечні предмети (гілки, повалені дерева, каміння, металобрухт, металеві деталі тощо), так і об'єкти з меншою загрозою, але такими, що можуть з'являтися на коліях (для зменшення хибних спрацьовувань моделі, що навчатиметься). Для кожної категорії оцінено відносний розмір об'єкта щодо ширини колії (наприклад, для алюмінієвої банки – 0,06; для автомобіля – 2,1). Далі виконано автоматизований пошук і завантаження зображень з відкритими ліцензіями за допомогою Google Custom Search API. Отримані зображення попередньо обробляли: видаляли фон і вписували об'єкт у квадрат 200×200 пікселів.

Третім етапом було накладання ЗО на ЗЗК. Розміщення здійснювалося в міжрейковому просторі, на рейках і поза їхніми межами. Точне місце накладання визначалося випадково, однак із обов'язковим збереженням пропорцій об'єкта відносно сцени. Для цього на бінарній масці ЗЗК для рядка кадру, що відповідає випадково обраній глибині накладання, вимірювалася відстань між рейками (у пікселях) як локальний масштаб; на підставі заздалегідь заданого для категорії відношення «розмір об'єкта / ширина колії» обчислювався потрібний розмір об'єкта. Перед накладанням до ЗЗК та ЗО застосовувалася аугментація. Паралельно формувалася бінарна маска підсумкового зображення, на якій позначався об'єкт; у метаданих маски зазначалося, до якої категорії він належить і чи розміщено його у небезпечному місці (на рейках або в міжрейковому просторі).

Технічну реалізацію виконано мовою Python із використанням бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV для обробки зображень, пакета rembg для видалення фону з об'єктів і бібліотеки Albumentations для аугментації.

Описаний підхід дає змогу, спираючись на тисячі ЗЗК і ЗО з відкритих джерел, синтезувати СНД із сотнями тисяч анотованих об'єктів із фізично коректним масштабуванням. Подальший розвиток передбачає розширення переліку категорій об'єктів, фіксацію окремих технік аугментації для відповідних категорій, уточнення масштабування через калібрування камери та моделювання контактних тіней.

Список використаних джерел

1. Іванюк О. І. Масштабоване рішення для автоматизованого моніторингу залізничних колій за допомогою БПЛА на основі згорткових нейронних мереж, навчених на синтетичних даних. *Тези стендових доповідей та виступів учасників 37-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»*, м. Харків, 10–11 жовт. 2024 р. Харків: УкрДУЗТ, 2024. С. 20–21.

2. Dwibedi D., Misra I., Hebert M. Cut, Paste and Learn: Surprisingly Easy Synthesis for Instance Detection. *2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, Venice, 22–29 October 2017. 2017. URL: https://doi.org/10.1109/iccv.2017.146 (date of access: 01.10.2025).

Індик С.В., Thierry Horsin

Дослідження методів багаторівневої кластеризації для підвищення ефективності телекомунікаційних систем з розподіленою обробкою даних

Сучасні телекомунікаційні системи, зокрема 5G, 6G, а також мережі Інтернету речей і Smart City, відзначаються високою динамічністю топології, неоднорідністю трафіку та зростаючими вимогами до якості обслуговування. У таких умовах традиційні методи керування потоками даних і розподілу ресурсів поступово втрачають ефективність. Для підвищення продуктивності, масштабованості та відмовостійкості розглядаються нові підходи до структуризації й самоорганізації мережі. Одним із таких напрямів є методи багаторівневої ієрархічної кластеризації.

У наукових дослідженнях значна увага приділяється принципам побудови багаторівневих структур управління, які дозволяють формувати локальні, регіональні та глобальні рівні керування. Така організація сприяє зменшенню навантаження на центральні вузли, рівномірному розподілу

обчислювальних задач і забезпечує масштабованість мережі у випадку зростання кількості користувачів та пристроїв.

Одним із ключових інструментів дослідження виступають графові моделі, у яких вузли відповідають мережевим елементам, а ребра — каналам зв'язку з їх характеристиками. Кластеризацію в такій постановці можна розглядати як задачу пошуку оптимальних спільнот у графі з урахуванням пропускної здатності, затримки та надійності каналів. Використання графових моделей дозволяє інтегрувати статичні властивості мережі з актуальними параметрами трафіку та робить процес аналізу більш прозорим і формалізованим.

У сучасних роботах активно вивчаються можливості застосування графових нейронних мереж (GNN) для кластеризації. Цей підхід дозволяє поєднати локальні характеристики вузлів із глобальною структурою мережі. На основі історичних даних GNN здатні передбачати оптимальні структури кластерів, швидко адаптуватися до змін навантаження та забезпечувати самонавчання системи. Це робить їх перспективним інструментом для роботи в динамічних і невизначених умовах.

Таким чином, дослідження методів багаторівневої ієрархічної кластеризації є перспективним напрямом досліджень у галузі телекомунікаційних систем з розподіленою обробкою даних. Вони здатні забезпечити масштабованість, адаптивність і ефективність мереж, а також створюють основу для подальшого розвитку інтелектуальних алгоритмів розподілу потоків, оптимізації обчислювальних ресурсів та реалізації концепції самокерованих мереж.

УДК 656.254:621.396

PhD О.В. Щебликіна , аспірант Р.М. Кабин
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

УНІФІКОВАНА АРХІТЕКТУРА ГІБРИДНИХ ОПТОВОЛОКОННО-РАДІОЧАСТОТНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ЗАСТОСУНКУ

В умовах повномасштабної війни та подальшої повоєнної відбудови роль залізничного транспорту для України набула стратегічного значення. Масштабні руйнування інфраструктури, з одного боку, та курс на європейську інтеграцію, з іншого, створюють унікальне вікно можливостей для технологічного стрибка. Замість відновлення застарілих аналогових систем зв'язку, "Укрзалізниця" має змогу впровадити передову комунікаційну архітектуру, що відповідає майбутнім стандартам європейських залізниць. Глобальним трендом сьогодні є перехід від стандарту GSM-R, що базується на технології 2G і термін підтримки якого добігає кінця, до Системи мобільного зв'язку майбутнього для залізниць (Future Railway Mobile Communication System, FRMCS) на основі технології 5G. Актуальність цього переходу для України підкріплюється нещодавнім рішенням Кабінету Міністрів України про виділення необхідних смуг радіочастот для потреб FRMCS, що створює міцну регуляторну основу для модернізації.

Пропонована у доповіді уніфікована архітектура є гібридною системою, що поєднує два технологічні шари: високошвидкісну транспортну мережу на основі технології "Радіо-по-волокну" (Radio-over-Fiber, RoF) та рівень радіодоступу на базі 5G-R (5G for Railways). Технологія RoF, що передбачає передачу радіочастотних сигналів безпосередньо по волоконно-оптичному кабелю, ідеально підходить для лінійної топології залізниць. Вона забезпечує абсолютну стійкість до потужних електромагнітних завад від контактної мережі та тягового рухомого складу, має надзвичайно низьке затухання сигналу та дозволяє реалізувати архітектуру централізованої мережі радіодоступу (C-RAN). У такій моделі складне та дороге обладнання для обробки сигналів (Baseband Units, BBU) консолідується в захищених центральних вузлах, а вздовж колій розміщуються лише прості та надійні виносні радіомодулі (Remote Radio Heads, RRH). Це кардинально спрощує технічне обслуговування, знижує експлуатаційні витрати та підвищує загальну надійність системи.

Рівень радіодоступу на базі 5G-R надає гнучкі можливості для підтримки широкого спектра залізничних сервісів. Ключовою перевагою 5G є технологія сегментації мережі (Network Slicing), яка

дозволяє створювати на базі єдиної фізичної інфраструктури кілька віртуальних, логічно ізольованих мереж з різними характеристиками.

Впровадження уніфікованої гібридної оптоволоконно-радіочастотної мережі є стратегічним імперативом для України. По-перше, це забезпечує повну технічну сумісність (інтероперабельність) з європейською залізничною системою, що є обов'язковою умовою для повноцінної інтеграції в транс'європейську транспортну мережу (TEN-T) та усунення логістичних вузьких місць на кордонах з ЄС. По-друге, це створює технологічну основу для всеосяжної цифрової трансформації залізниці, підвищення її ефективності, безпеки та конкурентоспроможності. Використання глобального стандарту 5G, на відміну від нішевого GSM-R, надає доступ до широкої екосистеми виробників, що знижує сукупну вартість володіння та ризики, пов'язані з ланцюгом постачання. Таким чином, повоєнна відбудова надає унікальний шанс не просто відновити зруйноване, а збудувати "краще, ніж було", перетворивши українську залізницю на одного з технологічних лідерів у Європі.

Перелік посилань

1 Впровадження мережі радіозв'язку FRMCS для залізниці дасть змогу підвищити безпеку перевезень – НКЕК // Інтерфакс-Україна. 2024. URL: https://interfax.com.ua/news/general/1066085.html (дата звернення: 20.09.2025).

2 Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) : brochure / International Union of Railways. 2020. URL: https://uic.org/IMG/pdf/brochure_frmcs_v2_web.pdf (дата звернення: 20.09.2025).

3 Design of an FRMCS 5G E2E System for Future Rail Operation : Study Report / Ericsson, Deutsche Bahn. 2021. URL: https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/StudyReport_Ericsson_DB_FRMCS_5G_Design.pdf (дата звернення: 20.09.2025).

УДК 656.2:004.932.2

здобувачі освіти Шмонін Є.О., Калашник М.О.

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

АВТОМАТИЗОВАНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ВАГОНІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ

Ручна ідентифікація номерів вагонів ("списування") є ключовим вузьким місцем у залізничній логістиці, що призводить до операційних помилок, обмежує пропускну здатність та створює значні ризики для безпеки персоналу. Комп'ютерний зір на основі глибокого навчання пропонує трансформаційне рішення, що дозволяє перейти до гнучкої, інтелектуальної системи моніторингу з високою точністю та швидкістю, одночасно знижуючи витрати та підвищуючи безпеку. Попри унікальні виклики, пов'язані з деградованими та нестандартизованими даними, сучасні архітектури глибокого навчання здатні забезпечити надійне розпізнавання номерів, пропонуючи значну рентабельність інвестицій та створюючи платформу для майбутньої цифрової трансформації залізниць.

У доповіді запропонована система, яка працює як багатоетапний конвеєр. В основі лежать згорткові нейронні мережі (CNN), які автоматично вивчають необхідні ознаки з зображень. На практиці часто використовується гібридний підхід: швидкий детектор YOLO для локалізації номера в реальному часі та більш точна архітектура ResNet для розпізнавання самих символів.

Основна складність полягає в низькому співвідношенні сигнал/шум, на відміну від стандартизованих автомобільних номерів. Ключові виклики включають операційні змінні (погодні умови та освітлення (день/ніч), деградація та невідповідність (номери вагонів не мають єдиного стандарту, часто є вицвілими, вкритими брудом, іржею або пошкодженими). Критичною проблемою є трафаретні (сегментовані) номери, які збивають з пантелику стандартні алгоритми OCR. Система використовує багатоетапну архітектуру для послідовного зменшення невизначеності. Для досягнення швидкості обробки в реальному часі (<1.5 секунди на вагон) необхідне використання графічних процесорів з технологією CUDA.

Проведені дослідження демонструють високу точність розпізнавання, що сягає 95-99% за сприятливих умов. Справжня цінність системи полягає в її інтеграції з системами управління залізницею, що дозволяє створити "цифрового двійника" станції та автоматизувати логістичні процеси в реальному часі. Та ж інфраструктура може бути використана для додаткових завдань, як-от виявлення пошкоджень або класифікація типів вагонів.

Таким чином, автоматизоване розпізнавання є не просто заміною ручної праці, а фундаментальним елементом для реалізації концепції «Індустрії 4.0» для залізниць. Ця технологія є ключовою передумовою для подальшої автоматизації, включаючи розумну логістику та автономну маневрову роботу, забезпечуючи перехід до цифрової та, врешті-решт, автономної залізничної системи.

Список літератури

1. Федосова І. В., Подольніков І. В., Гальчук Д. С. Розпізнавання державних номерів транспортних засобів за допомогою згорткової нейронної мережі. Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки. 2021. Вип. 43. С. 15–21 https://doi.org/10.32782/2225-6733.43.2021.2
2. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. Proceedings of the 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Las Vegas, 2016. P. 779–788 https://doi.org/10.23939/cds2024.03.123

Afif M., Said Y., Atri M. Computer vision algorithms acceleration using graphic processors NVIDIA CUDA. Cluster Computing. 2020. Vol. 23. https://doi.org/10.23939/cds2024.03.123

УДК 621.391

***Збігнев Лукасік**, д.т.н., професор, Університет імені Казимира Пуласького (Польща)*
***Ковтун І.В.,** к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)*

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНВЕРСІЇ YUV (NV12) У RGB ЗАСОБАМИ WEBGL

В умовах стрімкого зростання використання відеоконтенту у веб-додатках, ефективна обробка та відображення відеоданих стають критично важливими завданнями. Актуальність дослідження обумовлена широким використанням формату YUV (NV12) у сучасних відеокодеках, пристроях захоплення та обробки зображень, у той час як веб-браузери та графічні інтерфейси відображення працюють з моделлю RGB. Це створює необхідність конвертації кольорового простору у режимі реального часу, особливо критичну для відео високої роздільної здатності та потокової передачі мультимедійних даних. Традиційні програмні методи перетворення характеризуються високим навантаженням на центральний процесор, що обмежує продуктивність веб-додатків і знижує швидкість обробки графічної інформації, підкреслюючи необхідність використання апаратного прискорення на графічному процесорі (GPU) та паралельної обробки даних.

Робота присвячена теоретичному аналізу високоефективного методу конвертації кольорового формату YUV (NV12) у RGB із використанням WebGL і можливостей GPU. Теоретичні основи методу передбачають застосування фрагментних і вертексних шейдерів для паралельної обробки пікселів, оптимізацію передачі даних між CPU та GPU та раціональний розподіл обчислювальних ресурсів для забезпечення високої продуктивності та точності перетворення кольору. Архітектура алгоритму враховує специфіку роботи сучасних графічних процесорів та дозволяє узгоджено трансформувати компоненти Y, U та V формату NV12 у формат RGB без втрати колірної точності та деталізації зображення.

Теоретичний аналіз підкреслює перспективність застосування паралельної обробки на GPU для підвищення ефективності веб-додатків та мультимедійних систем. Розглянуто можливість масштабування алгоритму для відео різної роздільної здатності, адаптації до сучасних графічних архітектур і оптимізації обчислювальних потоків у реальному часі. Отримані теоретичні висновки, що підтверджують значущість розробки методів високопродуктивної обробки відеоданих із врахуванням апаратного прискорення, що відкриває перспективи для подальшого розвитку моделей конвертації кольорових просторів та оптимізації веб-технологій відтворення графіки.

Список використаних джерел

1. Ma D. A Video Transmission optimization Scheme for Web-based Cloud Desktop Protocol / D. Ma, Y. Kou // 2023 9th International Symposium on System Security, Safety, and Reliability (ISSSR), 2023. – С. 376-385.
2. Gunkel S.N. From 2d to 3D video conferencing: Modular RGB-D capture and reconstruction for interactive natural user representations in immersive extended reality (XR) communication / S.N. Gunkel, S. Dijkstra-Soudarissanane, H.M. Stokking, O.A. Niamut // Frontiers in Signal Processing. – Vol. 3, 2023.

УДК:504.656

к.т.н., доцент Д.С. Козодой
Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

ПИТАННЯ ВПЛИВУ ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ ДОВКІЛЛЯ

THE ISSUE OF THE IMPACT OF TRANSPORT TECHNOLOGIES ON THE ENVIRONMENTAL SAFETY

Стан навколишнього середовища, в якому обслуговується та експлуатується транспортна система України, залишається предметом серйозної стурбованості фахівців як екологічного, так і транспортного профілю. Розвиток і зростання транспорту, включаючи нові транспортні технології, негативно впливають на природні ресурси та здоров'я значної частини населення. Проблеми, що виникають у зв'язку з екологічною безпекою та впровадженням сучасних транспортних технологій, необхідно вирішувати за допомогою різних методів та засобів. Однак, незалежно від запланованих інженерних, технічних, організаційних чи управлінських заходів, усі вони тісно пов'язані з різноманітними правовими інструментами. Вкрай важливо визнати, що жодне рішення, жодна діяльність у транспортному секторі не може бути реалізована без правового втручання [1].

Загальновизнано, що екологічна безпека визначається як прийнятний рівень негативного впливу на навколишнє середовище, що виникає внаслідок природних та антропогенних небезпек. У світлі цього визначення, вимоги залізничного транспорту щодо зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище можна розуміти двояко. З одного боку, вкрай важливо визнати негативні наслідки залізничних перевезень для навколишнього середовища, а отже, з метою мінімізації викидів, скидів та забруднення зростає необхідність впровадження ефективних заходів для пом'якшення цих наслідків. З іншого боку, як стверджує УЗ, рівень викидів, скидів та забруднення природних ресурсів залізничним транспортом знаходиться в допустимих межах,

Заходи з охорони довкілля, що застосовуються наразі на транспорті, не можна вважати достатніми, оскільки вони не забезпечують екологічну безпеку. На думку автора, екологічна безпека, це поняття, яке стосується стану речей, за якого люди не піддаються шкідливому впливу, який може призвести до негативних наслідків для їхнього здоров'я, тривалості життя або інших форм шкоди, що мають незворотний характер.

У сучасну епоху значна кількість посадовців нібито стверджує, що екологічна безпека гарантована. Однак, коли екологічна безпека підпорядковується меті охорони здоров'я людини, виявляються дії, які перешкоджають прийняттю законодавства та відволікають усі зусилля та ресурси від фактичного впровадження екологічної безпеки. Поняття екологічної безпеки ґрунтується на сприйнятті її як комплексу умов, явищ та дій, що забезпечують екологічну рівновагу на Землі та в будь-якому її регіоні на рівні, до якого людство фізично, соціально-економічно, технологічно та політично підготовлене. Це говорить про те, що забруднення навколишнього середовища триватиме доти, доки людство зможе терпіти його шкідливий вплив. Негативний вплив залізничного транспорту на навколишнє середовище триває, а його вплив на здоров'я та природні ресурси не повністю контролюється. Надмірні відходи, теплове випромінювання, вібрація та шум згубно впливають на людину та природні ресурси. Ці фактори негативно впливають на здоров'я людей, призводячи до захворювань, зниження продуктивності праці та руйнування унікальних властивостей природних явищ.

Зрозуміло, що існуючі засоби та методи, що використовуються для вирішення екологічних проблем у транспортному секторі, є недостатніми. Для вирішення цих проблем вкрай важливо встановити правову процедуру отримання достовірної екологічної інформації, яка точно відображає справжній стан навколишнього середовища. Рішення можуть прийматися лише на основі об'єктивної екологічної інформації. Однак, все ще існують значні труднощі, які необхідно вирішити, щоб втілити ці рішення в практичні транспортні рішення.

Основними джерелами руйнування та забруднення навколишнього середовища є зношеність транспортних засобів та інфраструктури, на відновлення яких необхідні інвестиції. При цьому, якщо врахувати додаткові витрати на компенсацію шкоди, завданої навколишньому середовищу транспортом, загальна цифра значно зростає. З огляду на існуючі фінансові обмеження та економічну стагнацію, ми можемо лише сподіватися на те, що люди все ще мають терпіння до поточного стану навколишнього середовища та можуть обходитися традиційними методами, які не захищають навколишнє середовище, а створюють видимість цього. Дієвим засобом зменшення шкідливого впливу транспорту на людину та довкілля є запровадження все більш жорстких вимог до екологічних показників в поєднанні з елементами економіко-правового механізму охорони навколишнього природного середовища.

Стає дедалі очевиднішим, що екологічні загрози є більш помітними та відчутними в межах існуючих методів охорони навколишнього середовища. У цьому складному середовищі необхідний обґрунтований комплекс інженерних, екологічних, організаційних та правових заходів, включаючи освіту. Це не слід розглядати як формальність, а як глибоко змістовну ініціативу, здатну прищепити людям високий рівень екологічної свідомості. Освіта була визначена як ключовий фактор у вирішенні екологічних проблем та сприянні сталому розвитку

країни. Створення умов, сприятливих для збереження здорового навколишнього середовища, має першорядне значення.

[1] Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Динаміка рівня забруднення урбанізованих територій. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. 2021. Випуск 1 (48). С. 12-19. URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/48/012-019.pdf

УДК 658.7:656.073.235 (477)

[1]Берестов І.В. канд. техн. наук., [1]Колісник А.В., канд. техн. наук.,
[1]Логоша О.О. студентка гр. 211-ОПУТ-Д24
[1]Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ

Контейнерні перевезення займають провідне місце серед різних видів вантажних перевезень. Попри свою зручність у використанні, за рахунок уніфікованої тари, вони значно зменшують витрати на перевантажувальні операції та час на транспортування вантажів. Статистика контейнерних перевезень в країнах Європи за останні 5 років демонструє їх значне зростання, незважаючи на війну в Україні. Найбільший приріст контейнерних перевезень відбувся у таких країнах як: Польща (+8,85%), Німеччина (+4,11%), Франція (+3,82%), Австрія (+1,72) [1]. Аналізуючи дані за січень-вересень 2024 року в Україні обсяг залізничних контейнерних перевезень зріс на 47% порівняно з минулим роком, досягнувши найвищого показника за останні сім років. Спостерігається значний приріст перевалки контейнерів через морські порти Одеса, Чорноморськ, що призвело до збільшення вантажопотоку через припортові залізничні станції, який збільшився на понад 50% у порівнянні з початком минулого року[2].

Авжеж, розвиток контейнерних перевезень неможливий без удосконалення систем автоматизованого управління технологічними процесами в умовах контейнерних перевезень. В подальшому дослідженні слід приділити увагу таким питанням як уніфікації технічних рішень на залізниці (наприклад, Digital Automatic Coupling — DAC) і стандартних цифрових інтерфейсів, що покращить сумісність операторів і прискорить масштабування цифрових сервісів.

В Україні спостерігається зростання внутрішніх контейнерних потоків, зусилля Укрзалізниці спрямовані на розвиток контейнерних та термінальних послуг, але війна й інфраструктурні проблеми додають специфічних викликів (порожні пробіги, зміни вантажної структури). Цифрові рішення фактично можуть компенсувати нестачу фізичних ресурсів (вагонів, локомотивів, терміналів) завдяки оптимізації використання наявних.

1.Global Volume of Rail Containers Transport by Country. URL: https://www.reportlinker.com/dataset/40ddc93b1039ee3ea4bdfbd45c7d154c28ed8699

2. Від блокади до відновлення: як змінюється морський контейнерний ринок України. URL: https://cfts.org.ua/articles/vid_blokadi_do_vidnovlennya_yak_zminyuetsya_morskiy_konteynerniy_rinok_ukraini_2123?fbclid=IwY2xjawKvc41leHRuA2FlbQIxMABicmlkETF6aTRxN3MxQ2F6Y1dEcFJHAR6EujFWoDjuLI2uF5V90CKRHGl1heBah1o89_deBoA4bk55paTt0zYI8-PdkQ_aem_Z14S2Cqyu1ikYz3x5JM0Pg

УДК 621.391

Крощенко Д.О., аспірант
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

ОПТИМІЗАЦІЯ ГРАФОВОЇ СТРУКТУРИ КОДІВ ЛАБІ

Стрімке зростання обсягів даних, що передаються в телекомунікаційних системах, призводить до ускладнення умов передачі та підвищення вимог до надійності. Тому, для розвитку телекомунікаційних систем, вимагається створення ефективних механізмів захисту даних від завад та втрат [1]. Одним із найбільш ефективних методів забезпечення стійкості до втрат пакетів у мережах є використання завадостійких кодів Лабі, вони здатні генерувати необмежену кількість кодових символів та адаптуватися до змінних умов каналу без необхідності повторних запитів.

Принципи реалізації кодів Лабі складаються з наступних етапів.

1) Генерація необмеженої кількості вихідних символів з випадкових комбінацій вхідних даних, що є основою кодування.

2) Використання розподілу степенів (солітоновий та робастний), які визначають середню кількість зв’язків між вхідними та вихідними символами.

3) Декодування базується на алгоритмі зворотного поширення, що забезпечує поступове відновлення вхідної послідовності при отриманні

достатньої кількості вихідних символів. Зазвичай, це робиться за допомогою графів [2].

Головними проблемами традиційної реалізації є наявність вузлів з високим ступенем, які збільшують затримку та обчислювальну складність, а також нерівномірність покриття вхідних символів призводить до підвищеної імовірності декодувальних помилок. Саме тому, для практичних систем та **суттєвого прискорення** операцій кодування/декодування необхідна адаптація розподілу степенів та контроль за структурою графа.

У результаті проведеного дослідження визначено, що використання рівномірного покриття вхідних символів гарантує рівномірне відображення всіх вхідних символів у кодових комбінаціях. Використання методу обмеження символів із високим степенем дає можливість уникнення надмірних з'єднань. Реалізація розглянутих методів дає змогу зниження середнього ступеня, зменшення обчислювальної складності завдяки балансу між кількістю зв'язків та рівномірним покриттям, скорочення затримки декодування та підвищення достовірності передачі даних, що є основною перевагою для систем передавання інформації.

1. Бондаренко І.М. Коди та кодування: навч. посіб. / І. М. Бондаренко, А.П. Глушко, О.М. Меньков – Харків: ХІ ВПС, 2003. – 116 с.
2. Крощенко Д.О. Аналіз принципів реалізації завадостійких кодів Лабі./Крощенко Д.О.// Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2024.– №3 (84) – С. 54-61.

УДК 656.2: 621.3: 614.8

к.т.н. В.Ф. Кустов (УкрДУЗТ)
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

ПРОБЛЕМИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ПРИСТРОЇВ І СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Однією з головних функцій призначення технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів є забезпечення їх безпеки функціонування, у тому числі у разі дії різних видів електромагнітних завад. Для нормування функціональної безпечності в Україні введено в дію стандарти серії ДСТУ EN 50126, ДСТУ EN 50129 [1,2].

У процесі впровадження та кількісного оцінювання вимог вказаних стандартів безпеки щодо допустимих значень ймовірності небезпечної відмови на годину (PFH) виявлено суттєві недоліки. Зокрема, при збільшенні кількості відповідальних функцій у таких системах (контроль вільності колій, стрілок, відсутності ворожих маршрутів тощо), кожна з яких відповідає рівню функціональної безпеки SIL3 або SIL4, загальна оцінка системи може формально знижуватись до SIL1 або навіть нижче — через механічне підсумовування значень PFH. У результаті більш безпечна, контрольована система виглядає менш безпечною за формальними критеріями, ніж система з мінімальним охопленням ризиків, а спроби підвищити безпеку руху поїздів шляхом запровадження додаткових відповідальних функцій безпеки (не другорядних або інформаційних) призводять до зниження формального рівня SIL. Це створює методологічний парадокс: чим більше функцій, що знижують ризик, тим нижчий формальний рівень функціональної безпечності.

Для оцінки функціональної безпечності систем керування рухом поїздів згідно вказаних стандартів використовуються на практиці експоненціальні моделі законів розподілу. Проведені розрахунки показали [3], що протягом більшості життєвого циклу систем залізничної автоматики спостерігається суттєва недооцінка ймовірностей небезпечних відмов при використанні базового експоненціального закону:

- у 5–7 разів — для нормального розподілу;
- у 1,5–3,5 рази — для інших «істинних» (не експоненціальних) моделей.

Виявлені недоліки вимог стандартів створюють ризик:

- викривлених управлінських рішень у виборі систем,
- відхилення технічно обґрунтованих рішень при оцінці,
- втрати довіри до стандартів у практичному застосуванні.

У доповіді надається кількісна оцінка методологічних прорахунків у оцінці безпеки функціонування систем з різною кількістю відповідальних функцій, що ставить під сумніви вимоги європейських стандартів серії EN5012X та міжнародних стандартів серії МЕК 61508-X щодо кількісної оцінки функціональної безпеки. Також надані результати досліджень та графіки прорахунків оцінки рівня безпечності (SIL) у разі використання експоненціального закону розподілу небезпечних відмов замість «істинних», особливо після 10-15 років експлуатації виробів та їх старіння, а також пропозиції до перегляду стандартів функціональної безпеки серії EN 5012X та МЕК 61508-X.

У стандарті EN 50129 прямо зазначено, що PFH для електронної апаратури може бути визначено за експоненціальним розподілом, якщо немає достовірних даних щодо старіння. Аналогічно, у ДСТУ EN 50129 [9] випадкові (random) відмови в електронних компонентах також передбачено моделювати експоненційно. Таким чином, у практиці функціональної безпеки залізничної автоматики експоненціальна модель трактується як допустима і консервативна за відсутності підтвердженого впливу старіння або деградації.

З практичної точки зору, спрощеність експоненціального моделювання і його відповідність мінімальним вимогам стандартів призводить до його широкого поширення в сертифікаційних процедурах для систем залізничної автоматики.

Міжнародний стандарт IEC 61508 також дозволяє використовувати експоненціальний розподіл для оцінки PFH, якщо відсутня верифікована інформація про зношення компонентів (частина 6, додаток B). У розділі B.3.2 цієї частини стандарту експоненціальна модель наводиться як базова для прикладів оцінки показників функціональної безпечності PFH та PFDavg.

Пропонується:

1.Впровадити в EN 50129 або супровідні методичні документи системну норму на гранично допустимий PFH для всієї системи, незалежно від кількості функцій.

2.Розробити підхід до інтегрованої оцінки функціональної безпечності безпеки масштабованих систем на рівні архітектури, з урахуванням резервування, зон впливу, захисту від загальних причин відмов.

3.Уточнити методики для централізованих систем, що об’єднують сотні або тисячі об’єктів керування, щоб не допустити формального зниження їх SIL при дотриманні високих критеріїв безпеки.

Перелік посилань

1.ДСТУ EN 50126-1:2019 Залізничний транспорт. Специфікація та демонстрування надійності, доступності, безпеки та ремонтопридатності (РАМН). Частина 1. Основні вимоги та загальний процес. (EN 50126-1:2017, IDT) Чинний від 01.01.2020.

2.ДСТУ EN 50129:2019 Залізничний транспорт. Системи зв’язку сигналізації та оброблення даних. Електронні сигналізаційні системи безпеки (EN 50129:2018, IDT). Чинний від 01.01.2020.

3.Кустов В.Ф. /Фундаментальні недоліки базових моделей небезпечних відмов для розрахунку функціональної безпеки систем керування рухом поїздів//Збірник наукових праць УкрДУЗТ, 2025.- Вип. 212. – С. 301-314. https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/2408946

УДК 656.25:004.932

к.т.н. Куценко М.Ю., здобувачі освіти Шмонін Є.О., Калашник М.О..
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПРОНИКНЕННЯ ЛЮДЕЙ ДО ЗАБОРОННИХ ЗОН В МЕТРОПОЛІТЕНІ

Безпека пасажирів у системах громадського транспорту залишається критично важливою проблемою сучасних мегаполісів. Згідно з дослідженнями [1], значна кількість травматизму в метрополітені пов'язана з порушенням пасажирами правил безпеки, зокрема проникненням до заборонених зон біля платформ та колій. Традиційні методи контролю, що базуються на візуальному спостереженні персоналу, мають обмежену ефективність через людський фактор та неможливість забезпечити повноцінний моніторинг усіх критичних зон одночасно.

Розвиток технологій штучного інтелекту та комп'ютерного бачення відкриває нові можливості для створення автоматизованих систем безпеки. Сучасні алгоритми глибокого навчання, зокрема архітектури YOLO (You Only Look Once), демонструють високу точність у детекції об'єктів в режимі реального часу [2]. Впровадження таких систем у метрополітені дозволить значно підвищити рівень безпеки пасажирів та зменшити ризики травматизму.

Проведення дослідження в галузі детекції пішоходів на основі YOLO показали значні переваги

цієї архітектури для систем реального часу. В роботі [2] продемонстровано можливість досягнення точності 78% при швидкості обробки 147 мілісекунд на кадр, що робить технологію придатною для критично важливих застосувань у транспортній інфраструктурі. Робота [3] присвячена дослідженню роль комп'ютерного зору у виявленні порушників та реалізації кіберфізичних систем запобігання аварійним ситуаціям, підкреслюючи важливість автоматизації процесів виявлення порушень для забезпечення безпеки.

У доповіді розглянуто найбільш перспективні системи комп’ютерного зору на основі архітектур YOLO та Detection Transformer, які забезпечують високу швидкість обробки при збереженні точності детекції. Інтеграція з IoT-пристроями та 5G-мережами дозволяє створювати розподілені системи з низькою затримкою.

Крім того, системи здатні не лише виявляти присутність людей у заборонених зонах, але й аналізувати їхню поведінку, прогнозувати потенційно небезпечні ситуації та автоматично сповіщати служби безпеки [1].

Використання технологій комп'ютерного зору для виявлення проникнення людей до заборонних зон у метрополітені представляє собою перспективний напрям підвищення безпеки громадського транспорту. Сучасні алгоритми глибокого навчання, зокрема архітектури YOLO, демонструють достатню точність та швидкодію для практичного застосування в критично важливих системах.

Показано перспективи подальших досліджень включають розробку спеціалізованих архітектур нейронних мереж, адаптованих до специфіки метрополітену, створення гібридних систем, що поєднують різні типи сенсорів, та дослідження етичних аспектів використання технологій розпізнавання в громадських місцях.

Література

1. Paul P., Christiyan K.G.J., Ajina A. AI-Powered Safety Monitoring on Metro Platforms with Computer Vision Integration. Propulsion Technology Journal. 2025. Vol. 46, No. 2. P. 964-975.
2. Alfikri M.D., Kaliski R. Real-Time Pedestrian Detection on IoT Edge Devices: A Lightweight Deep Learning Approach. arXiv preprint. 2007. https://arxiv.org/html/2409.15740v1
3. Білінська А. Автоматичне виявлення автомобільних порушників за допомогою комп'ютерного зору в рамках кіберфізичної системи запобігання аварійним ситуаціям. Вісник Хмельницького національного університету. 2024. № 77. С. 22-35. https://vottp.khmnu.edu.ua/index.php/vottp/article/view/261

УДК 656.078:004

***к.т.н., доцент* Лабенко Д.П.**
Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЛОГІСТИЦІ: ВІД ХМАРНИХ СЕРВІСІВ ДО БЛОКЧЕЙНУ ТА BIG DATA

У сучасних умовах глобалізації та цифрової трансформації логістика стає однією з найбільш динамічних і технологічно залежних галузей. Традиційні методи управління ланцюгами постачання вже не забезпечують необхідної гнучкості та ефективності, що зумовлює потребу у впровадженні сучасних інформаційних технологій.

У сучасних умовах стрімкої цифрової трансформації логістика переживає докорінні зміни. Зростання обсягів перевезень, вимоги клієнтів до швидкості та прозорості обслуговування, а також глобальна конкуренція змушують компанії впроваджувати інноваційні інформаційні технології. Ключовими серед них є хмарні сервіси, блокчейн і аналітика великих даних (Big Data). Вони формують основу цифрової інфраструктури логістики, забезпечуючи ефективність, безпеку та конкурентоспроможність бізнесу.

Хмарні технології дозволяють здійснювати управління логістичними процесами у єдиному середовищі, що забезпечує доступність даних у режимі реального часу. Їх використання мінімізує витрати на IT-інфраструктуру, відкриває можливості для масштабування й інтеграції різних бізнес-процесів. Хмарні сервіси активно застосовуються для автоматизації управління складом і транспортом, моніторингу маршрутів, контролю запасів та документообігу. Важливими перевагами є висока швидкість доступу до інформації, гнучкість та можливість колективної роботи з даними незалежно від географічного розташування користувачів.

Блокчейн відкриває новий рівень прозорості та надійності логістичних ланцюгів. Його децентралізована структура забезпечує незмінність записів та довіру між усіма учасниками процесу. У логістиці блокчейн використовується для відстеження походження товарів, захисту від фальсифікацій, спрощення документообігу та автоматизації угод за допомогою смарт-контрактів. Це знижує ризики помилок, прискорює виконання операцій та підвищує рівень безпеки інформації. Крім того, блокчейн створює умови для ефективного врегулювання суперечок, оскільки всі дані є

доступними й підтвердженими незалежними учасниками мережі.

Big Data виступає ключовим інструментом у прийнятті стратегічних і тактичних рішень. Аналітика великих даних дозволяє прогнозувати попит, оптимізувати рівні запасів, зменшувати ризики затримок у постачанні та підвищувати ефективність транспортних потоків. Джерелами даних є системи GPS-навігації, сенсори IoT, транспортні та складські платформи, а також дані про клієнтську поведінку. Використання алгоритмів машинного навчання дає можливість будувати прогнози та виявляти приховані закономірності, що недоступні для традиційних методів аналізу. У результаті компанії отримують інструмент для швидкої реакції на зміни ринку й більш точного планування логістичних операцій.

Інтеграція хмарних сервісів, блокчейну та Big Data формує єдине цифрове середовище управління логістикою. Хмари забезпечують доступність і масштабованість даних, блокчейн — прозорість і безпеку, а Big Data — глибоку аналітику та прогнозування. Така синергія дозволяє створювати «розумні» логістичні системи, здатні адаптуватися до викликів глобального ринку, забезпечувати надійність і безперервність постачань, підвищувати якість обслуговування клієнтів.

Разом з тим, впровадження цих технологій пов'язане з низкою викликів: значними інвестиціями, потребою в модернізації застарілої інфраструктури, необхідністю підготовки персоналу та забезпечення кібербезпеки. Проте перспективи, які вони відкривають, значно переважають витрати, адже цифрова трансформація стає запорукою розвитку та стійкості логістичних систем.

Висновки. Використання цифрових технологій у логістиці створює умови для ефективного управління, прозорості та адаптивності систем постачання. Хмарні сервіси, блокчейн та Big Data є взаємодоповнюючими інструментами, що разом формують основу сучасної логістики. У найближчій перспективі їх інтеграція визначатиме конкурентоспроможність підприємств та сприятиме становленню інтелектуальних транспортно-логістичних мереж, здатних відповідати на виклики глобальної економіки.

Список літератури

1. Лабенко Д.П. Автоматизація та IT-інновації в логістиці. 2 Міжнародна науково-практична конференція «Scientific Innovation: Theoretical Insights and Practical Impacts». 10-12 березня 2025 | Неаполь, Італія. С.96-102. https://www.eoss-conf.com/wp-content/uploads/2025/03/Naples_Italy_10.03.25.pdf

2. Блокчейн **VeChain.** https://www.vechain.org

УДК 656.25:681.518.5

Oleksii Lazariev
Ukrainian State University of Railway Transport
Viktor Lazariev
Kharkiv National University of Radio Electronics
Oleksandra Lazarieva
V.N. Karazin Kharkiv National University

IMPROVEMENT OF TECHNICAL DIAGNOSTICS OF RAILWAY AUTOMATION SYSTEMS

In the current conditions of martial law and a shortage of staff for the timely maintenance of railway automation systems, improving the technical diagnostics of these systems is a relevant task. Technical diagnostics of railway automation systems are classified according to several criteria [1]:

- by purpose and functionality (performance monitoring, technical condition assessment, fault detection (localization), residual life prediction);

– by object of diagnosis (component level, node level, system level);

– by timing (scheduled (periodic) diagnostics, continuous (non-stop) diagnostics, operational (emergency) diagnostics, test diagnostics);

– by level of automation (manual (visual), automated).

Modern railway automation systems strive to use continuous automated diagnostics at all levels to minimize the human factor and detect malfunctions before they lead to traffic safety violations [2].

Finding (locating) faults in railway automation systems is a critically important and highly organized process that combines automated monitoring and actions by maintenance staff.

In modern signaling control systems (especially microprocessor-based ones), this process is divided into several stages:

– detection and registration of faults (automatic recording, dispatcher control, hardware journal of object status changes);

– remote preliminary localization (analysis of damage reports, parameter checks, power supply checks, analysis of the impact of neighboring elements, damage dynamics);

– localization at the facility and determination of the cause (use of logic and diagrams, method of separation (Half-Split), measurements).

After the fault has been fixed, certain checks are carried out to confirm that the system has been fully restored and is safe to operate.

The use of modern information and communication technologies can improve the technical diagnostics of railway automation systems, particularly in terms of fault detection. A Telegram bot can significantly improve fault detection (localization) in railway automation systems by acting as a mobile interface for diagnostic systems and a communication tool for staff. The Telegram bot will provide the following functions:

– mobile access to diagnostic data (instant damage notification, request for current device parameters, access to the history of changes in the status of objects);

– support in decision-making (Decision Support) (knowledge base of possible causes of damage, simplified step-by-step diagnostics based on a diagnostic tree, photo reports for further analysis);

– communication and reporting (centralized reporting with automatic sending to leadership, sharing of information about faults between relevant specialists, automatic reminders about scheduled maintenance).

In general, the use of modern information and communication technologies, in particular bots, will help improve the diagnostics of railway automation systems, speed up the search for faults, and increase traffic safety when repairing damage.

References

1 Mojsejenko V.I., Cheghodajev B.V., Zotova O.S. Metody diaghnostuvannja system zaliznychnoji avtomatyky. Informacijno-kerujuchi systemy na zaliznychnomu transporti. 2014. No 4. p. 26–32.

2 Beznarytnyj A.M., Ghavryljuk V.I., Gholoobova O.O. Analiz suchasnogho stanu prystrojiv avtoblokuvannja, metodiv jogho obslughovuvannja ta kontrolju. Visnyk Dnipropetr. nac. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazarjana. 2014. No 1 (49). p. 22–32.

УДК 656.223

Доктор філософії М.Д. Ломотько[1]

[1]Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНИМИ КОМПАНІЯМИ-ПЕРЕВІЗНИКАМИ НА ОСНОВІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ

Залізничний транспорт України розвивається по Західноєвропейському сценарію, тобто шляхом допуску до залізничної мережі компаній-перевізників. Посилення конкуренції на залізничному транспорті буде означати появу нових «гравців» в сфері вантажних перевезень у вигляді нових операторських компаній, експедиторів та компаній-перевізників, в тому числі міжнародних. Мета даної роботи удосконалити багатокритеріальну динамічну модель технології доставки вантажів залізницею в умовах конкурентного середовища з урахуванням раціональних параметрів ланцюга постачання вантажів на основі «зеленої» логістики [1].

В роботі застосовано наступні сучасні методи та теорії:

- проведені дослідження ґрунтуються на використанні системного підходу для класифікації параметрів функціонування залізничної компанії-перевізника;
- методу спрямованого перебору варіантів при визначенні раціональних технологічних параметрів системи доставки вантажів в умовах конкурентного середовища;
- методів розв'язання цілочисельних оптимізаційних задач для отримання результатів математичного моделювання процесу формування логістичного ланцюгу;
- статистичні методи для обробки логістичної інформації щодо поїздо- та вантажопотоків.

Реалізація цієї моделі дозволить мінімізувати витрати компанії-перевізника наростаючим підсумком за розрахунковий період, а також підвищити гнучкість формування вартості доставки вантажів. Зменшення цієї вартості для окремих вантажовідправників сприятиме збільшенню клієнтів компанії-перевізника, що в свою чергу покращить конкурентне середовище на ринку вантажних залізничних перевезень. Модель передбачає розрахунок на кожну добу розрахункового періоду раціональних маршрутів доставки вантажів, кількостей зупинок для причеплення груп вагонів і тривалості простою поїздів на залізничних станціях філій компанії-перевізника. Це дозволить сформувати ефективну автоматизовану технологію функціонування компанії-перевізника, що забезпечить передумови подальшого її розвитку. Зазначена система дає змогу реалізувати реформу ЄС щодо впровадження залізничних компаній-перевізників на території України від моменту отримання заявки від вантажовідправника до моменту прибуття

вагонів на станцію призначення з урахуванням вибору раціонального маршруту доставки вантажів, що дає змогу оперативному персоналу станції приймати зважені управлінські рішення в умовах динамічного характеру перевізного процесу [2].

Системний підхід до обґрунтування процесу розвитку залізничного транспорту передбачає розробку динамічної моделі окремих підсистем та транспортних одиниць у складі єдиної організаційної та інфраструктурної системи. Це дає змогу розглядати таку структуру як велику транспортну систему, що характеризується новими ознаками та характеристиками, а окремі компанії-оператори набувають статусу елементів системи. Таким чином, сучасні умови вимагають формалізації процесу функціонування великої динамічної системи залізничного транспорту з позиції системного підходу, спрямованого на оптимізацію синергетичного ефекту для всіх підсистем. Для забезпечення привабливості того чи іншого перевізника на ринку залізничних транспортних послуг слід врахувати витрати на забезпечення доставки вантажу та наявність обмежених ресурсів (транспортних засобів, пропускної здатності, кількості вантажів, наявність персоналу тощо)[3,4].

Отже, розробка системи доставки вантажів залізничними компаніями-перевізниками на основі багатокритеріальної динамічної моделі є економічно вигідною та екологічною дією.

[1] Ломотько М.Д. Удосконалення технології доставки вантажів залізничним транспортом в умовах конкурентного середовища : дис. … доктор філософії: 10.05.2024. Харків, 2024. 233 с.
[2] Ломотько Д.В., Ковальов Д.Д., Ломотько М.Д., Напрямки удосконалення технології залізничних контейнерних перевезень у сучасних умовах. Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems : Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, м. Кропивницький, 13-15 квітня 2022 р. Кропивницький, 2022. С. 111-113.
[3] Математичні методи дослідження операцій : підручник / Є. А. Лавров та ін. Суми : СДУ, 2017. 212 с.
[4] Ломотько М.Д. Формування системи доставки вантажів залізничними компаніями-перевізниками : колективна монографія / заг. ред. Г.О. Примаченко. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ : Видавець Кушнір Г.М. – 2024. Т2.– С. 139-172. DOI: 10:63048/978-617-7926-67-1.4

УДК 656.2:004.85:658.15

Лоскутова Г. А., *аспірант кафедри фінансів,обліку та психології*

РИЗИК-ОРІЄНТОВАНЕ УПРАВЛІННЯ У ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ: ШЛЯХ ДО ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Україна

Транспортні технології та інноваційні інформаційно-керуючі системи (ІКС) сьогодні стають визначальними факторами конкурентоспроможності виробничих підприємств. Водночас цифровізація, глобалізаційні процеси та посилення зовнішніх і внутрішніх викликів формують багатовимірне ризикове середовище, у якому функціонують транспортні системи.

Ризик-орієнтоване управління в цьому контексті виступає не лише елементом тактичного реагування, а й стратегічним механізмом забезпечення фінансово-економічної безпеки підприємства. Особливу увагу слід приділити залізничному транспорту, що є складовою критичної інфраструктури держави. Тут поєднуються високі фінансові ризики (енергетичні витрати, коливання валютних курсів), технічні (зношеність рухомого складу та інфраструктури), логістичні (перебої у перевізному процесі) та цифрові (кіберзагрози).

Таким чином, завдання полягає у створенні цілісної системи управління ризиками, яка забезпечуватиме стабільність і стійкість транспортних підприємств навіть у кризових умовах.

Для ефективної побудови системи ризик-менеджменту доцільно структурувати ризики, характерні для транспортних технологій:

1. Фінансово-економічні:
- коливання цін на енергоресурси;
- зміна тарифної політики;
- зростання кредитних ризиків і валютних коливань.

2. Техніко-технологічні:
- зношеність інфраструктури й рухомого складу;

- недосконалість систем технічного обслуговування;
- аварійність та простої, що призводять до фінансових втрат.

3. Логістичні:
- порушення графіків перевезень;
- неузгодженість у транспортно-логістичних ланцюгах;
- затримки постачання у зв'язку з геополітичними та воєнними чинниками.

4. Інформаційно-кібернетичні:
- несанкціонований доступ до цифрових систем;
- атаки на ІКС і платформи управління;
- порушення цілісності та конфіденційності даних.

Синергія ризик-менеджменту з ІКС створює нові можливості для підвищення економічної безпеки. Використання систем моніторингу і прогнозування, заснованих на Big Data, машинному навчанні та аналітиці потокових даних, дає змогу не лише своєчасно ідентифікувати загрози, але й прогнозувати їхній вплив.

ІКС акумулюють дані про транспортні операції, технічний стан, фінансові показники та логістику, формуючи комплексну картину ризикового середовища. Це забезпечує перехід від реактивних заходів до проактивного управління, що дозволяє заздалегідь коригувати стратегію та мінімізувати потенційні наслідки загроз.

Сучасні цифрові інструменти формують основу адаптивних моделей управління ризиками, які оптимізують моніторинг транспортних потоків, фінансових операцій і ресурсного забезпечення.

Очікувані ефекти від їх застосування:
- підвищення стійкості: зниження рівня вразливості до кіберзагроз;
- оптимізація: удосконалення логістики та ефективне використання ресурсів;
- своєчасність: швидке реагування на внутрішні та зовнішні загрози;
- безпека: забезпечення фінансової стабільності та економічної безпеки підприємства.

Ризик-орієнтоване управління у сфері транспортних технологій та ІКС виступає ключовим чинником забезпечення фінансово-економічної безпеки виробничих підприємств. Його впровадження створює умови для переходу від реактивної моделі до стратегії проактивного прогнозування та адаптації, що забезпечує стійкість у період невизначеності й формує підґрунтя для довгострокового конкурентного розвитку.

Список використаних джерел:

1. ISO 31000:2018 Risk management – Guidelines. International Organization for Standardization.
2. Yankovska, L., Petryk, I. Safety of Cargo Transportation in the Ukrainian Supply Chain: Risk Management and Legal Issues. Law, Business & Sustainability Herald, 2022.
3.Vovk, Y., Plekhan, U. et al. Challenges and opportunities for Ukraine's transport system. JSDTL, 2025.

УДК: 656.256:656.259

к.т.н., доцент, Профатилов В.І.; аспірант Масалов Є.О.
Український державний університет науки і технологій
ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту»

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ТА ДЕШИФРУВАННЯ СИГНАЛІВ АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

Системи автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки залізничного транспорту, за допомогою цієї системи машиніст отримує інформацію про стан колійного блокування та сигнали світлофорів. Системи АЛС використовують сигнали в яких інформація кодується частотою або за допомогою кодів, які потім передаються по рейковим колам. Актуальною проблемою для системи АЛС є зниження впливу на сигнал в рейковому колу електромагнітних завад, впливу тягового струму і погодних факторів. У зв'язку з цим одним з актуальних методів вирішення даної проблеми є розробка цифрових методів обробки сигналів, що дозволить удосконалити процес дешифрування кодів АЛС.

Метою роботи є розробка методів цифрової обробки та дешифрування сигналів АЛС, що дозволить забезпечити стійке та своєчасне розпізнавання кодів навіть за умов низького відношення сигнал/шум.

Основними завданнями для даної роботи є наступні:
- дослідити спектральні характеристики сигналів АЛС;
- запропонувати методи прийому та дешифрування сигналів;
- розробити алгоритми цифрової фільтрації для пригнічення завад;
- оцінити ефективність підходів на імітаційних моделях.

Сигнали АЛС - є періодичними кодовими послідовностями у діапазоні частот 25–75 Гц. Для їх виділення доцільно застосовувати цифрові фільтри з вузькою смугою пропускання. За допомогою цих фільтрів можна значно зменшити вплив низькочастотних шумів та гармонічних складових від тягових електродвигунів. Окрім цього обраний тип фільтру повинен відповідати вимогам щодо амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) для різних частот сигналів АЛС.

Оскільки в даному випадку було обрана реалізація фільтру у вигляді цифрового фільтру, тому для синтезу цифрового фільтру був обраний метод запропонований Стівеном Смітом. [1]

Даний метод включає в себе наступні кроки:

- формування масиву значень бажаної АЧХ;
- використання зворотного перетворення Фур'є з метою отримання імпульсної характеристики фільтра);
- виконання зсуву імпульсної характеристики фільтра;
- виконання обмеження імпульсної характеристики фільтра з метою отримання кінцевої кількості коефіцієнтів фільтра;
- усунення ефекту Гіббса. Для цього необхідно перемножити масив значень імпульсної характеристики на масив значень віконної функції (отриманий масив буде являти собою коефіцієнти синтезованого фільтру);
- пряме перетворення Фур'є отриманої імпульсної характеристики, що дозволить отримати АЧХ синтезованого фільтра та перевірка АЧХ на відповідність вимогам і вибір найліпшої віконної функції.

Після проведення синтезу фільтру, та виконання вищевказаних кроків, було виконано перевірку кореляційного прийому сигналів АЛС, а також перевірено роботу кореляційного приймача за допомогою імітаційного моделювання. В результаті проведеного моделювання за допомогою програмного комплексу MATLAB показали, що кореляційний приймач має хорошу ефективність роботи, та високу завадостійкість приймача.

Наступним кроком було створення імітаційної моделі тонального рейкового кола (ТРК) та проведення розрахунку ТРК в режимі АЛС, що дозволяє виконати імітаційне моделювання ТРК з різними параметрами. Отримані результати показали, що сигнальний струм АЛС який поступає в локомотив через рейкове коло, має багато факторів які на нього впливають. Через ці фактори, сигнал може змінювати свою форму, а також мати різний рівень. Для того, щоб врахувати ці фактори була описана структура та принцип дії приймача, а також був запропонований алгоритм його роботи.

Запропонований метод цифрової обробки та дешифрування сигналів автоматичної локомотивної сигналізації дозволяє досягти більш високої завадозахищенності системи АЛС завдяки використанню кореляційного методу, що дозволяє вірно визначити корисний сигнал не зважаючи на наявність в ньому імпульсних, та інших завад. Тому, впровадження даної розробки дозволяє поліпшити роботу існуючу системи АЛС, підвищити надійність її роботи, завадозахищеність, та підвищити безпеку руху поїздів.

Перелік посилань.

1. Smith, S. W., Digital Signal Processing: A Practical Guide for Engineers and Scientists, 1st ed., Newnes, Elsevier, Amsterdam, 2002. ISBN 978-0-7506-7444-7. 664 c.

УДК 004.75: 519.854: 006

***Марек Мезитис**, д.т.н., професор, Ризький технічний університет (Латвія)*
*д.т.н., професор **Мойсеєнко В.І.**, аспірант **Матвієнко С.Г.***
Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF AUTOMATIC ADJUSTMENTOF CUT ROLLING SPEED ADJUSTMENT

Вступ. Проблемами автоматизації регулювання руху відчепа на сортувальній гірці науковці займаються з тридцятих років минулого сторіччя. Слід зазначити, що відомі технології основуються на класичних підходах до проблем автоматизації гіркових систем. Вони є надто складними, мають велику кількість змінних і потребують значних математичних і фізичних ресурсів. В завданнях зі спрощеним алгоритмом роботи, який раніше був викладений у роботі [1], автоматизована система керування гальмівною позицією виконує роль підсистеми підтримки прийняття рішень гіркового оператора в процесі визначення початкових параметрів для керування гальмівними пристроями. При такому підході можливо значно скоротити фінансові витрати на автоматизацію сортувального процесу. Відомі спроби створення автоматизованих систем, в тому числі і на залізничному транспорті, із застосуванням елементів та підходів штучного інтелекту і зокрема

нейронних мереж [3-4] також відштовхуються від традиційних технологій і не вирішують проблему. Тому питання удосконалення технології роботи сортувальної гірки є актуальними та мають практичну значимість [2].

Результати досліджень. Проведені дослідження свідчать, що існуючі методи побудови автоматизованих систем регулювання швидкості скочування відчепів орієнтовані на гірки середньої та великої потужності, а їх технічна реалізація передбачає значні фінансові витрати на реалізацію системи керування. Запропонований спрощений підхід до реалізації процесів регулювання швидкості відчепа, який оснований на розділенні формальної та інтелектуальної складової цих процесів з використанням технології штучного інтелекту. Формальна складова, яка передбачає визначення параметрів відчепа, встановлення необхідності його гальмування, визначення ступеню гальмування та включення уповільнювача реалізується системою керування. Інтелектуальну складову, яка пов'язана з регулюванням швидкості відчепа на гальмівній позиції, можна представити у вигляді блок-схеми, що показана на рис.1, [2] .

розвантажити гіркового оператора від виконання великої кількості повторювальних, рутинних операцій. Для вирішення поставлених завдань розроблена математична модель реалізації підготовчих дій, яка є складовою частиною інтелектуальної системи підтримки прийняття рішення гіркового оператора. Розроблені математичні моделі руху відчепа можуть бути застосовані при розробленні комп'ютерних систем автоматичного регулювання швидкості скочування для сортувальних гірок середньої та малої потужності.

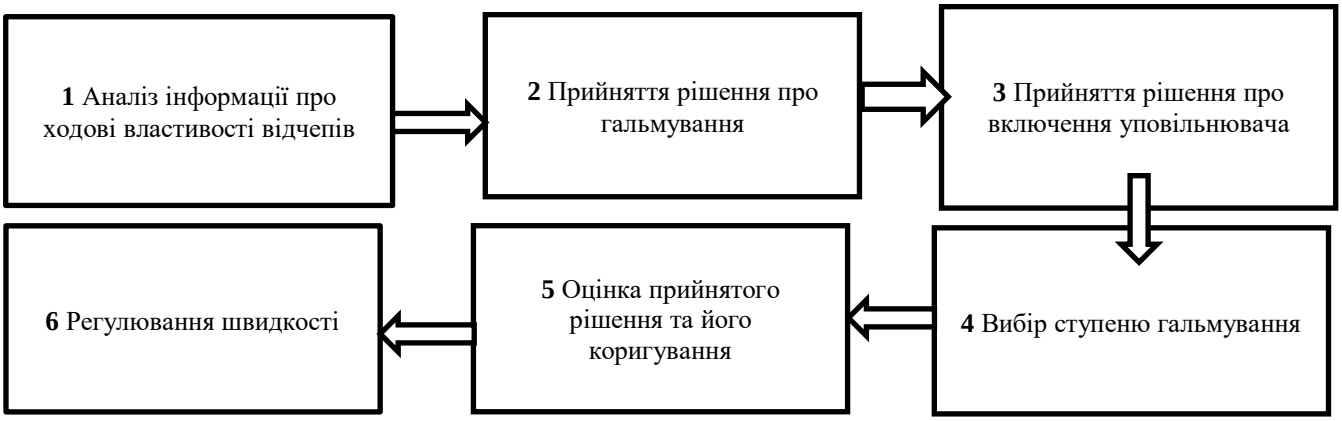


Рис.1. Блок-схема алгоритму дій гіркового оператора в процесі регулювання швидкості відчепа.

Як видно з наведеної блок-схеми нова технологія із застосуванням системи штучного інтелекту значно спрощує роботу людини-оператора за рахунок звільнення її від виконання великої кількості рутинних операцій, що періодично повторюються.

Висновок. Запропонована технологія на основі застосування системи підтримки прийняття рішень гіркового оператора в процесі визначення початкових параметрів для керування гальмівними пристроями. Очікується що це дозволить

Література.

1. Методичні рекомендації операторам сортувальних гірок щодо управління пристроями на механізованих і автоматизованих сортувальних гірках: Затв.: Наказ Укрзалізниці від 22.02.2013 р. № 042-Ц/од. – Київ: ТОВ «Інпрес», 2013. – 108 с.
2. В.І. Мойсеєнко, В.Т. Сафін, В.О. Жебко, О.Л. Некрасов Аналіз методів визначення швидкості об'єктів систем гіркової автоматизації. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2020. № 2 (141). С. 9–14 .DOI: https://doi.org/10.18664/ikszt.v26i2.235265

3. A. Kargin, T. Petrenko. Knowledge Distillation for Autonomous Intelligent Unmanned System. In: Witold Pedrycz, Shyi-Ming Chen. Advancements in Knowledge Distillation: Towards New Horizons of Intelligent Systems. Studies in Computational Intelligence, vol. 1100. Springer International Publishing, 2023, Pages 193-231.

4. А.О. Каргін, С.В. Жуков, Д.А. Сєргєєв, Є.Л. Сілін. Модель базового рівня штучного оточення автономних інтелектуальних безлюдних систем на прикладі мобільного роботу що обслуговує Системи управління, навігації та зв'язку. 2023. Випуск 2(72), С. 107-113.

УДК 625.14:691.32:621.331.4:656.2.021.6

Аспіранти С. М. Мусієнко, К. О. Куцин, М. А. Муригін,
Доктор техн. наук А. А. Плугін
Український державний університет залізничного транспорту

ЩОДО ВПЛИВУ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ НА РОБОТУ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМ СЦБ

ON THE INFLUENCE OF CRACK RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE SLEEPERS ON THE OPERATION OF THE CONTACT NETWORK AND SCB SYSTEMS

В Україні на залізницях загального користування експлуатується в основному безстикова колія на залізобетонних шпалах. Шпали виготовляють із бетону класу за міцністю на стиск С32/40, С35/45 попередньо напруженими, армованими пучками високоміцного дроту ∅3 мм. Рейки прикріплюються до залізобетонних шпал рейковими скріпленнями одного із трьох типів: підкладковими роздільними клемно-болтовими; безпідкладковими нероздільними анкерними; безпідкладковими нероздільними шурупно-дюбельними. Всі зазначені типи рейкових скріплень для забезпечення функціонування СЦБ – сигналізації, централізації і блокування, а також запобігання втратам (витоку) тягових струмів забезпечують електричну ізоляцію рейки від шпали за рахунок прокладок, ізолюючих шайб, втулок, вкладишів.

В процесі експлуатації частина шпал зазнає пошкоджень, які навіть каталогізовані нормативними документами. Найбільш розповсюдженими пошкодженнями (дефектами) є різного виду й походження тріщини (рис. 1): поперечні тріщини посередині шпали (рис. 1, *а*); поперечні тріщини біля анкерів (рис. 1, *б*); подовжні тріщини на кінцях шпали (рис. 1, *в*); поперечні тріщини під підрейковим перерізом; подовжні тріщини крізь анкери; подовжні тріщини в середній частині (рис. 1, *г*); сітка тріщин на кінцях шпали, рідше – по всій шпалі (рис. 1, *д*). Через особливості взаємодії скріплення з бетоном дещо більш схильними до утворення тріщин є шпали з безпідкладковими нероздільними анкерними скріпленнями (рис 1, *б*).

Майже всі поперечні та подовжні тріщини мають силовий характер крім сітки тріщин (рис. 1, *д*), яка утворюється внаслідок внутрішньої корозії бетону від взаємодії реакційно здатних заповнювачів з лугами цементу. Утворенню силових тріщин сприяє внутрішня корозія, сіткою від якої вони і розвиваються (рис. 1, *в*, *г*), а також процеси, спричинені струмами витоку. Запобігання тріщин від внутрішньої корозії забезпечується недопущенням виготовлення бетону шпал із цементу з підвищеним вмістом луг і реакційно здатних заповнювачів, що досягається ретельним вхідним контролем матеріалів. Утворенню силових подовжніх тріщин сприяє відсутність у шпалах поперечної арматури.

а) *б*) *в*) *г*) *д*)

Рис. 1 Пошкодження (дефекти) шпал

Під час атмосферних опадів і танення снігу тріщини, а через них і бетон насичуються водою, яка в них стає електролітом – насиченим розчином $Ca(OH)_2$. Внаслідок цього електричний опір бетону та залізобетонних шпал різко знижується, спричиняючи зниження електричного опору в

ланках електричних кіл «ходові рейки – земля», «права рейка – ліва рейка». Зниження опору в ланці «ходові рейки – земля» призводить до збільшення втрат тягового струму у вигляді струмів витоку (рис. 2), які мають потужний електрокорозійний вплив на металеві конструкції і арматуру залізобетонних конструкцій. Навіть бетон в пульсуючому режимі їх впливу, відповідному проходженню електрорухомого складу секцією контактної мережі, зазнає електрокорозійного ушкодження у вигляді багатократного прискорення вилуговування. Зниження опору в ланці «права рейка – ліва рейка» більше допустимих величин призводить до порушення роботи рейкових кіл сигнальних струмів.

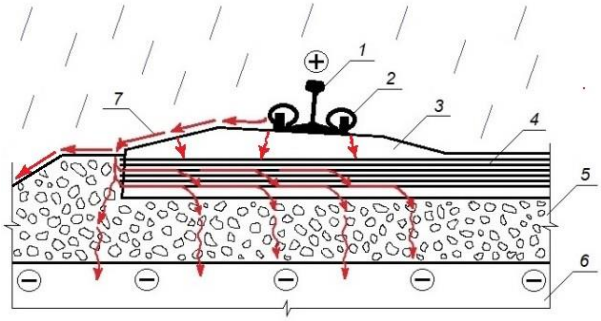


Рис. 2. Схема протікання струму витоку у дощову погоду крізь шпалу: 1 – рейка; 2 – рейкове скріплення; 3 – бетон шпали; 4 – арматурний дріт; 5 – баласт; 6 – земляне полотно; 7 – струм витоку

Отже, тріщиностійкість залізобетонних шпал – здатність опиратись утворенню силових тріщин від механічних навантажень є однією зі складових, що забезпечують надійну роботу контактної мережі та систем СЦБ залізниць. Виходячи з викладеного дослідження, спрямовані на підвищення електричного опору шпал, їх тріщиностійкості є актуальним завданням.

У зв'язку з цим на будівельному факультеті УкрДУЗТ виконуються дослідження з підвищення електричного опору шпал шляхом заміни сталевої арматури композитною, підвищення тріщиностійкості шпал додатковим дисперсним армуванням тощо.

УДК 629.3

канд. техн. наук В. П. Нерубацький,
магістрант Ф. Р. Фалєєв
Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

ДО ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА

Сучасний розвиток транспортної галузі зумовлює потребу у впровадженні рішень, що забезпечували б підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту та зменшення їх шкідливого впливу на довкілля. Традиційні види палива, такі як бензин і дизель, залишаються основними джерелами енергії, проте вони характеризуються високим рівнем викидів шкідливих речовин і залежністю від коливань світових цін на нафту. За таких обставин все більшої актуальності набуває використання альтернативних видів палива, здатних забезпечити як екологічну безпеку, так і економічну доцільність.

Застосування альтернативних видів палива на транспорті, включаючи біодизель, біоетанол, стиснений і скраплений природний газ, водень і синтетичні види пального, відкриває можливості для значного підвищення експлуатації засобів транспорту [1]. По-перше, використання таких видів палива сприяє зниженню шкідливих викидів, зокрема вуглекислого газу, оксидів азоту і твердих частинок, що безпосередньо впливає на поліпшення якості атмосферного повітря і зменшення екологічного навантаження на міста і транспортні вузли. По-друге, експлуатація засобів транспорту на альтернативному паливі забезпечує більш стабільний процес згоряння, що знижує утворення нагару та уповільнює зношування деталей двигуна. У результаті це подовжує строк експлуатації техніки та скорочує витрати на її обслуговування.

Економічна ефективність також є важливим аспектом аналізу. У ряді випадків вартість альтернативного палива виявляється нижчою за традиційне, що особливо відчутно при масових вантажних перевезеннях або використанні громадського транспорту [2]. Разом з тим реалізація таких переваг вимагає розвитку відповідної інфраструктури – від створення мережі газових і водневих заправних станцій до вдосконалення систем зберігання і транспортування палива [3]. Без цього перехід на нові види палива може залишатися обмеженим і локальним. Також перспективним є використання гібридних технологій, які поєднують двигуни внутрішнього згоряння з електричними системами, що дає змогу підвищити ефективність транспорту та зменшити залежність від традиційного палива [4, 5].

Таким чином, перехід на альтернативні види палива є одним із головних способів підвищення результативності експлуатації транспорту. Він забезпечує комплексні переваги: зниження

екологічного впливу, економію експлуатаційних витрат, продовження ресурсу техніки та підвищення стійкості транспортної системи в цілому. Однак для повноцінного розкриття потенціалу альтернативних видів палива необхідний розвиток інфраструктури та інтеграція інноваційних технологій. У перспективі це дозволить забезпечити баланс між потребами транспорту, економічними інтересами та вимогами екологічної безпеки.

1. Sandaka B. P., Kumar J. Alternative vehicular fuels for environmental decarbonization: A critical review of challenges in using electricity, hydrogen, and biofuels as a sustainable vehicular fuel. *Chemical Engineering Journal Advances.* 2023. Vol. 14. 100442. DOI: 10.1016/j.ceja.2022.100442.
2. Venkatesh V., Awasthi A. Evaluation of factors for adoption of alternative-fuel-based vehicles. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, Iss. 18. 8243. DOI: 10.3390/su17188243.
3. Halder P., Babaie M., Salek F., Haque N., Savage R., Stevanovic S., Bodisco T. A., Zare A. Advancements in hydrogen production, storage, distribution and refuelling for a sustainable transport sector: Hydrogen fuel cell vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy.* 2024. Vol. 52, Part D. P. 973–1004. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.07.204.
4. Delso-Vicente A.-T., Camperos M.-C., Almonacid-Durán M. The evolution of electric and hybrid vehicles and their influence on sustainable transport: A review and future research lines. *Sustainable Technology and Entrepreneurship.* 2025. Vol. 4, Iss. 2. 100100. DOI: 10.1016/j.stae.2025.100100.
5. Waseem M., Amir M., Sree Lakshmi G., Harivardhagini S., Ahmad M. Fuel cell-based hybrid electric vehicles: An integrated review of current status, key challenges, recommended policies, and future prospects. *Green Energy and Intelligent Transportation.* 2023. Vol. 2, Iss. 6. 100121. DOI: 10.1016/j.geits.2023.100121.

УДК 629.3

канд. техн. наук В. П. Нерубацький,
магістрант Ф. Р. Фалєєв
Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Сучасні транспортні системи стикаються зі зростаючими вимогами щодо зниження енергоспоживання та викидів парникових газів. Тому впровадження та використання енергоефективних технологій стає ключовим напрямком у питанні підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту. Використання гібридних та електричних силових установок, інтелектуальних транспортних систем, легких матеріалів та цифрових технологій управління є комплексним підходом до вирішення даної проблеми.

Гібридні та електричні транспортні засоби демонструють значне зниження витрати палива та викидів CO_2 [1]. Використання рекуперативного гальмування дає змогу відновлювати значну кількість енергії, витраченої на рух, що особливо ефективно в умовах міського трафіку з частими зупинками [2]. Електротранспорт демонструє значно вищий коефіцієнт корисної дії порівняно з ДВЗ і особливо ефективний в умовах міської мобільності [3, 4].

Інтелектуальні транспортні системи дозволяють оптимізувати транспортні потоки, скорочуючи час у дорозі та витрати палива. Їх застосування може зменшити енергоспоживання за рахунок поліпшення управління світлофорами, моніторингу трафіку та адаптивного управління рухом, що також знижує викиди та підвищує загальну ефективність транспортної системи.

Важливим напрямком залишається впровадження легких конструкційних матеріалів. Зниження маси транспортного засобу дає економію палива. Застосування алюмінієвих сплавів і композитів дозволяє скоротити масу кузова автомобіля. Міжнародні дослідження підтверджують, що легкі матеріали зменшують споживання енергії та викиди протягом усього життєвого циклу засобу транспорту [5, 6].

Цифровізація процесів експлуатації з використанням цифрових двійників, інтернету речей та двонаправлених систем управління енергією підвищує ефективність експлуатації транспорту [7]. Цифрове моделювання мультимодальної логістики дає значний приріст в енергоефективності, а застосування двонаправлених перетворювачів енергії на електричному рухомому складі дозволяє більш раціонально використовувати накопичену енергію.

Таким чином, використання енергоефективних технологій на транспорті забезпечує комплексний ефект: зниження енерговитрат, зменшення викидів, продовження ресурсу техніки та підвищення економічної віддачі. Найбільш перспективними напрямками є гібридні та електричні установки з рекуперацією енергії, інтелектуальні транспортні

системи, легкі матеріали та цифрові технології управління. У сукупності вони формують основу стійкої транспортної системи майбутнього, що відповідає сучасним викликам енергетики та екології. Комплексна реалізація цих напрямків забезпечує сталий розвиток транспортної системи, покращує її надійність та адаптивність до сучасних вимог енергетики та екології, формуючи основу для транспорту майбутнього.

1. Squalli J. Greening the roads: Assessing the role of electric and hybrid vehicles in curbing CO_2 emissions. *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 434. 139908. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.139908.
2. Armenta-Déu C., Cortés H. (2023). Analysis of kinetic energy recovery systems in electric vehicles. *Vehicles*. 2023. Vol. 5, Iss. 2. P. 387–403. DOI: 10.3390/vehicles5020022.
3. Farzaneh F., Jung S. Lifecycle carbon footprint comparison between internal combustion engine versus electric transit vehicle: A case study in the U.S. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 390. 136111. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136111.
4. Marmiroli B., Venditti M., Dotelli G., Spessa E. The transport of goods in the urban environment: A comparative life cycle assessment of electric, compressed natural gas and diesel light-duty vehicles. *Applied Energy*. 2020. Vol. 260. 114236. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.114236.
5. Gonçalves M., Monteiro H., Iten M. Life cycle assessment studies on lightweight materials for automotive applications – An overview. *Energy Reports*. 2022. Vol. 8. P. 338–345. DOI: 10.1016/j.egyr.2022.01.067.
6. Morimoto S., Cheng Y., Mizukoshi N., Tahara K. Methodological study of evaluating future lightweight vehicle scenarios and CO_2 reduction based on life cycle assessment. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, Iss. 14. 5713. DOI: 10.3390/su12145713.
7. Attaran S., Attaran M., Celik B. G. Digital twins and industrial internet of things: Uncovering operational intelligence in industry 4.0. *Decision Analytics Journal*. 2024. Vol. 10. 100398. DOI: 10.1016/j.dajour.2024.100398.

Обозний О.М., Кондратюк М.В.

АДАПТИВНІ МОДЕЛІ СЦЕНАРНОГО АНАЛІЗУ ВІДМОВ ВУЗЛІВ ЛОКОМОТИВІВ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЇХ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ

Ефективність залізничного транспорту значною мірою визначається технічним станом локомотивів. Планово-попереджувальні методи ремонту ґрунтуються на фіксованих інтервалах і не враховують фактичні умови експлуатації, що призводить до економічних втрат і зростання ризиків відмов.

Сучасні концепції прогнозного обслуговування та обслуговування за станом більш гнучкі, але здебільшого реалізуються через статичні моделі, які не здатні адаптуватися до змін середовища [1, 2]. Для усунення цього недоліку пропонується сценарний підхід із механізмом адаптації параметрів. Він дозволяє враховувати кілька можливих траєкторій деградації вузлів і оновлювати оцінки на основі діагностичних сигналів у реальному часі.

Формалізація процесу здійснюється через введення показника технічного стану s_t, який еволюціонує за рівнянням

$$s_{t+1} = s_t + \alpha_{r,t} + \beta u_t + k\Delta T_t \tag{1}$$

де u_t характеризує навантаження, ΔT_t – перевищення температури, $\alpha_{r,t}$ – параметр дрейфу, що залежить від сценарію r.

Спостереження пов’язуються зі станом рівнянням

$$z_t = \gamma s_t + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim N\left(0, \sigma^2\right). \tag{2}$$

На прикладі тягового електроприводу виділено два сценарії деградації. У першому має місце поступове старіння ізоляції з повільним зростанням температури та зниженням опору. Цей процес відповідає малому дрейфу $\alpha_{1,t}$, що забезпечує прогнозований розвиток і дає змогу планувати ремонт без виведення локомотива з експлуатації. Другий сценарій описує швидку відмову через пробій ізоляції під дією пікових струмів, що відображається різким зростанням $\alpha_{2,t}$. У цьому випадку модель фіксує швидке зростання деградації і різке скорочення залишкового ресурсу.

Ідентифікація сценарію базується на порівнянні фактичного сигналу z_t з прогнозними значеннями $\tilde{z}_{t|t-1}^{(r)}$. Ймовірність належності до сценарію оновлюється за формулою

$$\omega_{r,t} = \frac{\omega_{r,t-1} \exp\left(-\frac{\left(z_t - \tilde{z}_{t|t-1}^{(r)} \right)^2}{2\sigma^2} \right)}{\sum_q \omega_{q,t-1} \exp\left(-\frac{\left(z_t - \tilde{z}_{t|t-1}^{(q)} \right)^2}{2\sigma^2} \right)}, \quad (3)$$

що забезпечує адаптивний перерозподіл ваг на користь сценарію, який краще пояснює поточні дані.

Залишковий ресурс оцінюється як

$$RUL = \frac{s^{crit} - \hat{s}_t}{\bar{\alpha}_t + \beta\bar{u} + k\Delta\bar{T}}, \quad (4)$$

де $\bar{\alpha}_t = \sum_r \omega_{r,t}\alpha_{r,t}$.

У випадку реалізації сценарію швидкої деградації прогнозований ресурс різко зменшується, що сигналізує про необхідність негайного втручання. При повільному сценарії підтримується плановий режим обслуговування.

Запропонований підхід забезпечує зниження кількості раптових відмов, оптимізацію витрат на ремонт і підвищення коефіцієнта готовності локомотивів. Обмеження пов’язані з якістю вхідних даних і необхідністю калібрування під конкретні умови експлуатації. Перспективним є розширення множини сценаріїв, інтеграція методів машинного навчання та створення цифрових двійників для підвищення точності прогнозів.

3. Brown, G. Robert, Smoothing, Forecasting and Prediction of Discrete Time Series / G. Robert Brown. – N.Y.: Dover Phoenix Editions, 2004. – 468 p

4. Sachi Mohanty, Preethi Nanjundan, Tejaswini Kar. Artificial Intelligence in Forecasting. Tools and Techniques/ Boca Raton: CRC Press, 2024. - 355 p.

УДК 625.4/.5:621.316.925:621.396.931.1:624.131.23

Канд. техн. наук О. О. Овчинніков, доктор техн. наук А. А. Плугін

Український державний університет залізничного транспорту

ЩОДО ВПЛИВУ ОБВОДНЕНОСТІ ТУНЕЛІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ НА РОБОТУ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМ СЦБ

ON THE IMPACT OF WATERING OF METRO TUNNELS ON THE OPERATION OF THE CONTACT NETWORK AND SCB SYSTEMS

Тунелі метрополітену, колія та контактна мережа в них мають свої особливості. Передбачений чинними на час початку будівництва Харківського метрополітену строк експлуатації (ресурс) тунелів складав близько 400 років. Оправа перегінних тунелів, збудованих щитовим проходженням, виконана із бетонних блоків – сегментів, рідше, у складних інженерно-геологічних умовах, із чавунних тюбінгів. За оправу звичайно нагнітали цементно-піщаний та цементний розчини, які з різним ступенем однорідності заповнили зазор між оправою та ґрунтовим масивом, що вміщує тунель. Колія розрахована на осьове навантаження 12 т на вісь, переважно ланкова з рейками типу Р50, укладена переважно на дерев’яних шпалах. Замість традиційного щебеневого баласту укладено колійний бетон міцністю 7–10 МПа. Електрифікація здійснена постійним струмом напругою 825 В. Позитивний полюс подається на контактну рейку, розташовану ліворуч по ходу поїздів на 90–120 мм вище ходових рейок, негативний – на ходові рейки. Системи СЦБ принципово від традиційних не відрізняються, частоти сигнальних струмів напругою в декілька вольт або декілька десятків вольт – 25, 50, 75, 125 Гц.

Ходові рейки мають три функції: 1) опори та направляючі для колісних пар рухомого складу; 2) зворотній провідник тягового струму; 3) провідники сигнальних струмів.

Конструкції тунелів метрополітену та колії в них експлуатуються у складних умовах спільного впливу динамічних навантажень, зміни властивостей і деформацій ґрунтових масивів, що вміщують тунель, фільтрації підземних та ґрунтових вод, у т.ч. агресивних, постійних струмів витоку з ходових рейок. Ці впливи призводять до виникнення і розвитку пошкоджень, серед яких втрата оправою тунелю герметичності через розкриття швів між чавунним тюбінгами, залізобетонними блоками, корозійні та електрокорозійні ураження тюбінгів та арматури блоків, вилуговування та інші види корозії розчину за оправою, бетону блоків, розчину швів. Надходження води в тунель збільшується і, не зважаючи на організований водовідвід, вона насичує колійний бетон, бетон блоків, особливо лоткових. Майже завжди підземні та ґрунтові води містять солі

– сульфати, хлориди тощо. Внаслідок цього електричний опір бетону, залізобетону, навіть дерев'яних шпал, різко знижується, спричиняючи зниження електричного опору в ланках електричних кіл «ходові рейки – земля», «права рейка – ліва рейка». Разом з тим механізми спільної деструктивної дії зазначених впливів на бетон і залізобетонні конструкції є недостатньо вивченими.

Зниження опору в ланці «ходові рейки – земля» призводить до збільшення втрат тягового струму. Ці втрати здійснюються струмами витоку, які мають потужний електрокорозійний вплив на чавунні тюбінги, арматуру залізобетону. Навіть бетон в пульсуючому режимі їх впливу, відповідному проходженню поїздами секції контактної мережі, зазнає електрокорозійного ушкодження у вигляді багатократного прискорення вилуговування. Зниження опору в ланці «права рейка – ліва рейка» більше допустимих величин призводить до порушення роботи рейкових кіл сигнальних струмів.

Отже, водонепроникність оправи тунелів має вирішальне значення для надійної роботи контактної мережі та систем СЦБ метрополітенів. Утримання тунельних споруд метрополітену в першу чергу має містити заходи з відновлення водонепроникності оправи. Проте ремонт та заміна конструкцій тунелів і колії ускладнені стисненими умовами тунелів, неможливістю припинення руху поїздів довше, ніж короткий нічний період. Тому традиційні матеріали і конструктивно-технологічні рішення ремонту будівель та споруд і навіть транспортних тунелів не завжди застосовні для метрополітену та/або не забезпечують повне відновлення втрачених експлуатаційних властивостей та подовження ресурсу. Виходячи з викладеного розвиток наукових основ підвищення ресурсу бетону та залізобетонних конструкцій колії і споруд метрополітену є актуальним завданням.

У зв'язку з цим на будівельному факультеті УкрДУЗТ виконуються дослідження з розвитку наукових основи підвищення ресурсу бетону та залізобетонних конструкцій колії і споруд метрополітену, розробки матеріалів і конструктивно-технологічних рішень з відновлення водонепроникності оправи тунелів.

УДК 629.45

С. В. Панченко, докт. техн. наук, А. О. Ловська, докт. техн. наук
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БАЛОК ІЗ ПЕРФОРАЦІЄЮ В НЕСУЧІЙ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ

DETERMINATION OF THE FEASIBILITY OF USING PERFORATED BEAMS IN THE BEARING STRUCTURE OF A FLAT WAGON

Залізничний транспорт вже тривалий час відіграє ключову роль в перевізному процесі Європи. При цьому одним із найбільш поширених типів вагонів, який експлуатується в міжнародному сполученні, є вагон-платформа. Це можна пояснити широким застосованням модульних транспортних засобів, зокрема контейнерів [1]. Залізницею вони частіш за все перевозяться на вагонах-платформах. Тому даний тип вагону є досить затребуваним.

Підвищення інтенсифікації перевезень вантажів в міжнародному сполученні викликали дефіцит спеціалізованих вагонів-платформ для перевезень контейнерів. Така проблема може бути вирішена шляхом впровадження в експлуатацію нових конструкцій вагонів-платформ, але це вимагає значних капітальних вкладень, що ускладнює їх широке впровадження. Варіантом вирішення проблеми нестачі спеціалізованих вагонів-платформ в міжнародному сполученні є модернізація універсальних вагонів шляхом постановки фітингових упорів [2].

Розрахунки на міцність несучої конструкції вагона-платформи моделі 13-401, обладнаного фітинговими упорами показали, що має місце значний резерв міцності в основних повздовжніх балках рами. Це обумовлює необгрунтовану підресорену масу несучої конструкції вагона-платформи. Тому пропонується впровадження перфорації в стінки основних повздовжніх балок рами. Розміщення отворів за довжиною основних повздовжніх балок обрано за полями розподілення напружень в них. З урахуванням запропонованого рішення є можливим зменшити тару несучої конструкції вагона-платформи майже на 2% у порівнянні із типовою конструкцією.

Проведено розрахунок на міцність несучої конструкції вагона-платформи із перфорацією в основних повздовжніх балках. При цьому найбільш навантажені зони зосереджені в місцях взаємодії хребтової балки зі шворневими. Максимальні напруження в цих зонах склали 181,5 МПа, що на 13,6% нижчі за допустимі [3].

Максимальні переміщення в вузлах несучої конструкції вагона-платформи зосереджені за середніми частинами основних повздовжніх балок рами і дорівнюють 2,7 мм. Отже результати

проведених розрахунків доводять, що міцність несучої конструкції вагона-платформи дотримується.

Результати проведеного дослідження сприятимуть підвищенню ефективності контейнерних перевезень вантажів в міжнародному сполученні. Також отримані результати будуть корисними напрацюваннями при проєктуванні та створенні нових конструкцій вагонів-платформ та модернізаціях існуючих.

[1] Nedeliakova E. Sustainability of railway undertaking services with lean philosophy in risk management-Case study [Text] / Nedeliakova E., Hudakova M., Masar M., Lizbetinova L., Stasiak-Betlejewska L., Šulko P. // Sustainability. – 2020. – Vol. 12(13), 5298. DOI: 10.3390/su12135298

[2] Gerlici J. Research into the Longitudinal Loading of an Improved Load-Bearing Structure of a Flat Car for Container Transportation [Text] / Gerlici J., Lovska A., Kozáková K. // Designs. – 2025. – Vol. 9(1), 12; DOI: 10.3390/designs9010012

[3] ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 162 с.

УДК 625.42:681.5

к.т.н. Прилипко А.А., Сіроклин І.М., PhD Щебликіна О.В.

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

РОЗРОБКА СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ЕЛЕКТРОДЕПО МЕТРОПОЛІТЕНУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО АНАЛІЗУ

Сучасні мегаполіси значною мірою залежать від ефективності та безпеки функціонування систем метрополітену. Електродепо, як операційний хребет будь-якої системи метрополітену, відіграє ключову роль у забезпеченні технічного обслуговування, ремонту та логістичної підтримки рухомого складу. Складність цих операцій, що охоплюють різноманітні активи, графіки, персонал та протоколи безпеки, вимагає впровадження високотехнологічних систем обробки інформації.

Розроблення складної системи обробки інформації для електродепо метрополітену створює унікальні виклики. Ці виклики включають управління гетерогенними даними, оптимізацію розподілу ресурсів, забезпечення моніторингу в реальному часі та інтеграцію різноманітних операційних процесів. Традиційні, монолітні архітектури систем часто виявляються неефективними в умовах динамічного та взаємопов'язаного характеру роботи депо. Ефективність, безпека та економічна доцільність експлуатації метрополітену безпосередньо залежать від продуктивності його депо. Отже, розробка надійних та інтелектуально спроектованих інформаційних систем є першочерговим завданням для модернізації та оптимізації цих критично важливих об'єктів інфраструктури.

У доповіді розглядається проблема розробки складних систем обробки інформації для електродепо метрополітену з використанням сучасних методів залізничної автоматики та телемеханіки. Запропоновано підхід до створення системи обробки інформації на основі об'єктно-орієнтованого аналізу, який дозволяє структурувати інформаційні потоки, оптимізувати взаємодію між апаратними та програмними компонентами, а також підвищити надійність системи. Розроблена структурна схема системи яка забезпечує автоматизацію контроля за рухом електропоїздів, ідентифікацію вагонів та діагностику обладнання.

Список літератури:

1. Моделювання точкових колійних датчиків з підвищеною завадостійкістю / А. А. Прилипко, С. О. Змій, О. А. Бойнік // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2019. - №5. С.32-39 DOI: 10.18664/ikszt.v24i5.181334
2. Розроблення точкового колійного датчика для визначення параметрів руху поїздів / С.О. Змій, І.Г. Воліченко, Р.В. Турчинов // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2016. – Ном. 11. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ, 2016. – С. 63–65.

УДК 624.19:624.04:004.942

Аспірант Є.А. Проказа, кандидат техн. наук Д.А. Фаст д-р техн. наук А.А. Плугін,

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТУНЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ, ПІДСИЛЕНИХ МЕТАЛОІН'ЄКЦІЙНИМИ СОРОЧКАМИ, ЗА ДОПОМОГОЮ ПОГРАМНО-РОЗРАХУНКОВОГО КОМПЛЕКСУ ЛІРА-САПР

ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIGHTENING STATE OF TUNNEL STRUCTURES REINFORCED WITH METAL INJECTION JACKETS USING THE LIRA-SAPR PROGRAMMING COMPLEX

Залізничні мости, тунелі та водопропускні труби є складними інженерними спорудами з тривалим строком служби, проте з часом вони зазнають пошкоджень і фізичного зносу. Для їх відновлення застосовують ремонти, які бажано виконувати без зупинки руху. В УкрДУЗТ розроблено технології ремонту залізобетонних і кам'яних конструкцій із використанням металоін'єкційних «сорочок» – сталевих оболонок, закріплених анкерами та заповнених ремонтним складом (рис. 1). Це дозволяє зберігати існуючі елементи та уникати масштабної заміни. У дослідженні поставлено завдання адаптації скінченно-елементної моделі аркових конструкцій із такими сорочками до реальних умов експлуатації шляхом аналізу літературних даних, розрахункового моделювання та порівняння результатів із експериментами.

а) *б*) *в*) *г*)

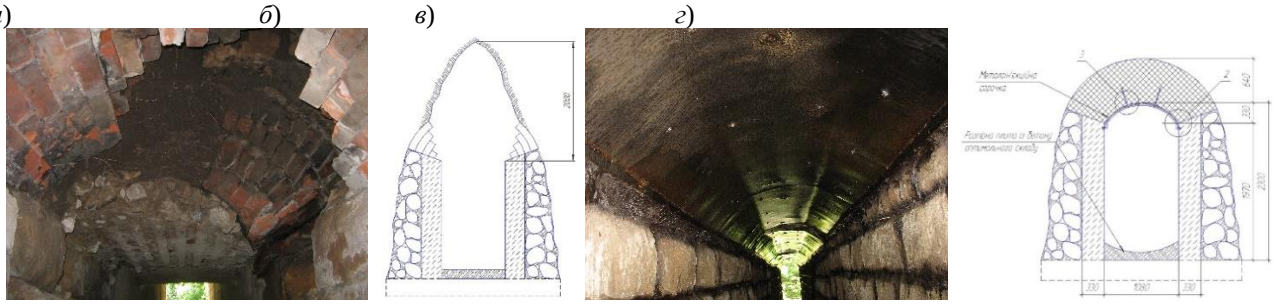
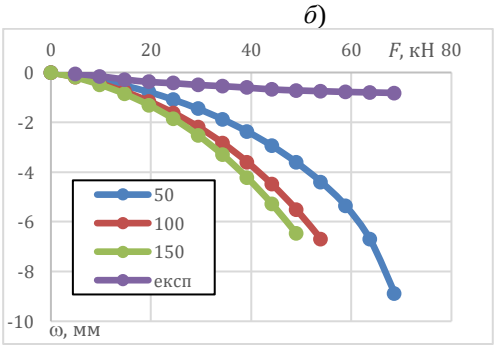
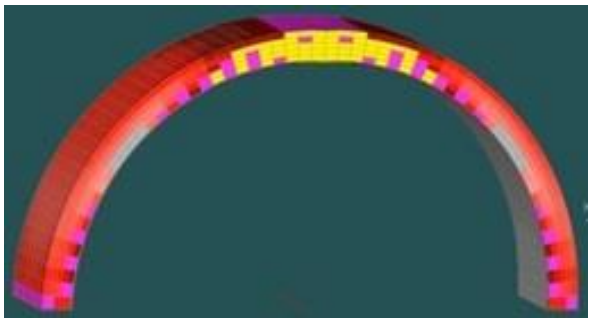


Рис. 1 Відновлення тримаючої здатності склепіння водопропускної труби на ділянці Харків – Куп'янськ Південної залізниці за допомогою металоін'єкційної сорочки: *а*, *б* – наскрізний вивал у склепінні; *в*, *г* – конструкція та вигляд металоін'єкціної сорочки

У [2] було досліджено роботу сталебетонних арок: напружено-деформований стан визначали методом скінченних різниць і перевіряли експериментально. Результати показали незначну різницю між обчисленнями та випробуваннями. Для натурних моделей у ЛІРА-САПР створено скінченно-елементні моделі та проведено розрахунки у нелінійній постановці. Порівняння з експериментами засвідчило: метод скінченних різниць завищує несучу здатність у середньому на 7,6 %, а метод скінченних елементів занижує її на 17,5 %. Це підтверджує достатню точність FEM-моделювання, хоча зниження результатів слід враховувати під час проєктування. Ймовірні похибки у вимірюванні радіальних переміщень у роботі [2] залишають простір для уточнення даних у подальших експериментах.

а) *б*)





Таблиця 1

Порівняльна таблиця тримаючої здатності моделей, отриманої експериментально та розрахунками

Крок анкерних петель моделі, мм	Тримаюча здатність (руйнівне навантаження) *P* та відхилення від експериментального значення Δ		
	Експери-ментальна	Розрахункові величини, отримані методом	
		скінчених різностей	скінчених елементів

	величина *F*, кН	за граничною рівновагою		за напружено-деформованим станом			
		F, кН	Δ, %	*F*, кН	Δ, %	*F*, кН	Δ, %
50	70	72	+2,8	74	+7,0	69	–1,4
100	71	72	0	74	+4,1	54	–24,7
150	66	72	+7,4	74	+11,8	49	–26,4
Сер.			+3,4		+7,6		–17,5

[1] Плугін А.А., Мірошніченко С.В., Калінін О.А., Никитинський А.В., Лютий В.А., Афанасьєв О.В. Нові конструктивно-технологічні рішення ремонту залізобетонних і кам’яних мостів і водопропускних труб: Досвід експлуатації після ремонту. Українська залізниця, 6 (60) (2018) 19–24.
[2] Молдавська Т.А. Напружено-деформований і граничний стан сталебетонних склепінь. Дис… к.т.н., 05.23.01, 1997, ХарДАЗТ, Харків.

УДК 65.014.134

к.т.н. доцент ***Проніна О.І.***
Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет» (м. Дніпро)

ПІДХОД ЩОДО РЕАЛІЗАЦІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ КЛАСУ FAI ЗА EVENT-DRIVEN ARCHITECTURE

Для створення автономних інтелектуальних безлюдних систем актуальною є модель Feeling Artificial Intelligence (FAI) [1]. Сьогодні невеликі роботизовані системи не мають потужних комп'ютерних засобів; отже, вони не можуть виконувати програмне забезпечення GenAI. Для робототехніки пропонується гібридний штучний інтелект класу FAI [2], який здатний виконувати функції, використовуючи лише когнітивні моделі, запозичені у живих істот. Цю модель гібридного штучного інтелекту пропонується реалізувати як Event-driven Architecture (EDA) [3]. Основною проблемою застосування EDA для FAI є необхідність формування реакції в режимі реального часу на основі сенсорних даних, отриманих у різний час і з різними характеристиками старіння. Для подолання вищезазначеної проблеми впроваджується нова когнітивна модель старіння даних, яка підтримує поступове забування подій з часом та оцінює їх поточну актуальність за допомогою нечіткого фактора достовірності (CF). Такий механізм старіння даних надає можливість реалізації FAI за EDA.

В доповіді запропоновано архітектуру EDA яка складається з декілька мікросистем EDA, що обслуговують різні етапи обробки даних від сенсорів. Організація такого конвеєра подій, коли спочатку згенеровані сенсорні дані є інтерпретованими як знання нульового рівня узагальнення, просуваються брокерами подій EDM відповідно до їх таблиць зв'язків, підготовлених на етапі проектування системи й виконують функцію узагальнення знань, й приводять до кінцевого управляючого рішення, надає FAI нові властивості: слабкозв'язаність, відмовостійкість, робота в режимі реального часу, масштабованість, відновленність, асинхронність обробки й гнучкість; децентралізованість та фрагментованість

Список літератури:

1. Kargin A., Petrenko T. Feeling Artificial Intelligence for AI-Enabled Autonomous Systems. In Proc. of 2022 IEEE Global Conf. on Artificial Intelligence and Internet of Things (GCAIoT). Alamein New City, Egypt, Dec. 18, 2022, pp. 88–93. DOI: 10.1109/GCAIoT57150.2022.10019235
2. 17. Kargin, A., Petrenko, T. (2023), "Knowledge Distillation for Autonomous Intelligent Unmanned System", in Pedrycz, W., Chen, S.-M. (Eds.), Advancements in Knowledge Distillation: Towards New Horizons of Intelligent Systems, Studies in Computational Intelligence, Vol. 1100, Springer International Publishing, pp. 193–230. DOI: 10.1007/978-3-031-32095-8
3. Abhisek Sinha. Event-Driven Architecture for Beginners Using RabbitMQ and .NET. A Comprehensive Guide to Distributed Solutions with RabbitMQ and .NET (English Edition), 2024. https://www.google.com/books/edition/Event_Driven_Architecture_for_Beginners/pCP-EAAAQBAJ?hl=en&gbpv=1

УДК: 656.256:656.259

к.т.н., доцент, В. І.Профатилов
Український держаний університет науки і технологій

ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту»

УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ПРИЙМАЧА ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ

Тональні рейкові кола (ТРК) досить широко використовуються на залізничному транспорті України в якості датчиків занятості рухомим складом окремих ділянок у межах перегону. ТРК є одним з найважливіших елементів систем залізничної автоматики так як їх робота безпосередньо впливає на безпеку руху поїздів на перегоні. В ТРК використовується амплітудно-модульований сигнал, що дозволяє підвищити захищеність рейкових приймачів від впливу гармонічних та імпульсних завад тягового струму, а також інших джерел завад. Існуючий приймач ТРК типу ПП здійснює аналогову обробку сигналів, що потребує використання цілого ряду фільтрів на індуктивностях та ємностях, які мають погану стабільність параметрів. Це призводить до значних коливань вхідного опору приймача ТРК в процесі експлуатації, що знижує його безпеку функціонування. Для реалізації аналогового приймача ТРК використовується багато виробів з міді та феромагнітних матеріалів (трансформаторів та дроселів), що мають високу вартість, великі ваго-габаритні показники та значне енергоспоживання. Крім того, кожний приймач ТРК потребує індивідуального регулювання перед введенням в експлуатацію та періодичного регулювання в процесі експлуатації. Для усунення цих недоліків, пропонується використовувати в ТРК цифровий приймач, що виконує цифрову обробку сигналів (ЦОС). Набагато краще перетворювати вхідний аналоговий сигнал у цифровий код, який потім можна обробити за допомогою алгоритмів ЦОС, використовуючі для цього цифрові сигнальні процесори. Цифровий приймач ТРК повинен реагувати на сигнал заданої несучої частоти і виділяти з нього сигнал з необхідною частотою модуляції 8 або 12 Гц.

Для апаратної реалізації приймача ТРК пропонується використовувати 16-ти розрядні мікроконтролери dsPIC30F компанії Microchip з підтримкою команд цифрової обробки сигналів. Висока швидкість роботи в 30 MIPS і ефективна система команд дозволяє використовувати ці мікроконтролери в складних системах реального часу. В цих мікроконтролерах поєднуються потужні математичні можливості, властиві цифровим сигнальним процесорам (апаратне множення 17x17, два 40-розрядних акумулятора та 40-розрядні регістри зсуву і накопичення), а також спеціальні команди, що дозволяють реалізовувати більшість базових алгоритмів цифрової обробки сигналів. [1]

Розробка проектів цифрових смугових фільтрів виконується за допомогою програми FilterLab компанії Microchip яка дозволяє по заданим параметрам і типу фільтра автоматично сформувати готовий програмний код для мікроконтролера dsPIC на мові високого рівня Сі. [2]

Для обробки аналогових сигналів за допомогою цифрового пристрою, необхідно попередньо піддати сигнал дискретизації, квантуванню та кодуванню. Мікроконтролер dsPIC30F має вбудований 12-розрядний швидкодіючий аналого-цифровий перетворювач (до 100 тисяч перетворювань за секунду), що дозволяє зменшити вартість пристрою та його розміри. Так як аналоговий сигнал не можливо подати відразу на вхід АЦП мікроконтролера, то на вході перед АЦП встановлюються додаткові елементи, що виконують допоміжні функції узгодження рівнів сигналу, захисту від перенапруг та фільтрації сигналу. Для усунення ефекту накладення спектрів, який виникає при перетворенні аналогового сигналу на цифровий, перед входом АЦП встановлюється активний фільтр нижніх частот (ФНЧ) з частотою зрізу 6 кГц. Активний ФНЧ виконаний по модифікованій схемі Салена – Кі, яка дозволяє реалізувати фільтр другого порядку будь якого типу. Для захисту від перевантажень по напрузі на вході приймача встановлюються швидкісні супресори з напругою пробою 56 В. Для діагностування роботи приймача ТРК та для інтеграції його у систему диспетчерського контролю, мікроконтролери мають вбудовані послідовні порти USART або CAN. [1]

Безпечність роботи цифрових пристроїв базується на двох основних принципах: дублювання та диверсифікація. Безпечна та надійна робота приймача ТРК забезпечується використанням трьохканальної структури та можливістю автоматичного переходу цифрового приймача ТРК у захисний стан у випадку відмови будь-якого елементу приймача, що відповідає приладам першого класу надійності. Для постійного контролю роботи мікроконтролерів dsPIC30F використовується охоронний таймер WDT, який у випадку зависання або збою в роботі, автоматично виконує операцію скидання та перезавантажує роботу програмного забезпечення. Для програмної диверсифікації роботи цифрового приймача ТРК, у кожному каналі використовується окреме програмне забезпечення, яке функціонує по різним алгоритмам. Для підвищення надійності програмного забезпечення використовуються перевірка часу виконання функцій, контроль цілісності програми в пам’яті мікроконтролера, періодична синхронізація роботи каналів та порівняння результатів критично важливих функцій, що будуть отримані в різних

каналах цифрового приймача.

Цифровий приймач ТРК має ряд переваг у порівнянні з аналоговими приймачами ТРК типу ПП: універсальність цифрового приймача ТРК, тобто використання всього лише одного типу приймача для сигналів різних частот; висока завадостійкість, забезпечується використанням цифрової фільтрації вхідного сигналу й застосуванням високонадійних елементів; легкість включення цифрового приймача ТРК у систему диспетчерського контролю для перевірки роботи приймача; розширений температурний діапазон роботи приймача (від −40°С до +85°С); стабільність вихідних параметрів у широкому діапазоні напруги живлення (від 110 до 260 В); значне зниження потужності споживання; зниження ваго-габаритних показників цифрового приймача ТРК; зниження експлуатаційних витрат на обслуговування ТРК.

Перелік посилань.

1. Creed Huddleston. Intelligent Sensor Design Using the Microchip dsPIC. Newnes, 2007. – 303 p
2. https://www.microchip.com/en-us/development-tool/FilterLabDesignSoftware

УДК 656.2

доцент **Прохоров В. М.**, магістрант **Мирошниченко К.А.**

ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ СОРТУВАЛЬНОЮ СТАНЦІЄЮ В КОНТЕКСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ

Сучасна логістика та експедиторські послуги потребують високої швидкості, точності та ефективності обробки вантажопотоків. Ключовою ланкою у цьому процесі виступають сортувальні станції (хаби), від роботи яких безпосередньо залежить успіх усієї ланцюга поставок. Підвищити продуктивність та надійність цих об'єктів дозволяє інноваційний підхід – створення моделі управління на основі технології цифрового двійника.

Цифровий двійник – це віртуальна динамічна модель реального фізичного об'єкта або процесу, що імітує його стан, поведінку та характеристики в режимі реального часу. У контексті сортувальної станції, цифровий двійник стає її точним віртуальним віддзеркаленням. Він інтегрує дані з безлічі джерел: датчиків руху, вагового обладнання, систем комп'ютерного зору, що відстежують посилки, інформації про маршрути та погодні умови.

Формування моделі управління на цій основі передбачає створення єдиного інформаційного простору, де керівник станції може:

1. візуалізувати у реальному часі весь технологічний процес на станції;
2. аналізувати показники ефективності: швидкість обробки, завантаження ліній, рівень простою техніки;
3. моделювати різні сценарії: наприклад, як вплине на роботу станції збільшення вагонопотоку перед святами або вихід з ладу однієї з сортувальних систем.

Ключові переваги моделі управління на базі цифрового двійника:

1. оптимізація вагонопотоків: система аналізує дані в режимі реального часу та автоматично перенаправляє вагонопотоки для запобігання заторів, пропонуючи оптимальний режим процесу розформування;

2. прогностичне обслуговування: цифровий двійник відстежує стан обладнання (колій, рухомого складу,) та процесу (поїзна ситуація, снан сортувального пррцесу) та прогнозує розвиток процесу. Це дозволяє перейти від реактивного ремонту до планово-попереджувального, зменшуючи простої;

3. підвищення точності та зниження помилок: модель ідентифікує аномалії, наприклад, помилки в сортувальній роботі, і негайно сигналізує про це операторам;

4. управління ресурсами: система допомагає оптимально розподіляти людські ресурси, прогнозуючи пікові навантаження на різних ділянках станції;

5. безперервне вдосконалення: модель дозволяє без ризиків для реального виробництва тестувати нові технології, змінювати логістику внутрішніх процесів і оцінювати їхній потенційний ефект.

Формування такої моделі управління включає кілька етапів:

1. оцифрування фізичного об'єкта: створення 3D-моделі станції та обладнання;

2. інтеграція даних: підключення потоків даних з IoT-датчиків, SCADA-систем, WMS/TMS;

3. розробка алгоритмів аналітики та симуляції: створення ядра цифрового двійника, здатного аналізувати та прогнозувати;

4. створення інтуїтивного інтерфейсу: розробка зручних інструментів візуалізації та звітності для персоналу.

Таким чином, формування моделі управління сортувальною станцією на основі технології цифрових двійників – це не просто IT-тренд, а стратегічний крок на шляху до створення «розумного» логістичного хабу. Ця модель перетворює управління з реактивного на проактивне та прогностичне, забезпечуючи принципово новий рівень операційної ефективності, надійності та

конкурентоспроможності в умовах стрімкого зростання обсягів e-commerce та вантажоперевезень.

1. Ghaboura S., Ferdousi R., Laamarti F., Yang Ch., Saddik A. El. Digital Twin for Railway: A Comprehensive Survey. IEEE Access. 2023. PP(99):1-1. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3327042.
2. Thompson E. A., Lu P., Atuobi H. B., Akoto E. T., Abbew C. K. Revolutionizing Railway Systems: A Systematic Review of Digital Twin Technologies. High-speed Railway. 2025; 3(4). DOI: 10.1016/j.hspr.2025.05.005.

УДК 629.4.077:629.4.027.51

Д. т. н., В. Г. Равлюк[1], М. Г. Равлюк[1], Я. В. Дерев'янчук[1]
[1]Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЛЬМОВИХ СИСТЕМ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ШЛЯХОМ ЗМЕНШЕННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ЗНОСУ КОЛОДОК

IMPROVING THE EFFICIENCY OF FREIGHT WAGON BRAKE SYSTEMS BY REDUCING BRAKE PAD WEAR NONUNIFORMITY

Ефективність гальмових систем вантажних вагонів безпосередньо впливає на безпеку руху та економічні показники АТ «Укрзалізниця». Однією з актуальних проблем є нерівномірність зносу гальмових колодок, що зумовлює додаткові витрати та скорочує ресурс вузлів і деталей вантажних вагонів. Дослідження особливостей розподілу сили натиснення на колодки та їх знос дає змогу виявити основні чинники, що погіршують роботу гальмової системи [1].

Аналіз процесу зносу композиційних гальмових колодок показав, що під час обстежень виявлено значну кількість нерівномірно зношених колодок у вантажних вагонах. Встановлено, що різниця у залишковому ресурсі таких колодок у одному вагоні може сягати до 55 %. При цьому не виявлено стабільної залежності між місцем встановлення колодки та інтенсивністю її зносу. Такий ефект пояснюється комплексом чинників, серед яких вагому роль відіграє нерівномірний розподіл сили натиснення на колодки під час гальмування. Окрім цього, швидкість зносу колодок має нелінійну залежність від навантаження, що підсилює ефект нерівномірності.

Хоча формально кожна колодка замінюється за фактичним станом, наявність істотної різниці у ресурсі призводить до зростання середнього зносу та економічних витрат [2]. Аналіз середнього залишкового ресурсу гальмових колодок показав, що окремі з них характеризуються більшим потенційним залишковим ресурсом порівняно з іншими. Доцільним є використання таких колодок на вагонах в умовах експлуатації, що потребують заміни пошкоджених колодок відповідної товщини, що можна розглядати як резерв для підвищення середнього залишкового ресурсу всіх колодок вагона. Застосування такого підходу стає ефективним лише за умови мінімізації нерівномірності зносу колодок [3].

За результатами досліджень встановлено, що при однакових силах натиснення на всі гальмівні колодки сумарний знос є мінімальним, а інтенсивність зносу окремих колодок вирівнюється. У випадках, коли сили натиснення розподілені за нормальним законом, формується асиметричний розподіл зносу, у якому мода, медіана і математичне сподівання не збігаються. Така зміщеність свідчить про збільшення ймовірності появи колодок із підвищеним зносом, що негативно впливає на експлуатаційні витрати.

Встановлено, що подвійне зменшення розподілу сили натиснення композиційних гальмових колодок дає змогу знизити середній рівень їх зносу приблизно до 20 %. Це підтверджує практичну значимість заходів, спрямованих на оптимізацію та вирівнювання навантаження на колодки під час гальмування. У граничному випадку, коли нерівномірність сили натиснення прямує до нуля, середній знос колодок досягає мінімального значення [4-5].

Встановлено, що розрахункові параметри зносу композиційних гальмових колодок мають умовний характер, однак відображають основні закономірності процесу та дають змогу оцінити економічні чинники, пов'язані зі зменшенням нерівномірності їх зносу.

За результатами досліджень встановлено, що нерівномірний знос композиційних гальмових колодок у вантажних вагонах є негативним явищем, яке зменшує строк їх служби та підвищує витрати на технічне обслуговування. Основною причиною цього є нерівномірний розподіл сили натиснення на колодки під час гальмування, особливо за умов нелінійної залежності зносу від навантаження.

Впровадження інноваційної гальмової важільної передачі (ГВП), розробленої за технологією УкрДАЗТ, дозволяє суттєво зменшити цей ефект, подовжити ресурс колодок, знизити експлуатаційні витрати та забезпечити надійну й безпечну експлуатацію вантажних вагонів.

Заходи, спрямовані на зменшення ненормативного зносу колодок за рахунок впровадження інноваційної ГВП суттєво покращують економічні та екологічні показники на залізничному транспорті.

[1] Нечволода С. І., Романюха М. О., Нечволода К. С. Проблеми нерівномірного зносу гальмових колодок у вантажних вагонах.Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. 2007. Вип. 86. С. 50-56.
[2] Равлюк В. Г. Аналіз негативних наслідків від ненормативної взаємодії гальмівних колодок з колісними парами у вантажних вагонах. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія : Механіко-технологічні системи та комплекси. 2016. Вип. 49 (1221). С. 119 – 123.
[3] Бабаєв А. М., Дмитрієв Д. В. Принцип дії, розрахунки та основи експлуатації гальм рухомого складу залізниць : навчальний посібник. Київ : ДЕТУТ, 2007. 176 с.
[4] Вагони вантажні. Система технічного обслуговування та ремонту за технічним станом : СТП 04 – 010:2018 : затв. нак. АТ «Укрзалізниця» від 08.08.2019 р. №519. 2018. 25 с.
[5] Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України: ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015: Затв. нак. Укрзалізниці від 28.10.1997. № 264-Ц. Київ : 2004. 146 с.

УДК 656.259.12

PhD О.В. Щебликіна.., аспірант С.В. Рева
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОГРАМОВАНОГО КЕРУВАННЯ: ERTMS, CBTC ТА PTC

Розвиток залізничного транспорту характеризується переходом від традиційних систем сигналізації на основі фіксованих блок-ділянок до програмованих, комунікаційно-орієнтованих систем керування. Цей зсув парадигми зумовлений потребою у підвищенні безпеки, пропускної здатності та, у багатьох випадках, інтероперабельності між різними залізничними мережами. У відповідь на ці виклики у світі сформувалися три основні технологічні парадигми: європейська система ERTMS, міська система CBTC та північноамериканська PTC. Кожна з них має унікальну філософію, архітектуру та сферу застосування, що робить їх порівняльний аналіз актуальним завданням для стратегічного планування модернізації залізниць.

Європейська система керування залізничним рухом (ERTMS) є стандартом, розробленим насамперед для забезпечення інтероперабельності. Її ключова мета – створення єдиного гармонізованого сигнального простору для подолання фрагментації з понад 20 національних систем сигналізації в Європі, що історично перешкоджало транскордонному руху. Архітектура ERTMS складається з двох основних компонентів: Європейської системи керування поїздами (ETCS), що є сигнальним "мозком" системи, та системи зв'язку GSM-R (з перспективою переходу на 5G-орієнтовану FRMCS). ETCS реалізується на кількох рівнях: Рівень 1 є системою "накладення" на існуючу сигналізацію з переривчастою передачею даних через приколійні радіомаяки (євробалізи). Рівень 2 — це повноцінна радіо-орієнтована система, де поїзд підтримує безперервний зв'язок з центром радіоблокування (RBC), що дозволяє відмовитися від приколійних світлофорів і значно підвищити пропускну здатність. Концепція "рухомого блоку", раніше асоційована з Рівнем 3, тепер інтегрована у специфікацію Рівня 2, що відкриває шлях до максимальної ефективності на базі єдиного стандарту.

Системи керування рухом на основі радіозв'язку (CBTC) розроблені з першочерговою метою максимізації пропускної здатності в мережах з високою щільністю руху, таких як метрополітени та завантажені приміські лінії. На відміну від ERTMS, CBTC не є єдиним стандартом, а являє собою набір пропрієтарних рішень від різних виробників. В основі всіх систем CBTC лежить принцип "рухомого блоку". Завдяки безперервному двонаправленому радіозв'язку між поїздом та приколійним обладнанням, система в реальному часі знає точне місцезнаходження кожного поїзда. Це дозволяє створювати динамічну "зону безпеки", що рухається разом з поїздом, і скорочувати інтервали руху до 60-90 секунд. Архітектура CBTC є більш інтегрованою, поєднуючи функції автоматичного захисту (ATP), автоматичного ведення (ATO) та автоматичного нагляду (ATS), що природно підтримує високі рівні автоматизації, аж до повністю безпілотного руху (GoA4).

Система позитивного контролю поїздів (PTC) є, перш за все, мандатом на безпеку, впровадження якого було законодавчою вимогою у США для запобігання аваріям, спричиненим людським фактором. На відміну від ERTMS та CBTC, PTC не є інтегрованою системою сигналізації, а функціонує як система "накладення" (overlay) на існуючу інфраструктуру. Її головне завдання — не оптимізація руху, а проактивне запобігання

чотирьом типам інцидентів: зіткненням поїздів, сходам з рейок через перевищення швидкості, несанкціонованому в'їзду в зони виконання робіт та руху через неправильно встановлений стрілочний перевід. Система безперервно контролює місцезнаходження та швидкість поїзда і, якщо прогнозує порушення безпечних параметрів, автоматично застосовує гальма. Таким чином, PTC не підвищує пропускну здатність, яка залишається обмеженою можливостями базової системи сигналізації.

Висновок. Вибір між ERTMS, CBTC та PTC є стратегічним рішенням, що залежить від першочергових завдань залізничного оператора. ERTMS є безальтернативним стандартом для магістральних та транскордонних ліній, де ключовою вимогою є інтероперабельність. CBTC є оптимальним рішенням для ізольованих міських мереж, де пріоритетом є максимальна інтенсивність руху. PTC є економічно ефективним рішенням для підвищення рівня безпеки на існуючих лініях без їх кардинальної модернізації. Сучасні тенденції вказують на конвергенцію технологій, проте фундаментальні філософські відмінності залишаються. Для України, що прямує до інтеграції в європейську транспортну мережу TEN-T, пріоритетним є впровадження ERTMS на ключових міжнародних коридорах.

Перелік посилань

1 Salido F. J. et al. A review of CBTC and ETCS systems, and their underlying moving principles. WIT Transactions on The Built Environment, Vol 199, 2020 WIT Press doi:10.2495/CR200021

2 ERTMS. International Union of Railways. 2022. URL: https://uic.org/rail-system/telecoms-signalling/article/ertms (дата звернення: 20.09.2025).

3 Communications-Based Train Control (CBTC). Railsystem.net. URL: https://railsystem.net/communications-based-train-control-cbtc/ (дата звернення: 20.09.2025).

УДК 621.396

д-р техн. наук, проф., ***Трубчанінова К.А.****, УкрДУЗТ, м. Харків, Україна*
магістрант, ***Седякін І.І.****, УкрДУЗТ, м. Харків, Україна*

ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СИСТЕМ ВНУТРІШНЬОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ В КОНТЕКСТІ МЕРЕЖ ШОСТОГО ПОКОЛІННЯ

Зростання вимог до надійності, швидкодії та точності позиціонування є одним з ключових драйверів розвитку мереж шостого покоління (6G), де очікується досягнення субметрової точності з частотою оновлення даних у сотні мілісекунд. Системи внутрішнього позиціонування (IPS) вже стали критично важливим компонентом для цивільних, військових, рятувальних та миротворчих операцій. За прогнозами, до 2029 року світовий ринок цієї технології досягне 31,4 млрд доларів США, що підкреслює її стратегічне значення.

Аналіз технологій IPS показує, що кожна з них має свої сильні та слабкі сторони. Технології на основі Wi-Fi і Bluetooth (BLE) вирізняються широкою сумісністю та простотою впровадження. Однак їх ефективність суттєво обмежується впливом багатопроменевості, блокуванням сигналів та значними трудовими витратами на створення баз даних відбитків сигналів. Вони здебільшого не забезпечують необхідну для 6G-систем субметрову точність. Технологія RFID пропонує ефективну ідентифікацію та моніторинг об'єктів у реальному часі, але її точність також є обмеженою. Zigbee є ідеальним рішенням для масштабованих мереж з низьким енергоспоживанням, але її недоліками є обмежений радіус дії, схильність до перешкод і низька швидкість передачі даних.

На противагу цим технологіям, надширокосмуговий зв’язок (UWB) виділяється як найперспективніший кандидат для 6G-систем позиціонування. Завдяки використанню надкоротких імпульсів, що дозволяють точно вимірювати час прольоту сигналу, UWB досягає найвищої точності позиціонування - до 10 см. Ця технологія також демонструє високу стійкість до багатопроменевості, проникність крізь перешкоди та високу пропускну здатність, що робить її ідеальною для реального часу. Незважаючи на значні переваги UWB, для повної інтеграції в 6G-мережі та подолання існуючих недоліків, таких як висока вартість апаратного забезпечення та складність програмного забезпечення, необхідні подальші дослідження.

Робота присвячена розробці гібридних алгоритмів позиціонування, які поєднують UWB з іншими технологіями. Зокрема, інтеграцію UWB з алгоритмами на основі машинного навчання для створення адаптивних систем, що здатні самостійно оптимізувати точність в умовах динамічних середовищ. Це дозволить розробити універсальну платформу, яка забезпечить безперервне та високоточне позиціонування в різних сценаріях, від розумних будівель до промислової автоматизації та військових операцій.

1. Khan, R., & Kumar, R. (2023). Hybrid Positioning System Using UWB and Machine Learning for 6G Indoor Scenarios. IEEE Transactions on Wireless Communications, 22(1), 101-115.

2. Zhang, L., & Li, Y. (2023). Deep Learning-Based UWB Signal Processing for Enhanced Indoor Localization. Journal of Communications and Networks, 25(2), 205-218.

УДК 004.93:351.75

к.т.н. Змій С.О., здобувачі Семикрас А. І., Канєвський М.В.

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

ВПРОВАДЖЕННЯ СЕРВЕРУ ПРОГНОЗУВАННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ОСОБИ НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В ЄДИНИЙ ІНФОРМАЦІЙНИЙ ПРОСТІР СИСТЕМ БЕЗПЕКИ «БЕЗПЕЧНЕ МІСТО»

Впровадження комплексних систем «Безпечне місто» значно підвищило рівень захищеності та керованості українських громад, успішно вирішуючи завдання щодо зниження злочинності та прискорення реагування на надзвичайні ситуації. Проте, залишається невирішеною потреба у забезпеченні безпеки мешканців безпосередньо в житлових будинках під час кризових подій. У доповіді пропонується інтегрувати до існуючої структури новий елемент – сервер прогнозування місцезнаходження особи, що функціонує на основі технологій штучного інтелекту та комп'ютерного зору.

Пропонована система передбачає підключення до єдиного комплексу камер, встановлених біля під'їздів та на кожному поверсі будівель. Застосування технологій комп'ютерного зору дозволить не лише підраховувати кількість людей, що входять та виходять, але й ідентифікувати їх. Це дає можливість з певною ймовірністю визначати орієнтовне місцезнаходження особи в будівлі. Штучний інтелект, у свою чергу, аналізуватиме поведінкові патерни для виявлення відхилень, які можуть свідчити про несанкціоноване проникнення чи інші загрози. Для коректної роботи системи необхідна згода мешканців на обробку даних.

Інтеграція «Сервера прогнозування місцезнаходження особи» доповнить існуючу архітектуру, яка включає сервери розпізнавання номерів, облич, контролю касових операцій та моніторингу транспортних потоків. У разі виникнення надзвичайної ситуації, такої як вибух, аварія чи пожежа, рятувальні служби, поліція та медики отримають оперативний доступ до даних про кількість людей у будівлі, що значно прискорить реагування та підвищить ефективність рятувальних операцій. Таким чином, модернізований комплекс забезпечить вищий рівень безпеки, створить більш комфортні умови проживання та надасть надійний інструмент для контролю, аналізу й збереження важливих даних.

Джерела інформації:

1. Гладун Ю. Я. Побудова автоматизованої інформаційно-аналітичної системи "безпечне місто" / Ю. Я. Гладун // Ефективність державного управління. - 2012. - Вип. 32. - С. 277-283. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efdu_2012_32_36..
2. Захожай О. І. Інформаційна технологія розпізнавання образів в задачах автоматизованої обробки інформації управління складними системами / О. І. Захожай // Проблеми інформаційних технологій. - 2013. - № 1. - С. 61-68. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pit_2013_1_10.
3. Змій, С. О. Застосування компютерного зору для визначення наявностей людей у будівлях: нові можливості для рятувальних операцій / С. О. Змій, І. М. Сіроклин, А. І. Семикрас // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті : тези стендових доповідей та виступів учасників 37-ї Міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті" (Харків, 10-11 жовтня, 2024 р.). – 2024. – № 3 (додаток). – С. 76-77.

УДК 656.259:621.396:004.7

к.т.н., доцент, Сердюк Т.М.; студент Кліпацький А.Б.

Український держаний університет науки і технологій

ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту»

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ 5G ТА 6G У ЗАЛІЗНИЧНІЙ АВТОМАТИЦІ ТА ЗВ'ЯЗКУ

У роботі розглядається застосування технологій п'ятого та шостого поколінь стільникового зв'язку для побудови та модернізації систем залізничної автоматики й оперативного зв'язку. Актуальність

зумовлена поступовим виведенням з експлуатації GSM-R і переходом до концепції FRMCS як єдиної бездротової платформи для службових сервісів, даних ETCS/ERTMS, відеоспостереження та телеметрії рухомого складу. Метою є обґрунтувати архітектурні підходи на базі 5G/5G-Advanced з урахуванням вимог надійності експлуатації засобів залізничної автоматики та забезпечення безпеки руху залізниць.

Реалії викликають необхідність забезпечити сумісність існуючих систем залізничної автоматики та зв'язку із можливостями 5G і 6G технологій. При передачі інформації необхідно забезпечити гарантовані показники затримки, доступності та ізоляції трафіку для критично важливих застосувань (оперативного голос/відео і радіозв'язку; системи автоматики поїзд-колія (автоматичної локомотивної сигналізації); передачі даних рівня ETCS), одночасно підтримуючи некритичні сервіси (пасажирський доступ до Інтернету Wi-Fi, несинхронна телеметрія). Отже, впровадження нових технологій вимагає комплексної інтеграції з наявною інфраструктурою і системами залізничної автоматики та зв'язку, енергетики, розробки чіткої моделі безпеки та поетапної міграції від GSM-R.

Раціональною є побудова приватних не-публічних мереж (NPN) 5G SA на ключових вузлах і вздовж критичних ділянок колій із виділеними slices для службового трафіку та ETCS, тоді як пасажирські сервіси можуть обслуговуватися окремими slices або публічною мережею оператора. Для тунелів та «складних» місцевостей доцільно застосовувати комбіновані рішення RAN + DAS. Перехідний період передбачає паралельну експлуатацію GSM-R і FRMCS із використанням міжпоколінних шлюзів та поетапним виведенням застарілих інтерфейсів. Таке розділення знижує технологічний ризик і спрощує сертифікацію безпеки.

Безперервність надання сервісів досягається за рахунок географічного та логічного резервування, багатоканальних маршрутів трафіку та застосування супутникового бекапу NTN на «білих плямах». Модель безпеки повинна спиратися на вимоги 3GPP до архітектури та процедур (ідентифікація, аутентифікація/авторизація, керування ключами, сегментація трафіку, моніторинг подій). У контексті індустріальних систем (OT) критичною є інтеграція з RBC/інтерлокінгами через захищені інтерфейси, мінімізація довіри та аудит конфігурацій; необхідні SOC-процеси й процедури реагування на інциденти.

Позиціювання та «мережа-як-сенсор».

Еволюція 5G-позиціювання (Rel-17/18) створює підґрунтя для підвищення точності локалізації рухомих одиниць і об'єктів інфраструктури, що підтримує автоматизацію експлуатації (ATO/GoA), точне «зшивання» телеметрії з геометрією колії та раннє виявлення аномалій полотна. Концепція «мережа-як-сенсор» передбачає використання радіопараметрів RAN як додаткового джерела даних моніторингу стану колії та навколишнього середовища.

Ефективність впровадження визначається операційною моделлю: розподілом відповідальності між інфраструктурним менеджером і публічним оператором, регламентами експлуатації, планом профілактичних робіт, а також підготовкою персоналу (інженери 3GPP-мереж, OT-безпека, інтеграція сигналізації). Формалізація SLA, процедури деградації сервісів та аварійні сценарії є обов'язковими елементами приймально-здавальних випробувань.

Для реалізації 5G і 6G технологій необхідно обстеження радіоумов і моделювання RAN з урахуванням тунелів, мостів і заломів рельєфу; планування DAS у критичних зонах; розробки пілотного проекту FRMCS на 5G SA з вимірюваними KPI (затримка, джиттер, PLR, доступність); впровадження моделі безпеки за 3GPP: PKI, сегментація трафіку, RBAC, телеметрія ядра та RAN із централізованим моніторингом; поетапна міграція від GSM-R через шлюзи сумісності; визначення контрольних точок відмови; масштабування сервісів (ETCS, оперативний голос/відео, телеметрія) в окремих slices; інтеграція пасажирських сервісів без впливу на критичні; оцінка TCO і вибір моделі NPN/орендованих slices із залученням публічних операторів.

Отже, 5G/5G-Advanced забезпечують механізми для консолідації службових сервісів залізниці в межах FRMCS із гарантіями затримки, доступності та ізоляції трафіку. Для залізничної галузі це означає підвищення рівня автоматизації, точності локалізації та надійності зв'язку на складних ділянках. У коротко- та середньостроковій перспективі доцільно розглядати 5G-Advanced як базу для FRMCS із врахуванням сумісності з очікуваними 6G-можливостями. Запропонована архітектура на засадах NPN, мережевого розділення та комбінованих рішень RAN+DAS дозволяє реалізувати поетапну міграцію від GSM-R із збереженням сумісності й кіберстійкості. Залежність від локальних «вузьких місць» зменшується завдяки резервуванню, супутниковому бекапу NTN та регламентованим процедурам експлуатації. Очікувані напрацювання 6G варто враховувати вже на етапі проектування, однак у найближчий період практичним ядром цифровізації виступатиме 5G-Advanced.

УДК 656.259:621.396:004.7

к.т.н., доцент, Сердюк Т.М.; студент Овчинніков А. В.
Український держаний університет науки і технологій
ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту»

СИСТЕМА СЛІДКУВАННЯ ЗА ПЕРЕМІЩЕННЯМ РУХОМОГО СКЛАДУ ТА ВАНТАЖІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Сучасна залізнична логістика вимагає оперативного, точного та надійного контролю положення рухомого складу і стану вантажів для підвищення ефективності перевезень, зниження простоїв і забезпечення безпеки. Мета наукової роботи полягає в створенні масштабованої системи, яка забезпечить точне позиціювання вагонів/потягів; ідентифікацію й статус вантажу (навантаження/розвантаження, цілісність); моніторинг стану техніки (контейнери, колісні пари, гальма); аналітику для планування і предиктивного технічного обслуговування.

Radio Frequency Identification (RFID) – це технологія безконтактної автоматичної ідентифікації об’єктів за допомогою радіочастотних міток (тегів) і зчитувачів. Вона дозволяє ідентифікувати об’єкти на відстані без прямого контакту чи видимості; зменшити час на ручний облік і перевірку вантажів; підвищити точність даних завдяки автоматичному збору інформації; відстежувати переміщення об’єктів у реальному часі.

У логістичних системах RFID використовується для маркування вантажів, контейнерів, транспортних засобів, вагонів та іншого рухомого складу. Це забезпечує точний контроль при вході та виході з логістичних хабів, на складі та в пунктах доставки.

Запропоновано впровадити ідентифікацію вантажів та вагонів на базі RFID-технології. RFID-технології включають в себе пасивні/активні транспондери, стаціонарні й мобільні зчитувачі, які є базовим інструментом для автоматичної ідентифікації вагонів, контейнерів і пакетів. Для залізничних застосувань доцільним є використання пасивних UHF RFID (ISO/IEC 18000-6) для ідентифікації місць і маркування контейнерів і активних/напівактивних RTLS-тегів для довготривалого моніторингу у віддалених ділянках.

Позиціонування об’єктів реалізовано за допомогою GNSS (GPS/GLONASS/BeiDou/Galileo) для абсолютної прив’язки об’єкта; інерційних блоків (IMU) для згладжування у тунелях і шумних умовах; допоміжних методів:: локальні RTK бази, опорні буї, позиціювання через 5G (впровадження релевантних функцій RAN).

Штучний інтелект (ШІ) у поєднанні з даними від RFID-систем відкриває нові можливості для прогнозування, аналітики та автоматизації процесів. ШІ дозволяє прогнозувати затримки та оптимізувати маршрути. Він може аналізувати історичні та поточні дані про рух транспорту і вантажів, передбачати затримки та пропонувати оптимальні маршрути. Автоматичне виявлення аномалій відкриває нові горизонти у реалізації «швидкодії» системи слідкування за рухомим складом. Системи на основі ШІ здатні виявляти незвичні маршрути або затримки, що може сигналізувати про крадіжку, помилку у вантажі або технічну несправність.

Поєднання RFID та ШІ дозволяє автоматично оновлювати інформацію про наявність вантажів, забезпечуючи оптимальне розміщення та швидке формування замовлень. За допомогою ШІ реалізовано аналіз продуктивності транспортних засобів, дані про переміщення рухомого складу допомагають прогнозувати технічне обслуговування, підвищуючи безпеку та ефективність роботи.

Залізничні перевезення, які реалізуються із використанням RFID-міток на вагонах і контейнерах у поєднанні з ШІ, дозволяють відстежувати кожен вагон у реальному часі, прогнозувати прибуття на станції та виявляти незвичні відхилення від маршруту.

Переваги інтегрованого підходу слідкування за рухомою одиницею з поєднанням RFID та ШІ:

- підвищення точності і швидкості обліку;
- зменшення людського фактора та помилок;
- підвищення прозорості ланцюга постачання;
- можливість проактивного управління ресурсами та ризиками;
- економія витрат за рахунок оптимізації маршрутів та скорочення простоїв.

Таким чином, можемо зробити висновок, що впровадження RFID-технологій у поєднанні зі штучним інтелектом дозволяє створювати високоефективні системи контролю переміщення рухомого складу та вантажів. Це не лише підвищує точність і швидкість логістичних процесів, а й забезпечує можливість прогнозування та автоматизації рішень, що є критично важливим у сучасній транспортній інфраструктурі та глобальних ланцюгах постачання.

УДК 656.259:621.396:004.7

к.т.н., доцент,Сердюк Т.М.;аспірант Смірнов А. О.
Український держаний університет науки і технологій

ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту»

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ КОДОВОГО СТРУМУ В РЕЙКОВИХ КОЛАХ

Рейкові кола (РК) є базовим елементом систем залізничної автоматики та сигналізації, що забезпечують контроль зайнятості колійних ділянок, передачу кодових сигналів автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) та пропуск зворотного тягового струму та пропуск рухомого складу. Основними параметрами, що визначають їхню працездатність, є амплітудні та часові параметри кодового струму. Відхилення від номінальних характеристик можуть призвести до хибних спрацювань, збоїв у передачі сигналів чи зниження рівня безпеки руху, яке неприпустиме.

Традиційні методи контролю базуються на вимірюванні параметрів струму та періодичних перевірках обладнання, однак вони не завжди дозволяють оперативно виявляти приховані дефекти і/або передбачати відмови. У цьому контексті актуальним є використання технологій штучного інтелекту (ШІ) для аналізу великих масивів даних і розпізнавання аномалій у реальному часі.

У науковій роботі проаналізовано існуючі методи діагностування рейкових кіл, які базуються або на вимірюванні напруги і струму на початку і в кінці рейкового кола із накладанням шунта або за його відсутності і пов’язані із виходом обслуговуючого персоналу на поле, або на вимірюванні параметрів струму локомотивної сигналізації, гармонійного складу зворотного тягового струму і непрямого методу визначення параметрів РК, опору ізостиків, баласту за допомогою рухомого вагону-лабораторії. Використання вагонів-лабораторій дозволяє здійснювати безперервний моніторинг стану рейкових кіл у динаміці, без зупинки поїздів, що підвищує ефективність експлуатації та рівень безпеки руху.

Вагони-лабораторії є мобільними комплексами контролю, які дозволяють здійснювати безперервний моніторинг стану систем автоматики залізничної інфраструктури під час руху поїзда. Традиційно результати вимірювань зберігаються у вигляді «сирих» даних і потребують подальшої ручної обробки, що ускладнює оперативне прийняття рішень. Застосування штучного інтелекту (ШІ) у системах збору та аналізу даних відкриває можливості автоматизованої діагностики та переходу до предиктивного технічного обслуговування (ТО).

Для збору і аналізу даних з рейкових кіл доцільно використовувати такі методи, реалізовані на базі штучного інтелекту:

- нейронні мережі (CNN, LSTM), які дозволяють легко виявляти аномалії у часових параметрах кодового струму;
- алгоритми кластеризації: групування вимірювань за типовими станами («норма», «знос», «відмова»);
- предиктивна аналітика: прогнозування терміну виходу з ладу обладнання;
- Edge AI: розміщення моделей штучного інтелекту безпосередньо у вагоні-лабораторії для обробки даних у реальному часі;
- Big Data та хмарні обчислення: централізований аналіз масивів вимірювань з урахуванням історичних даних.

Очікувані результати від впровадження запропонованої методики діагностування РК з вагону-лабораторії із використанням штучного інтелекту:

- автоматичне формування діагностичних звітів без участі оператора;
- зменшення кількості хибних відмов та підвищення точності діагностування;
- своєчасне виявлення прихованих дефектів та прогнозування відмов;
- оптимізація витрат на технічне обслуговування за рахунок переходу від планово-попереджувальної технології до технології обслуговування «за станом» об’єкта;
- інтеграція даних з вагона-лабораторії у загальну цифрову платформу управління інфраструктурою.

Отже, використання штучного інтелекту у вагонах-лабораторіях залізничної автоматики та зв’язку дозволяє перейти до інтелектуальної діагностики стану РК в реальному часі. Це підвищить надійність залізничної автоматики, скоротить час виявлення дефектів та створить підґрунтя для цифрової трансформації обслуговування залізничної інфраструктури. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку адаптивних моделей машинного навчання, що враховують специфіку різних ділянок колії та змінні експлуатаційні умови.

УДК 656.256:681.3

Бунчуков О.А. *(директор департаменту автоматики та телекомунікацій ПАТ "Укрзалізниця")*

канд. тех. наук І.М. Сіроклин, канд. тех. наук С.О. Змій,

Український державний університет залізничного транспорту, Україна

ПРЯМЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАСАЖИРОПОТОКІВ НА ОСНОВІ ЕЛЕМЕНТАРНИХ МАРШРУТІВ

У рамках комплексного дослідження методів підвищення точності контролю експлуатаційних характеристик електрорухомого складу метрополітену обґрунтовано необхідність моделювання пасажиропотоків. Аналіз попередніх досліджень у сфері громадського транспорту [1] свідчить про еволюцію методів операційних досліджень і планування, однак більшість із них зорієнтовані на макрорівень і не дозволяють деталізувати індивідуальні траєкторії пасажирів.

Класичні підходи, засновані на оцінці OD-матриць із даних смарт-карт [2] або на латентних моделях вибору маршруту [3], потребують значних припущень щодо поведінки пасажирів і залишають певну невизначеність відносно фактичного шляху. Для отримання еталонних даних у представленому дослідженні застосовано нестандартний метод прямого моделювання пасажиропотоків у транспортній мережі метрополітену. В його основу покладено підхід до формалізації структури переміщень шляхом декомпозиції мережі на набір елементарних маршрутів.

Під елементарним маршрутом розуміється переміщення електрорухомим складом між двома суміжними станціями у певному напрямку, тоді як повний рух поїзда по всій лінії не розглядався. Таким чином, будь-який повний шлях пасажира від станції входу до станції виходу може бути представлений у вигляді послідовності елементарних маршрутів.

На початковому етапі сформовано базу всіх можливих послідовностей елементарних маршрутів у межах заданої транспортної мережі в розрізі їх реалізації у часі. Ця база даних включала як прямі поїздки без пересадок, так і маршрути зі зміною ліній. Вона виступала універсальним простором можливих траєкторій, придатним для подальшого аналізу.

На наступному етапі здійснено генерацію пасажирів. На відміну від класичних підходів, де задається ймовірність входу пасажира на конкретній станції, у запропонованій методиці випадкова величина визначається за іншим принципом. Кожному агенту-пасажиру одразу призначається один із допустимих маршрутів із загального простору, фактично –ймовірність реалізації того чи іншого маршруту із масиву вже визначених на попередньому етапі. Значення ймовірності реалізації конкретної послідовності елементарних маршрутів встановлюється пропорційно до заданих вагових коефіцієнтів, що відображали поведінкові стратегії (мінімізація кількості пересадок, пріоритет швидких або коротких маршрутів).

Для проведення імітаційного експерименту застосовано метод рандомізації: кожен агент-пасажир отримує маршрут шляхом випадкового вибору з множини можливих, з урахуванням їхніх ймовірностей. У результаті для загальної сукупності з 60 000 агентів-пасажирів згенеровано детальну базу даних, що містила часові мітки проходження кожного елементарного відрізку. Це дозволило сформувати еталонні дані навантаження на кожен перегін і кожен поїзд у динаміці моделювання (рис. 1).

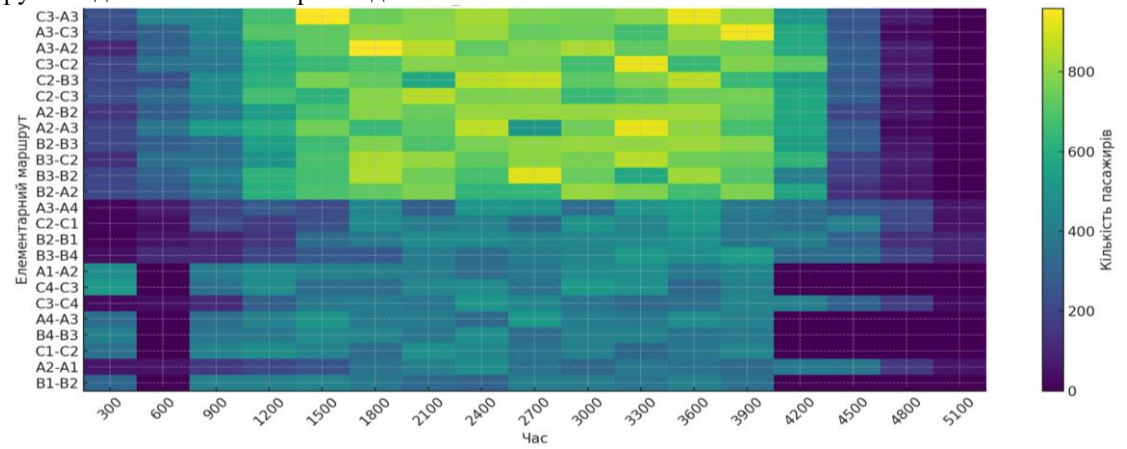


Рис. 1. Теплова карта моделювання завантаженості елементарних маршрутів у часі

Оригінальність підходу полягає у зміні точки прикладання ймовірнісного механізму.

Замість генерації факту входу на станцію реалізовано генерацію повного маршруту. Така схема усуває невизначеність щодо подальших переміщень пасажира та дає змогу відразу отримувати точний розподіл навантаження по всіх елементарних маршрутах. Перспективним напрямом є інтеграція такого підходу в системи цифрових двійників транспортної інфраструктури [4], що дозволяє поєднати модельовані та реальні дані для прогнозних сценаріїв.

Розроблена методика прямого моделювання забезпечила: уніфікацію опису маршрутів на основі елементарних сегментів; можливість варіювати стратегії вибору шляху через систему вагових коефіцієнтів; створення повної еталонної бази навантаження для задач перевірки реконструктивних моделей.

Література

1. Cats, O., Gkiotsalitis, K., & Schöbel, A. (2025). *50 Years of Operations Research in Public Transport*. EURO Journal on Transportation and Logistics, 14, 100160. https://doi.org/10.1016/j.ejtl.2025.100160
2. Hussain, A. E., Bhaskar, A., & Chung, E. (2021). *Transit OD matrix estimation using smartcard data: Recent developments and future research challenges*. Transportation Research Part C, 125, 103044. https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103044
3. Mo, B., Ma, Z., Koutsopoulos, H., & Zhao, J. (2023). *Passenger Path Choice Estimation Using Smart Card Data: A Latent Class Approach with Panel Effects Across Days*. arXiv preprint. https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.03808
4. Ou, Y., Mihaita, A.-S., Ellison, A., Mao, T., Lee, S., & Chen, F. (2025). *Rail Digital Twin and Deep Learning* Electronics, 14(12), 2359. https://doi.org/10.3390/electronics14122359

УДК 629.4.05:621.391.8

к.т.н. Сосунов О.О.

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНОЇ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ФІЛЬТРІВ В ІСНУЮЧІЙ СИСТЕМІ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

Розглядається потенційна можливість використання цифрової фільтрації в існуючої системі локомотивної сигналізації. Ця система застосовується як додатковий засіб регулювання руху поїздів на дільницях, обладнаних автоблокуванням.

Існуючий фільтр локомотивної системи сигналізації ФЛ 25/75М є пасивним та побудованим в аналоговому виді. Побудова смугових фільтрів на низьких частотах потребує великих індуктивностей, що містять багато меді. Крім цього, аналогові фільтри характеризуються низькою стабільністю частотних характеристик.

Одним з методів підвищення стабільності частотних характеристик є використання цифрових фільтрів. На відміну від аналогових фільтрів вони не потребують періодичного контролю частотних характеристик. Для локомотивної системи сигналізації запропоновані як цифрові фільтри з кінцевою імпульсною характеристикою (КІХ-фільтр), що не мають аналогових прототипів, так й фільтри з нескінченою імпульсною характеристикою (НІХ-фільтри) для яких існують аналогові прототипи.

Цифрові КІХ-фільтри потребують для своєї реалізації, як правило, багато коефіцієнтів, однак вони безумовно стійки та мало чутливі до округлення коефіцієнтів, що неминуче при кінцевій розрядній сітці процесора.

Цифрові НІХ-фільтри потребують для своєї реалізації, як правило, мало коефіцієнтів, однак вони чутливі до округлення коефіцієнтів, що неминуче при кінцевій розрядній сітці процесора.

Цифрові НІХ-фільтри були розроблені різними методами: методом розміщення нулів та полюсів, інваріантним перетворенням імпульсної характеристики та білінійним z-перетворенням. Дійсно, для їх реалізації було потрібно мало коефіцієнтів – від 8 до 12, але вони потребували для своєї реалізації з врахуванням впливу округлення коефіцієнтів на результуючу АЧХ процесорів ЦОС з плаваючою точкою. Тільки НІХ-фільтр, розроблений методом розміщення нулів та полюсів не потребував великої розрядності процесора. Однак таким методом був розроблений тільки режекторний фільтр, інші фільтри були смуговими з придушенням завад за межами смуги перепускання більше 60 дБ.

Цифрові КІХ-фільтри були розроблені також різними методами: методом зважування, методом частотної вибірки та оптимальним методом. Вони потребували для своєї реалізації від 92 до 160 коефіцієнтів. Крім цього, вплив округлення коефіцієнтів був незначним та для реалізації таких фільтрів було достатньо 16 розрядів процесора ЦОС з фіксованої точкою.

З врахуванням проведених досліджень встановлено, що найкращі результати дають цифрові КІХ-фільтри – для їх реалізації потрібні більш дешеві 16 розрядні процесори ЦОС з фіксованою точкою,

які к тому ж можуть мати вже вбудовані програми для розрахунків (вводяться тільки величини коефіцієнтів у ПЗП). А серед цих фільтрів найкращій результат дає метод зважування – менша кількість коефіцієнтів.

Цифрові НІХ-фільтри потребували з врахуванням впливу округлення коефіцієнтів на результуючу АЧХ більш дорогих процесорів ЦОС з плаваючою точкою. Крім того, вони можуть бути потенційно нестійкими.

З врахуванням вищевикладеного можна зробити такий висновок: якщо й застосовувати цифрову фільтрацію в існуючій системі локомотивної сигналізації, тоді краще використовувати КІХ-фільтри, а кращій метод розробки такого фільтра – метод зважування з вікном Кайзера.

Джерела інформації

1 Lizhe Tan, Jean Jiang. Digital Signal Processing. Fundamentals, Applications, and Deep Learning. Fourth Edition. Academic Press, 2025. ISBN 978-0-443-27335-3 https://doi.org/10.1016/C2023-0-51030-4

2. Ушенко Ю. О. Основи та методи цифрової обробки сигналів: від теорії до практики [Текст] : навч. посібник / Ю. О. Ушенко, М. С. Гавриляк, М. В. Талах, В. В. Дворжак. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2021. – 308 с

3 Application and Development of Digital Signal Processing Technology in Modern Engineering In book: Proceedings of the 2023 2nd International Conference on Educational Innovation and Multimedia Technology (EIMT 2023) (pp.848-853) DOI:10.2991/978-94-6463-192-0_110

УДК 004.056:656.25

к.т.н. В.О.Сотник, PhD, О.В. Щебликіна
здобувачка гр.103-АКІТР-Д25
М.О. Калашник *Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

КІБЕРБЕЗПЕКА СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ І ТЕЛЕМЕХАНІКИ. ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА РЕАГУВАННЯ НА ЗАГРОЗИ.

Швидкий перехід залізниць до цифрових технологій (ETCS, СЦБ на мікропроцесорній техніці, IoT) створює нові кіберзагрози, що вимагає захисту критичної інфраструктури. Загрози в першу чергу спрямовані на мережеву інфраструктуру (GSM-R, FRMCS), кінцеві пристрої (контролери, сенсори) та ланцюг постачання програмного/апаратного забезпечення. Типові загрози включають несанкціонований доступ, Man-in-the-Middle (MitM), відмову в обслуговуванні (DoS/DDoS) та Ransomware. Наслідки можуть бути критичними: вплив на безпеку руху (підміна показань сигналів, блокування стрілок, або їх несанкціонований перевід) та значні економічні збитки. Одним із напрямків захисту від цих втручань є жорсткі вимоги до функціональної безпеки (SIL-рівні), які обмежують пряме впровадження комерційних IT-рішень у системах залізничної автоматики і телемеханіки(СЗАТ)[1,2].

Штучний інтелект(ШІ) має великі перспективи застосування в СЗАТ завдяки його здатності до виявлення аномалій, ефективної обробки великих обсягів даних (Big Data) та адаптивності до нових загроз, що є перевагою над традиційними методами [2]. Використання штучним інтелектом таких методів, як навчання з учителем надає можливість для класифікації відомих типів атак, а навчання без учителя можливо використати для виявлення нових, невідомих аномалій у мережевому трафіку СЗАТ. Глибоке навчання (Deep Learning) дозволяє аналізувати складні патерни поведінки систем залізничної автоматики і телемеханіки. Але на зараз існують проблеми з нестачею маркованих даних про кібератаки в реальних залізничних умовах та необхідність балансу між хибнопозитивними та хибнонегативними спрацюваннями[3]. Для їх вирішення і необхідно застосувати функціонал ШІ у виявленні та реагуванні на кіберзагрози. Перш за все це застосування інтелектуального моніторингу- це коли нейромережі застосовуються в системах NIDS/HIDS для аналізу протоколів залізничного обміну (Eurobalise, ДЦ/МПЦ) та ідентифікації нехарактерних команд, а також для прогнозування розвитку атаки. Застосування аналізу поведінки (UEBA)- це коли ШІ створює базові моделі нормальної поведінки пристроїв та користувачів (диспетчерів, контролерів), що дозволяє автоматично ідентифікувати відхилення, які свідчать про компрометацію, а також застосування автоматизованого реагування (SOAR), коли ШІ може приймати рішення про ізоляцію сегментів мережі або блокування підозрілих IP-адрес у режимі реального часу, проте критичним є забезпечення функціональної безпеки при автоматизації реагування. Але впровадження цих засобів має ряд як технічних, так і організаційних труднощів, таких, як складність інтеграції ШІ-рішень у закриті Brownfield-системи , високі вимоги до обчислювальної потужності та необхідність сертифікації ШІ-систем відповідно до міжнародних стандартів, наприклад CENELEC. З точки зору організаційних труднощів- це перш за все кадрова проблема (дефіцит фахівців на стику автоматики, кібербезпеки та ШІ) та відсутність єдиної

нормативної бази для AI-Driven кіберзахисту в СЗАТ[4].

Одним із перспективних напрямків досліджень в цьому напрямку є включення ШІ для тестування на проникнення та його застосування у поєднанні з квантовою криптографією[4].

Таким чином необхідний поетапний план впровадження, починаючи з некритичних систем моніторингу, з фінальною метою інтелектуального захисту централізованих систем керування рухом, а також співпраця між науковими установами та експлуатаційними службами для розробки галузевих рішень.

Використана література.

1. Cybersecurity challenges for the railway sector. https://www.railway-cybersecurity.com/
2. Artificial Intelligence in Railway Signalling: Case Studies, Automation and Savings from 42 %. https://exceltic.com/en/artificial-intelligence-in-railway-signalling-real-cases-automation-and-savings-of-42/
3. 3. Anomaly Detection for ICS Based on Deep Learning: A Use Case for Aeronautical Radar Data. January 2022annals of telecommunications - annales des télécommunications 77(3). DOI:10.1007/s12243-021-00902-7 https://www.researchgate.net/publication/357991662_Anomaly_Detection_for_ICS_Based_on_Deep_Learning_A_Use_Case_for_Aeronautical_Radar_Data
4. Applying Penetration Testing Techniques to Strengthen ERTMS Communication Security. https://www.era.europa.eu/system/files/2024-10/session%200-4%20-%20applying%20pentest%20to%20ertms%20-%20yasmine%20benghename.pdf?t=1750977732
5. Нормативно-Правові та Стандарти.

   -EN 50126 (IEC 62278): Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS).

   -EN 50128 (IEC 62279): Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Software for railway control and protection systems.

   -EN 50129 (IEC 62425): Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety related electronic systems for signalling.

   -IEC 62443 (Серія стандартів): Security for industrial automation and control systems (IACS).

к.т.н. **А.Л. Сумцов**
Український державний університет залізничного транспорту

КЛАСИФІКАЦІЯ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Моторвагонний рухомий склад (МВРС) посідає вагоме місце у системі пасажирських перевезень України. Однак його нинішній технічний стан, що зумовлений тривалим строком експлуатації та впливом низки несприятливих чинників, не в повній мірі відповідає сучасним вимогам конкурентоспроможності на ринку транспортних послуг, особливо у порівнянні з автомобільним транспортом. Водночас стабільність перевезень протягом року та нижчий рівень залежності від погодних умов зумовлюють збереження попиту й актуальності цього виду транспорту.

У цих умовах одним із пріоритетних завдань є підвищення рівня енергоефективності та скорочення втрат енергії, що має безпосереднє значення для забезпечення економічної доцільності та екологічної стійкості функціонування транспортної галузі. Визначення енергетичного балансу виступає ключовим інструментом у даному процесі, оскільки воно дозволяє ідентифікувати основні напрями використання та втрат енергоресурсів, сформувати цілісне уявлення про характер енергетичних потоків та забезпечити більш обґрунтовану інтерпретацію результатів енергетичного аудиту. Це, у свою чергу, створює наукову й практичну основу для розроблення та впровадження ефективних заходів з оптимізації енергоспоживання моторвагонного рухомого складу.

В літературних джерелах [1] загально прийнятим є поділ споживання енергії на два: на тягу та на власні потреби. Така класифікація не дозволяє аналізувати весь спектр систем на борту МВРС. В той самий час аналізувати кожну систему є невиправдано трудомістким процесом, якщо ефект від оптимізації буде знаходитися в межах статистичної похибки вимірювання витрат енергії.

Аналізуючи процедуру складання енергетичного балансу [2, 3] необхідно скористатися функціональним призначенням споживачів енергії на борту МВРС. Застосовуючи принцип уніфікації застосування класифікації для різних типів МВРС та різних джерел енергії, які можуть використовуватися пропонується використати наступну класифікацію споживання енергії:

- На тягу;

- На гальмівне обладнання:
- На систему керування:
- На систему забезпечення комфортних умов.

Така класифікація дозволяє охопити всіх споживачів за функціональним призначенням. Споживання енергії на тягу вимірюється безпосередньо на тягових двигунах. Контроль цієї витрати енергії дозволяє оцінити ефективність ведення поїзда по ділянці. Порівнюючи результати дослідних поїздок з спеціалізованим тяговим вагоном-лабораторією та оптимального режиму ведення поїзда виявляють резерви економії енергії за рахунок оптимізації режимів ведення з урахуванням умов експлуатації.

Системи, що забезпечують безпеку руху поєднують в собі необхідних споживачів які опосередковано впливають на витрату енергії на тягу і разом з тим забезпечують можливість спрацювання гальм. Наразі на МВРС використовують переважно пневматичні гальма. Для їх роботи необхідне джерело стиснутого повітря – компресорна установка. Вивчення фактичного режиму її роботи та споживання енергії дозволяє зменшити витрати отримання стиснутого повітря з одночасним забезпеченням ефективності роботи такої системи.

До витрат енергії на систему керування відносяться всі витрати енергії на обладнання керування МВРС, сповіщення, сигналізації, зв'язку та іншого устаткування кабіни машиніста. В залежності від фактичних даних споживання переліченими системами протягом дослідних поїздок необхідно приймати рішення про доцільність більш глибокого аналізу функціонування цих систем.

Витрати на систему забезпечення комфортних умов є важливим фактором функціонування МВРС. Саме забезпечення комфортних умов в поєднання з дотриманням графіку руху та вартістю квитка є основним фактором забезпечення конкурентоздатності приміських та міжміських пасажирських перевезень у порівнянні з іншими видами транспорту. До основних споживачів систем забезпечення комфортних умов відносяться: система кондиціонування повітря, системи додаткових послуг, система обігріву та системи санітарних потреб. До складу останніх можуть відпоститися системи водопостачання та збору відходів. Системи забезпечення комфортних умов є важливими споживачами енергії на МВРС які суттєво відрізняються в залежності від конструкції МВРС та полігону експлуатації.

Запропонована класифікація споживачів енергії для енергетичного балансу моторвагонного рухомого складу забезпечує систематизацію споживачів енергії за функціональним призначенням та дозволяє виділити основні напрями її витрат: тяга, гальмівне обладнання, система керування та система забезпечення комфортних умов. Такий підхід підвищує точність оцінки енергоспоживання, спрощує інтерпретацію результатів енергетичного аудиту та створює передумови для обґрунтованого впровадження заходів з оптимізації енерговитрат.

Список використаних джерел:

1. Боднар Б. Є., Нєчаєв Є. Г., Бобирь Д. В. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування : підручник для ВНЗ залізн. трансп. / за ред. Б. Є. Боднара. Дніпро : ПП Ліра ЛТД, 2010. 358 с.

2. Сумцов, А.Л. Процедура визначення енергетичного балансу локомотива Транспорт: наука та практика: Збірник наукових праць IV-ї міжнародної науково-практичної конференції, Київ – Одеса, 22 травня 2025 р. – Київ: СНУ ім. В. Даля, 2025. – с. 277-280.

3. Калабухін Ю. Є. Загальний підхід до визначення енергетичного балансу локомотива / Ю. Є. Калабухін, А. Л. Сумцов // Прогресивні технології засобів транспорту: тези 2-ї міжнар. наук.-техн. конф. (5-6 грудня 2024 р.). - Харків: УкрДУЗТ, 2024. - С. 44-46.

УДК 629.4.083.:629.463

канд. техн. наук Д.І. Волошин[1], канд. техн. наук Л.В. Волошина[1]

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ КОНТРОЛЮ ЗА ВИРОБНИЧИМИ ПРОЦЕСАМИ РЕМОНТУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ SCADA

IMPROVING CONTROL OVER PRODUCTION PROCESSES IN FREIGHT WAGON REPAIR THROUGH SCADA TECHNOLOGY

Виробнича діяльність вагоноремонтних підприємств на поточний момент відбувається в умовах жорсткої економічної турбулентності. Причинами такого стану є деформація логістичних ланцюгів, зміна вартості енергоресурсів, інфляційні коливання та загальне погіршення економічної динаміки. Як результат, виробництво перебуває під тиском і вимагає оперативних змін та впровадження інновацій у системи планування, управління та контролю виробничих процесів. Основні виклики

пов'язані з порушенням регулярності постачання критичних запасних частин, зростанням витрат на сировину і матеріали, збільшенням часу простоїв вагонів в ремонті, а також недостатнім рівнем загальної цифровізації процесів.

На поточний момент виробничі умови функціонування підприємств з ремонту вагонів характеризуються нестабільністю та невизначеністю. Це потребує розробки та впровадження дієвих механізмів впливу на надійність технологічних ланцюгів при ремонті вагонів [1].

До основних факторів впливу на ефективність експлуатації виробничих систем можна віднести наступні:

- знос парку вагонів;
- недостатнє технічне переозброєння виробництва;
- системні проблеми матеріально технічного постачання;
- зниження ритмічності виробництва;
- дефіцит кваліфікованих кадрів.

В умовах постійного ризику виникнення відмов виробничої системи доцільним є застосування новітніх підходів до організації та управління вагоноремонтними підприємствами.

З метою зменшення ризиків виникнення відмов при організації процесів ремонту вагонів та окремих вузлів, можливим є застосування технології SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) [2].

SCADA-система є інструментальною програмою, яка забезпечує створення програмного забезпечення для автоматизації контролю і управління технологічним процесом в режимі реального часу. Основна мета даного прикладного програмного комплексу полягає в передачі оператору, що відповідає за управління технологічним процесом, повної інформації про цей процес і необхідні засоби для впливу на нього (рис. 1). В результаті створюється інструмент прозорого контролю технологій ремонту. З його допомогою можна проводити оперативний контроль технологічного обладнання (наприклад, отримання інформації стосовно виконання конкретних зварювальних операцій і даних о відповідних режимах зварювання), мати історію тригерів небажаних подій у системі (пошкоджень та аварій) та проводити інтеграцію різних управлінських надбудов для проведення ремонтних етапів (MES, CMMS та ін.) [3].

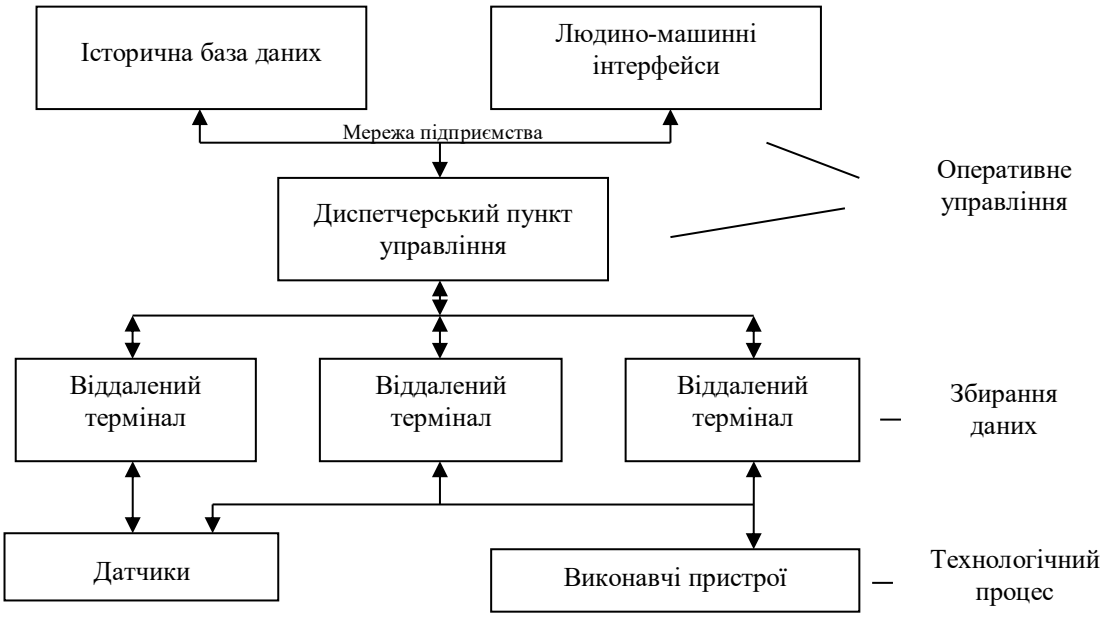


Рисунок 1 – Типова архітектура SCADA

Це дозволить створити систему оперативного моніторингу виробничої системи з точки зору виконання технологічних процесів та підвищити загальну надійність окремих операцій.

[1] Волошин Д.І., Волошина Л.В. Особливості формування логістичних систем ремонту вагонів з огляду на управління виробничими ризиками. Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем:матеріали тез IV Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції 26-27 квітня 2023 року [Електронне видання] Рівне, НУВГП, 2023. С.70-72.

[2] ***Boyer S. A.*** *SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition. 4th ed.* Research Triangle Park, NC : ISA, 2016. 546 p.
[3] **Clarke G., Reynders D., Wright E.** *Practical Modern SCADA Protocols: DNP3, 60870.5 and Related Systems.* Oxford : Newnes, 2004. 400 p.

УДК 656.072 (477)

Докт. техн. наук Д.В.Ломотько, маг. Касай Д.В., Нитка Б.О., Прокоф'єв А.І.
Український державний університет залізничного транспорту, м.Харків

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРОБЛЕМ ПРИМІСЬКИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ

Останнім часом роль залізничних пасажирських перевезень в нашої країни зростає, особливо після уведення воєнного стану. Нажаль, у організації приміських залізничних перевезень, як основи соціальних поїздок населення України, простежуються наступні основні проблеми. По-перше, це відсутність практичної реалізації стратегічного планування у цієї сфері. Наразі у АТ «Укрзалізниця» відсутня довгострокова програма розвитку приміських перевезень, що у свою чергу призводить до систематичного недофінансування, а вимоги законодавства щодо фінансування поїздок пільгових категорій пасажирів гальмуються через слабку координацію між державними та місцевими органами, та перевізником. Нажаль, тарифи на соціально-значимими перевезення залишаються завищеними при низькому рівні сервісу.

У сфері приміських перевезень спостерігається високий рівень інфраструктурної зношеності. За даними АТ «Укрзалізниця» рівень зношеності приміських потягів перевищує 95 %, контактної мережі — 71 %, систем автоматизації та зв'язку — 68 %. Крім того, основна кількість приміського рухомого складу придбалась 20 років тому й ще старіше, тому вважається морально й фізично застарілими, що знижує рівень комфорту та безпеки пасажирів. Це відбувається через недостатнє державне фінансування, відсутність чіткої програми модернізації.

Останнім часом погіршилась територіальна доступність приміських залізничних перевезень. Наприклад, помітна диспропорція між областями - у Київській агломерації існують регулярні рейси, саме місто має «міську електричку», тоді як у багатьох інших регіонах спостерігається обмежена кількість маршрутів і поїздів. Рейси часто скасовуються не тільки з об'єктивних причин воєнного стану, мають нерегулярний графік, що ускладнює маятникову міграцію населення в умовах низької частоти рейсів.

Якщо порівняти технологію приміських залізничних перевезень України з деякими іншими (табл. 1), то можна зробити висновок, що у Німеччині їх особливістю є той факт, що приміські перевезення є частиною інтегрованої транспортної системи. S-Bahn охоплює великі агломерації, поєднуючи міста з передмістями. Наприклад у Берліні S-Bahn інтегрована з U-Bahn, автобусами та трамваями через єдину систему VBB. Технології притаманна достатньо висока точність, комфорт і екологічність — ключові переваги. У США приміські перевезення (наприклад, NJ Transit, Metra, Caltrain) добре розвинені в мегаполісах, але загалом країна орієнтована на автомобільний транспорт. Рейси часто обмежені у вечірній час, а інфраструктура носить фрагментований характер. Технології притаманний високий рівень диджиталізації, GPS-моніторинг, електронні квитки, платформи для планування маршруту. Зокрема у США NJ Transit має мобільний додаток з реальним часом прибуття поїздів.

Таблиця 1 - Порівняння особливостей приміських залізничних перевезень України, Німеччини та США

Параметр	Україна	Німеччина	США
Стан рухомого складу	Зношений, понад 90%	Сучасний, регулярне оновлення	Змішаний: сучасний у мегаполісах, слабкий у регіонах
Частота рейсів	Нерегулярна	Висока, інтервали 15–30 хв	Висока в мегаполісах, низька в інших регіонах
Інтеграція з міським транспортом	Слабка	Висока (S-Bahn, U-Bahn, автобуси)	Часткова (наприклад, у Нью-Йорку, Чикаго)
Фінансування	Недостатнє	Стабільне, державне та регіональне	Залежить від штату, часто субсидії
Тарифна політика	Високі ціни при низькому сервісі	Прозора, єдині квитки, абонементи	Високі, але є абонементи

Стратегія розвитку	Відсутня	Європейські стандарти, сталий розвиток	Є, але реалізується нерівномірно

Таким чином, приміські залізничні перевезення в Україні має стратегічну потребу в оновленні рухомого складу, підвищенні регулярності рейсів, інтеграції з іншими видами транспорту. Необхідна тарифна реформа, яка буде мати на меті справедливі ціни, абонементи, знижки для соціальних груп. Досвід розвинутих країн показує, що важливим кроком може стати регіональна децентралізація, тобто передача управління приміськими перевезеннями на рівень обладміністрацій та територіальних громад, що сприятиме створенню регіональних приміських операторів, співфінансуванню та формуванню конкурентного середовища.

Перелік посилань:

1. До питання організації залізничного приміського сполучення між містами Вишгород і Київ / Ломотько Д.В., Красноштан О.М., Кава О.С., Новицький Б.О., Беспалов Д.О. // Залізничний транспорт України. – 2023. – № 4. – С. 4-14 DOI: 10.34029/2311-4061-2023-149-4-04-14

УДК 656.2: 621.3: 614.8

к.т.н. В.Ф. Кустов (УкрДУЗТ)

ПРОБЛЕМИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ПРИСТРОЇВ І СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Однією з головних функцій призначення технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів є забезпечення їх безпеки функціонування, у тому числі у разі дії різних видів електромагнітних завад. Для нормування функціональної безпечності в Україні введено в дію стандарти серії ДСТУ EN 50126, ДСТУ EN 50129 [1,2].

У процесі впровадження та кількісного оцінювання вимог вказаних стандартів безпеки щодо допустимих значень ймовірності небезпечної відмови на годину (PFH) виявлено суттєві недоліки. Зокрема, при збільшенні кількості відповідальних функцій у таких системах (контроль вільності колій, стрілок, відсутності ворожих маршрутів тощо), кожна з яких відповідає рівню функціональної безпеки SIL3 або SIL4, загальна оцінка системи може формально знижуватись до SIL1 або навіть нижче — через механічне підсумовування значень PFH. У результаті більш безпечна, контрольована система виглядає менш безпечною за формальними критеріями, ніж система з мінімальним охопленням ризиків, а спроби підвищити безпеку руху поїздів шляхом запровадження додаткових відповідальних функцій безпеки (не другорядних або інформаційних) призводять до зниження формального рівня SIL. Це створює методологічний парадокс: чим більше функцій, що знижують ризик, тим нижчий формальний рівень функціональної безпечності.

Для оцінки функціональної безпечності систем керування рухом поїздів згідно вказаних стандартів використовуються на практиці експоненціальні моделі законів розподілу. Проведені розрахунки показали [3], що протягом більшості життєвого циклу систем залізничної автоматики спостерігається суттєва недооцінка ймовірностей небезпечних відмов при використанні базового експоненціального закону:

- у 5–7 разів — для нормального розподілу;
- у 1,5–3,5 рази — для інших «істинних» (не експоненціальних) моделей.

Виявлені недоліки вимог стандартів створюють ризик:

- викривлених управлінських рішень у виборі систем,
- відхилення технічно обґрунтованих рішень при оцінці,
- втрати довіри до стандартів у практичному застосуванні.

У доповіді надається кількісна оцінка методологічних прорахунків у оцінці безпеки функціонування систем з різною кількістю відповідальних функцій, що ставить під сумніви вимоги європейських стандартів серії EN5012X та міжнародних стандартів серії МЕК 61508-X щодо кількісної оцінки функціональної безпеки. Також надані результати досліджень та графіки прорахунків оцінки рівня безпечності (SIL) у разі використання експоненціального закону розподілу небезпечних відмов замість «істинних», особливо після 10-15 років експлуатації виробів та їх старіння, а також пропозиції до перегляду стандартів функціональної безпеки серії EN 5012X та МЕК 61508-X.

У стандарті EN 50129 прямо зазначено, що PFH для електронної апаратури може бути визначено за експоненціальним розподілом, якщо немає достовірних даних щодо старіння. Аналогічно, у ДСТУ EN 50129 [9] випадкові (random) відмови в

електронних компонентах також передбачено моделювати експоненційно. Таким чином, у практиці функціональної безпеки залізничної автоматики експоненціальна модель трактується як допустима і консервативна за відсутності підтвердженого впливу старіння або деградації.

З практичної точки зору, спрощеність експоненціального моделювання і його відповідність мінімальним вимогам стандартів призводить до його широкого поширення в сертифікаційних процедурах для систем залізничної автоматики.

Міжнародний стандарт IEC 61508 також дозволяє використовувати експоненціальний розподіл для оцінки PFH, якщо відсутня верифікована інформація про зношення компонентів (частина 6, додаток B). У розділі B.3.2 цієї частини стандарту експоненціальна модель наводиться як базова для прикладів оцінки показників функціональної безпечності PFH та PFDavg.

Пропонується:

1.Впровадити в EN 50129 або супровідні методичні документи системну норму на гранично допустимий PFH для всієї системи, незалежно від кількості функцій.

2.Розробити підхід до інтегрованої оцінки функціональної безпечності безпеки масштабованих систем на рівні архітектури, з урахуванням резервування, зон впливу, захисту від загальних причин відмов.

3.Уточнити методики для централізованих систем, що об'єднують сотні або тисячі об'єктів керування, щоб не допустити формального зниження їх SIL при дотриманні високих критеріїв безпеки.

Перелік посилань

1.ДСТУ EN 50126-1:2019 Залізничний транспорт. Специфікація та демонстрування надійності, доступності, безпеки та ремонтопридатності (РАМН). Частина 1. Основні вимоги та загальний процес. (EN 50126-1:2017, IDT) Чинний від 01.01.2020.

2.ДСТУ EN 50129:2019 Залізничний транспорт. Системи зв'язку сигналізації та оброблення даних. Електронні сигналізаційні системи безпеки (EN 50129:2018, IDT). Чинний від 01.01.2020.

3.Кустов В.Ф. /Фундаментальні недоліки базових моделей небезпечних відмов для розрахунку функціональної безпеки систем керування рухом поїздів//Збірник наукових праць УкрДУЗТ, 2025.- Вип. 212. – С. 301-314. https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/2408946

УДК 621.39:004.75

канд. тех. наук С.В. Індик, канд. тех. наук О.С. Жученко
Український державний університет залізничного транспорту, (Україна)

Дослідження методів багаторівневої кластеризації для підвищення ефективності телекомунікаційних систем з розподіленою обробкою даних

Сучасні телекомунікаційні системи, зокрема 5G, 6G, а також мережі Інтернету речей і Smart City, відзначаються високою динамічністю топології, неоднорідністю трафіку та зростаючими вимогами до якості обслуговування. У таких умовах традиційні методи керування потоками даних і розподілу ресурсів поступово втрачають ефективність. Для підвищення продуктивності, масштабованості та відмовостійкості розглядаються нові підходи до структуризації й самоорганізації мережі. Одним із таких напрямів є методи багаторівневої ієрархічної кластеризації.

У наукових дослідженнях значна увага приділяється принципам побудови багаторівневих структур управління, які дозволяють формувати локальні, регіональні та глобальні рівні керування. Така організація сприяє зменшенню навантаження на центральні вузли, рівномірному розподілу обчислювальних задач і забезпечує масштабованість мережі у випадку зростання кількості користувачів та пристроїв.

Одним із ключових інструментів дослідження виступають графові моделі, у яких вузли відповідають мережевим елементам, а ребра — каналам зв'язку з їх характеристиками. Кластеризацію в такій постановці можна розглядати як задачу пошуку оптимальних спільнот у графі з урахуванням пропускної здатності, затримки та надійності каналів. Використання графових моделей дозволяє інтегрувати статичні властивості мережі з актуальними параметрами трафіку та робить процес аналізу більш прозорим і формалізованим.

У сучасних роботах активно вивчаються можливості застосування графових нейронних мереж (GNN) для кластеризації. Цей підхід дозволяє поєднати локальні характеристики вузлів із глобальною структурою мережі. На основі історичних даних GNN здатні передбачати оптимальні структури кластерів, швидко адаптуватися до змін навантаження та забезпечувати самонавчання системи. Це робить їх перспективним

інструментом для роботи в динамічних і невизначених умовах.

Таким чином, дослідження методів багаторівневої ієрархічної кластеризації є перспективним напрямом досліджень у галузі телекомунікаційних систем з розподіленою обробкою даних. Вони здатні забезпечити масштабованість, адаптивність і ефективність мереж, а також створюють основу для подальшого розвитку інтелектуальних алгоритмів розподілу потоків, оптимізації обчислювальних ресурсів та реалізації концепції самокерованих мереж.

Список використаних джерел

1. Климаш М., Гордійчук-Бублівська О., Чайковський І., Костів О. Дослідження ефективності використання розподілених баз даних у системах IIoT // Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія. – Львів :Видавництво Львівської політехніки, 2022. – Випуск 2. № 1. С. 12–18. doi.org/10.23939/ictee2022.01.012

2. Huang, T.; Zhao, R.; Bi, L.; Zhang, D.; Lu, C. Neural embedding singular value decomposition for collaborative filtering. IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst. 2021, 33, 6021–6029. DOI: 10.1109/TNNLS.2021.3070853

УДК 621.39:004.89

Ph.D. S. Indyk, Professor (Math.) T. Horsin
Ukrainian State University of Railway Transport (Ukraine), Conservatoire national des arts et métiers, (France)

Application of Neural Network Algorithms for Efficient Resource Management in Wireless Networks

The rapid growth in the number of users and services in wireless networks places substantial demands on existing infrastructure and complicates the task of ensuring stable quality of service. Conventional resource management methods often prove insufficient under dynamic network conditions. In this context, the application of neural network algorithms emerges as a promising approach, as such methods are capable of analyzing complex data patterns, adapting to environmental changes, and predicting network behavior in real time.

Neural network–based solutions demonstrate significant potential in wireless communications by enabling not only reactive measures to existing challenges but also predictive strategies that anticipate future demands. For instance, by analyzing historical traffic data together with current channel states, artificial neural networks are able to forecast peak loads and proactively redistribute resources among users. This capability reduces latency and enhances service continuity, even under maximum load conditions.

Another critical application area concerns spectrum utilization. Deep learning algorithms facilitate real-time analysis of network performance and enable adaptive spectrum allocation, which improves overall system efficiency and mitigates conflicts between subscribers. Furthermore, predictive modeling of traffic dynamics allows for energy-aware operation: transmitter power can be adjusted according to anticipated demand, thereby lowering energy consumption, an aspect particularly relevant for large-scale base station deployments.

Mobility management represents an equally important challenge. Neural network models incorporate parameters such as user speed and movement direction to forecast handover events between base stations, thus ensuring seamless connectivity and minimizing service interruptions. In addition, neural networks are increasingly applied in network security. Their ability to identify anomalous traffic patterns in real time allows for rapid detection and mitigation of potential threats, including distributed denial-of-service (DDoS) attacks and unauthorized access attempts.

Overall, the integration of neural networks into wireless networks introduces novel opportunities to enhance reliability, efficiency, and resilience. These algorithms provide flexible resource management, contribute to latency reduction, optimize spectrum allocation, and support energy-efficient operations. In doing so, they enable the development of intelligent network infrastructures capable of autonomously adapting to changing conditions and making operational decisions that traditionally required human intervention.

In the long term, the adoption of neural network technologies is expected to become a key driver in the evolution of next-generation communication standards. Such advancements will facilitate bridging the digital divide, expand access to high-quality services across diverse regions, and establish a foundation for new socio-economic development opportunities.

References

1. Dahlman E., Parkvall S., Skold J. 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology. Academic Press, 2018.

2. Szabó, G., та Csányi, M. "Neural Network Applications in Telecommunication Systems." Telecommunications Review, 2021. – Vol. 67(3), pp. 223–235.

3. Zhang, H., та Liu, X. "5G Wireless Systems: Deep Learning and Optimization." IEEE Communications Magazine, 2020. – Vol. 58(2), pp. 76–83.

УДК 621.39:004.75

канд. тех. наук С.В. Індик, канд. тех. наук О.С. Жученко
Український державний університет залізничного транспорту, (Україна)

Вибір підходу до визначення необхідної пропускної здатності та продуктивності обладнання для мереж SOHO

Сучасні мережі SOHO (Small Office/Home Office) поєднують домогосподарства та малі офіси. Швидке розширення віддаленої праці, потокових медіа та пристроїв інтернету речей змінює структуру трафіка. Ця трансформація має прямий вплив на вимоги до пропускної здатності та продуктивності обробки пакетів.

Формалізовано критерії, за якими можна спрощувати розрахунки пропускної здатності при проєктуванні мереж SOHO без втрати практичної значимості, зокрема встановити умови, за яких допускається знехтувати зворотним трафіком і службовими заголовками при виборі пристроїв з консервативним запасом.

Застосовано аналітичну модель множників для інтеграції службових витрат та асиметрії трафіку. Виконано критичний огляд патернів трафіку, типової асиметрії та впливу потоків мультимедіа й хмарних сервісів. У типовому сценарії службова інформація протоколів та вплив асиметрії трафіку формують додаткове навантаження порядку 10–30 %. При закладанні запасу від трьох до шести разів це відхилення не змінює практичних висновків щодо класу обладнання, враховуючи, що продуктивність мережевих пристроїв має залежність подібного порядку від увімкнення додаткових функцій обробки трафіку.

Запропонована модель множників дає критерій перевірки допустимості пропонованого спрощення. Формалізовано критерій допустимості спрощення оцінки пропускної здатності на основі співвідношення між множниковою надбавкою та заданим запасом. Такий підхід зменшує трудоємкість проєктних розрахунків та мінімізує ризик вибору надмірно дорогих рішень. Отримані висновки обмежені типовими SOHO сценаріями. Подальші дослідження можуть включати статистичне моделювання піків і вплив короткочасних навантажень.

Список використаних джерел

1. Cisco QoS in a SOHO Network (guidance for SOHO CPE and QoS practices).
2. K. Xu et al. Characterizing Home Network Traffic: An Inside View. (traffic patterns inside homes; device-level characterization).

УДК 621.396.967

Veklych O. K. *PhD student*
State University of Telecommunications, Kyiv
Drobyk O.V.*, PhD, Professor*
State University of Telecommunications, Kyiv

METHODS OF FORMING ENSEMBLES OF COMPLEX SIGNALS BASED ON TIME-FREQUENCY PARAMETER OPTIMIZATION FOR COGNITIVE WIRELESS TELECOMMUNICATIONS

The continuous growth of wireless data traffic and the widespread adoption of cognitive networks create new requirements for the reliability and throughput of telecommunication infrastructures. In such conditions, the central scientific problem is the formation of ensembles of complex signals with improved correlation and spectral properties, ensuring both low interference levels and sufficient ensemble volume for multiuser access. Traditional methods of ensemble generation, which rely mainly on time interval permutations or simple linear filtering, face significant limitations: they are sensitive to stochastic disturbances, fail to adapt to nonlinearity in real propagation channels, and often stagnate in local extrema of the optimization landscape.

To address this challenge, the dissertation develops a novel hybrid optimization approach based on the integration of stochastic global search with two complementary local methods: gradient descent and the Levenberg–Marquardt algorithm. The rationale behind this integration is rooted in their distinct strengths: gradient descent provides steady iterative refinement with guaranteed reduction of error, while the Levenberg–Marquardt method combines the robustness of gradient descent with the fast convergence of second-order techniques. By combining them into a sequential optimization framework, the method ensures both global exploration and local precision.

The proposed methodology consists of several key stages.

1. Initial signal segmentation in the time domain, where signals are decomposed into intervals of

varying length. This decomposition allows for targeted manipulation of correlation peaks while preserving ensemble diversity.

2. Randomized search of configurations, which generates candidate permutations of intervals to cover a broad solution space and prevent stagnation in suboptimal local minima.

3. Local nonlinear optimization, applied in two phases:

3.1 Gradient descent is first employed to reduce major correlation peaks by iteratively adjusting segment boundaries, using the derivative of the correlation error as the guiding function.

3.2 The Levenberg–Marquardt algorithm is then used for fine-tuning. It leverages both gradient and curvature information, enabling rapid convergence near the optimum and stabilizing performance under noisy or ill-conditioned conditions.

4. Adaptive evaluation of ensemble properties is performed by analyzing metrics such as maximum cross-correlation, side-lobe maxima, crest factor, and effective bandwidth. Constraints of orthogonality and ensemble size are applied at each iteration to ensure practical applicability.

5. Sequence-specific adaptation, where the algorithm parameters are tuned according to the inherent properties of sequence families (M-sequences, Kasami, Gold, exponential, Fibonacci). Each type exhibits distinct autocorrelation and spectral characteristics, which are incorporated into the optimization loop to enhance efficiency.

Experimental validation demonstrates that the hybrid integration of gradient descent and Levenberg–Marquardt reduces mutual correlation by up to 32–37% compared to random or single-method optimization, while maintaining or even expanding the volume of usable signal ensembles. In scenarios with high levels of multiple-access interference, the method ensures more stable ensemble properties, which directly translates into increased throughput and resilience of cognitive wireless systems.

Thus, the developed method of forming ensembles of complex signals based on integrated time-frequency optimization provides a comprehensive and adaptive solution to the scientific problem of minimizing multiuser interference while maintaining ensemble scalability. By uniting stochastic search, gradient-based learning, and Levenberg–Marquardt nonlinear approximation, the approach achieves a balance between global robustness and local precision, which cannot be reached by conventional techniques.

References

1. Azami H., Anisheh S.M., Hassanpour H/ (2014) An Adaptive Automatic EEG Signal Segmentation Method Based on Generalized Likelihood Ratio/ Communications in Computer and Information Science 427? DOI:10.1007/978-3-319-10849-0_18.

2. McNeill S.I. (2016) Decomposing a signal into short-time narrow-banded modes. Journal of Sound and Vibration, Volume 373, 7 July 2016, P.P. 325-339, https://doi.org/10.1016/j.jsv.2016.03.015.

3. Yang W.-X. (2008) Interpretation of mechanical signals using an improved Hilbert–Huang transform, Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 22, Issue 5, July 2008, P.P. 1061-1071, https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2007.11.024

УДК 621.396.967

Пастушенко В.В., *PhD здобувач*
Український державний університет залізничного транспорту, Харків
Трубчанінова К.А., *д.т.н., професор*
Український державний університет залізничного транспорту, Харків

БІОІНСПІРОВАНИЙ МЕТОД ВИБОРУ ГОЛОВНОГО ВУЗЛА В РОЗПОДІЛЕНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Розподілені телекомунікаційні системи (РТС) у сучасних умовах відіграють основну роль у забезпеченні безперервної роботи критично важливих обчислювальних і комунікаційних процесів. Особливої актуальності питання ефективного керування РТС набувають в умовах високої динаміки навантажень, обмеженості ресурсів та потреби у стійному управлінні потоками даних у реальному часі. Це зумовлює необхідність розробки вдосконалених методів вибору головного вузла, які здатні адаптивно реагувати на зміни топології, мінімізувати затримки та підвищувати надійність функціонування розподілених систем.

Традиційні методи вибору головного вузла (наприклад, на основі фіксованих ідентифікаторів або жорстких критеріїв продуктивності) мають обмежену ефективність у динамічному середовищі, оскільки не враховують швидкі зміни параметрів мережі та вузлів. У відповідь на ці виклики запропоновано біоінспірований метод вибору головного вузла на основі ймовірнісної рандомізації з ваговими коефіцієнтами, що поєднує багатопараметричну оцінку вузлів і випадковість у процесі відбору.

Концепція методу полягає у формуванні вагового коефіцієнта w_i для кожного вузла, який відображає його придатність для ролі головного вузла (координатора), а саме:

$$w_i = \alpha \cdot \frac{C_i}{\max(C)} + \beta \cdot \frac{R_i}{\max(R)} + \gamma \cdot \frac{1}{D_i} + \delta \cdot S_i \quad (1)$$

де C_i – обчислювальна потужність вузла; R_i – залишкові ресурси (пам'ять, енергія); D_i – середня затримка; S_i – коефіцієнт стабільності з'єднання; $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – нормовані ваги, що задають пріоритетність параметрів.

Ймовірність обрання вузла головним (координатором) визначається за аналітичним виразом:

$$P_i = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^{N} w_j} \quad (2)$$

де i – це номер конкретного вузла, для якого розраховується імовірність стати головним; j – індекс, який «пробігає» всі вузли в системі (використовується в сумі); N – загальна кількість вузлів у РТС.

До основним етапів алгоритму реалізації запропонованого методу вибору головного вузла належать.

1. Моніторинг параметрів вузлів. Кожен вузол періодично вимірює власні характеристики: обчислювальну потужність, ресурси, затримку, стабільність каналу.

2. Формування вагових коефіцієнтів. Для кожного вузла розраховується інтегральний показник wi за вищенаведеною формулою. Ваги α, β, γ, δ можуть адаптивно змінюватися залежно від поточних пріоритетів (наприклад, мінімізація затримок чи економія енергії).

3. Ймовірнісний вибір. Виконується процедура «ймовірнісного вибору з ваговими коефіцієнтами»: для кожного вузла формується діапазон на відрізку [0;1] пропорційно його $P(i)$. Генерується випадкове число, яке визначає лідера.

4. Призначення головного вузла. Обраний вузол повідомляє інших про своє лідерство. Решта вузлів переходять у стан підлеглих.

5. Перевірка та оновлення. У разі збою чи деградації вузла проводиться повторний запуск процедури вибору з оновленими параметрами.

Переваги методу полягають у його високій адаптивності до змінних умов функціонування РТС. Завдяки ймовірнісному вибору з ваговими коефіцієнтами метод забезпечує баланс між продуктивністю та різноманітністю, оскільки потужні вузли мають більші шанси бути обраними, але всі учасники зберігають можливість стати координатором. Це сприяє більш рівномірному розподілу навантаження, запобігає надмірній концентрації управлінських функцій в одному вузлі та підвищує відмовостійкість мережі. Важливою перевагою є і стійкість до атак, оскільки механізм вибору ускладнює передбачення майбутнього головного вузла, що робить систему менш вразливою до цілеспрямованих загроз.

Недоліки методу пов'язані з відсутністю гарантії вибору глобально найкращого вузла, адже випадковість, яка підвищує стійкість, водночас знижує детермінованість результатів. Крім того, необхідність регулярного оновлення вагових коефіцієнтів створює додаткове обчислювальне навантаження на мережу, що може впливати на ефективність у масштабних і ресурсно обмежених середовищах. У деяких сценаріях це може призводити до незначного зростання службового трафіку та додаткових витрат на обмін параметрами між вузлами.

У табл. 1 та на рис. 1 представлено приклад експериментального моделювання вибору головного вузла в РТС. Дослідження проведено для топології з 5 вузлами, які характеризуються різним рівнем обчислювальної продуктивності, залишкової енергії та середніми затримками обробки пакетів. Моделювання виконано в умовах змінного навантаження та обмежених ресурсів, що відображає типову роботу РТС в реальному часі. Ймовірність вибору координатора обчислювалася за розробленим методом зваженого випадкового вибору, що враховує пріоритет вузлів із кращими характеристиками.

Таблиця 1 – Параметри вузлів у сценарії вибору головного вузла

Вузол	Продуктивність	Енергія	Затримка	Ймовірність вибору
Вузол 1	0,85	0,90	0,10	0,32
Вузол 2	0,70	0,80	0,20	0,26
Вузол 3	0,65	0,60	0,25	0,18
Вузол 4	0,50	0,55	0,30	0,14
Вузол 5	0,40	0,45	0,40	0,10

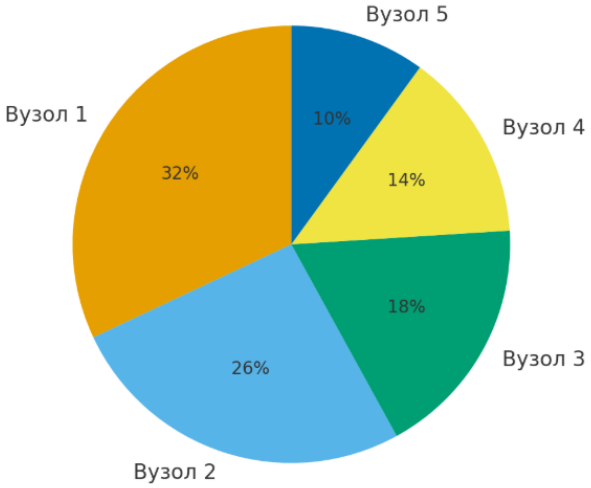


Рис. 1 – Імовірність вибору головного вузла

Як видно з табл. 1 та рис. 1, метод забезпечує пріоритет вибору вузлів із вищими показниками продуктивності та енергії при збереженні випадковості, проте випадковий фактор забезпечує адаптивність і знижує ризик «монополізації» управління одним вузлом.

Запропонований біоінспірований метод вибору головного вузла на основі імовірнісної рандомізації з ваговими коефіцієнтами поєднує багатопараметричну оцінку продуктивності вузлів і механізм випадковості. Це дозволяє підвищити адаптивність, відмовостійкість і стійкість до атак в РТС, що є особливо актуальним у сучасних умовах динамічних навантажень і зростання вимог до безпеки та стабільності РТС.

References

4. Syvolovskyi I.M., Lysechko V.P. (2025) Method for leader node selection and processing pipeline formation in distributed telecommunication systems. – National Aviation University. Science-intensive Technologies. Series: «Electronics, telecommunications and radio engineering», Kyiv, 2025. Vol. 66, № 2, PP. 190-200 https://doi.org/10.18372/2310-5461.66.20311.

УДК 621.396.967

***Перець К.Г.**, PhD здобувач*
Український державний університет залізничного транспорту, Харків
***Жученко О.С.**, к.т.н., професор*
Український державний університет залізничного транспорту, Харків

МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ АНСАМБЛІВ СКЛАДНИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ РЯДІВ ВОЛЬТЕРРА ДЛЯ КОГНІТИВНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

В умовах когнітивних телекомунікаційних систем (КТС) одним із ключових завдань є формування ансамблів складних сигналів з покращеними взаємокореляційними властивостями. Проблема ускладнюється наявністю завад множинного доступу, нелінійних спотворень та часово-частотної варіативності середовища. Традиційні методи перестановок часових інтервалів чи частотних елементів підвищують обсяг ансамблю, проте не дозволяють достатньо точно описати вплив нелінійних ефектів та складних взаємодій між сигналами.

Для вирішення цієї наукової задачі запропоновано використання рядів Вольтерра як математичного апарату моделювання нелінійних і пам’яттєвих систем. На відміну від лінійних методів, розкладання сигналів у ряди Вольтерра дозволяє врахувати.

1. Вищі порядки взаємодії сигналів.
2. Накопичення енергії у нелінійних середовищах.
3. Вплив міжсимвольних спотворень у часовій області.
4. Нелінійні перетворення у спектральному просторі.

Таким чином, ряди Вольтерра дають можливість якісно описати і контролювати процес формування ансамблів сигналів в умовах завад.

Основні етапи запропонованого методу:

1. Первинне формування ансамблю – використання перестановок часових та частотних елементів для отримання множини сигналів.
2. Вольтерра-моделювання – апроксимація отриманих сигналів за допомогою рядів Вольтерра другого та третього порядку, що дозволяє врахувати нелінійні взаємозв’язки.
3. Оптимізація – вибір параметрів ансамблю на основі мінімізації максимумів бічних пелюсток ФВК, із застосуванням інформаційних критеріїв (AIC, BIC).
4. Адаптація – ітеративне коригування моделі при зміні умов середовища (шум, завмирання, інтерференція).

Наукова новизна запропонованого підходу полягає у поєднанні методів перестановок та спектральної фільтрації з нелінійним моделюванням на основі рядів Вольтерра. Це забезпечує не лише збільшення об’єму ансамблю, але й стабільність його

властивостей у реальних каналах з нелінійними спотвореннями.

Практичні результати демонструють, що використання Вольтерра-моделі дозволяє знизити рівень завад множинного доступу на 10–15 % у порівнянні з традиційними методами, а також забезпечує кращу адаптацію ансамблів сигналів до варіативних умов когнітивних мереж.

References

1. Xiang, Q., Tan, X., Ding, Q., & Zhang, Y. (2024). A Compact Bandpass Filter with Widely Tunable Frequency and Simple Bias Control. Electronics, 13(2), 411. https://doi.org/10.3390/electronics13020411 (MDPI Open Access Article)

2. Indyk S., Lysechko V. (2020) The study of ensemble properties of complex signals obtained by time interval permutation. Advanced Information Systems. Vol. 4, № 3. PP. 85-88. DOI: 10.20998/2522-9052.2020.3.11.

3. Perets, K., & Zhuchenko O. (2025). Method of localized signal reconstruction in dynamic environments based on modified Volterra series// Computer-integrated technologies: education, science, production/ Lutsk National Technical University. – Lutsk. – 2025. (№59), P.P. 313-321. https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-59-39.

С.О. Кадук, д.т.н., професор В.П. Лисечко, Н.В. Дорошко
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РАДІОЗАВАД НА ЯКІСТЬ УПРАВЛІННЯ БЕЗПІЛОТИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ.

У контексті ескалації гібридних конфліктів, де безпілотні літальні апарати (БпЛА) інтегруються в оперативно-тактичні системи для розвідки, ураження та координації, спектральний моніторинг та управління частотними ресурсами набувають стратегічного значення. Сучасна електромагнітна обстановка в зоні бойових дій характеризується високою щільністю радіосигналів, широким спектром джерел інтерференції та активних систем радіоелектронної боротьби (РЕБ), що безпосередньо загрожує стійкості каналів управління, навігації (GNSS) та передачі розвідувальної інформації БпЛА. Для забезпечення ефективного управління частотними ресурсами та підтримки безперебійного функціонування розвідувальних і бойових операцій необхідне застосування систем спектрального моніторингу, здатних діяти в умовах високої інтенсивності завад, джемінгу, спуфінгу та багатошляхового поширення сигналів.

Цивільна й військова база стандартів забезпечує базові принципи динамічного доступу до спектру та оцінки зайнятості каналів. Стандарти IEEE, зокрема IEEE 802.22 (2019), визначають архітектуру для когнітивних радіосистем з динамічним доступом до спектру, що забезпечує можливість використання “білих плям” телевізійного спектру для спектрального моніторингу та уникнення інтерференції в тактичних безпроводових мережах. А робочі групи серії IEEE 1900 та конференції DySPAN формалізують вимоги до когнітивних радіомереж, протоколів співпраці вузлів та інтерфейсів для динамічного управління спектром, включно з вимірюваннями інтерференції [1, 2]. У військовій сфері нормативною основою є MIL-STD-461G, (2015, з оновленнями 2025) встановлює вимоги до електромагнітної сумісності для контролю електромагнітних перешкод, включаючи методи моніторингу розподілених спектрів з частотною перестройкою для протидії глушінню, що є критично для забезпечення надійності роботи БпЛА в бойових умовах [3]. MIL-STD-461G інтегрується з STANAG 3516 для мережі спектру повітряного простору, забезпечуючи сумісність з платформами НАТО та мінімізуючи ризики несанкціонованого доступу. Комбінація IEEE 802.22, IEEE 1900 з MIL-STD-461G формує гібридну основу для тактичного домінування, де БпЛА адаптуються до невикористаних частотних діапазонів спектру в реальному часі, з потенціалом для інтеграції в мульти-БпЛА мережі.

Оптимізація методів моніторингу спектру для системи бойового застосування БПЛА передбачає застосування когнітивних алгоритмів, здатних оперативно адаптувати пороги детекції залежно від рівня шумів та інтенсивності завад, аналізувати спектральну статистику і прогнозувати появу інтерференції в реальному часі. Зокрема, удосконалені методи енергетичної детекції з використанням ентропійних показників продемонстрували підвищену ефективність у сценаріях із низьким відношенням сигнал/шум (SNR), що критично для рухомих платформ у зоні активності РЕБ [4]. Важливою складовою є кооперативний або віртуально-кооперативний спектральний моніторинг, коли кілька БпЛА або наземних вузлів спільно здійснюють спостереження за спектром, об’єднуючи локальні дані у центрі злиття. Такий підхід знижує ймовірність виникнення “сліпих зон”, компенсує затінення та багатошляховість, а також підвищує точність прийняття рішень у складних бойових умовах [5,6].

Широкосмугові методи сканування, включно зі стисненою вибірковістю, дозволяють зменшувати апаратні вимоги до аналогово-цифрових перетворювачів та енергоспоживання, що особливо актуально для платформ із обмеженими SWaP. Поєднання таких методів із кооперативним підходом скорочує час сканування та знижує навантаження на канали обміну даними між вузлами.

Порівняльний аналіз методів вузькосмугового та широкосмугового моніторингу спектру, а також алгоритмів машинного й глибинного навчання, демонструє їхні сильні й слабкі сторони для застосування у системи бойового застосування БпЛА. Вузькосмугові методи включають енергетичне детектування, кореляційний аналіз та виявлення циклостанційних ознак, які характеризуються низькими обчислювальними витратами, високою точністю при наявності апріорної інформації про сигнал та стійкістю до шумів при ресурсозатратності. Широкосмугові методи ефективні для роботи з великим діапазоном частот, а машинне навчання забезпечує адаптивну класифікацію сигналів і прогнозування спектральної активності, проте вимагає значних навчальних вибірок і ризикує надмірно пристосуватися до даних [5, 6].

Отже, ефективна організація спектрального моніторингу для системи бойового застосування БпЛА передбачає комплексний підхід: інтеграцію цивільних та військових стандартів, застосування когнітивних алгоритмів, кооперативного аналізу спектру та широкосмугового моніторингу з стисненою вибірковістю. Така стратегія забезпечує оперативне й точне управління частотними ресурсами, підвищує стійкість до радіоелектронного впливу противника та гарантує надійну роботу безпілотних платформ у динамічному бойовому середовищі.

Список літератури:

1. IEEE 802.22 Overview. EECE, Cairo University. https://eece.cu.edu.eg
2. IEEE P1900 / DySPAN Conference Materials. https://dyspan2019.ieee-dyspan.org
3. MIL-STD-461G Standard: Requirements for Electromagnetic Compatibility of Subsystems. SpectrumX.
4. Energy Detection with Entropy-based Thresholds in Low SNR Conditions. Wiley Online Library.
5. Cooperative Spectrum Sensing in UAV Networks. arXiv:2001.12345
6. Performance Evaluation of Wideband Sensing and Compressive Sensing Methods. PMC: 10.3390/s21010123

O.V.Lozko, O.Y. Mohylnyi,
Dr.Sc, Professor, V.P. Lysechko
Ivan Kozhedub Kharkov National University of Air Forces, Kharkiv, Ukraine

METHODS FOR CONSTRUCTING MODERN SELF-ORGANISING TELECOMMUNICATION NETWORKS

Modern telecommunications networks require high adaptability to changes: traffic variations, user mobility, interference and equipment failures. The concept of self-organisation (SON) allows for the automation of a significant part of the operational life cycle of networks (auto-configuration, auto-optimisation, self-healing), reducing the need for manual configuration and speeding up service recovery.

In practice, SON distinguishes three main classes of functions:

- self-configuration – automatic configuration of new network elements upon connection;
- self-optimisation – dynamic adjustment of parameters (transmitter power, radio channel settings, handover parameters);
- self-healing – detection and correction of failures, maintaining service availability.

SON architectures range from centralised (via a controller/home management system) to fully distributed agent models, where decisions are made locally by a node based on local measurements and exchanges with neighbours. Hybrid architectures combine local rapid response and global coordination.

Problems arising in self-organised telecommunications networks

Energy constraints

For IoT nodes and sensor networks, resources are limited: battery power, processing power, memory. The implementation of ML models and complex SON algorithms requires a compromise: some of the processing can be performed centrally (edge/cloud), and some locally (lightweight inference, rules).

Security and resilience

Automatic decision-making systems are vulnerable to targeted attacks. It is necessary to implement measurement validation methods, model integrity control, and multi-level authentication for control commands [3].

Difficulties for widespread application

1. Validation in a real environment. Many methods show validity in simulations, but testing in real networks remains difficult due to cost and regulatory constraints.

2. Energy efficiency. Balancing performance and energy consumption requires new approaches in hardware and algorithms.

Conclusions: Self-organising telecommunications networks are a multidimensional field that combines standardisation, algorithmic approaches (distributed routing, cognitive radio), hardware innovations and intelligent modules. Existing solutions are effective in simulations and partial testing, but for widespread industrial application, issues of validation, energy conservation and security need to be addressed.

References

1.Papidas, A. G., & Polyzos, G. C. (2022). Self-Organizing Networks for 5G and Beyond: A View from the Top. *Future Internet*, 14(3), 95

2.Fourati, H. (2021). Comprehensive survey on self-organizing cellular network approaches applied to 5G networks. *Computer Networks*,

3.Ahmed, M., et al. (2025). RIS-Driven Resource Allocation Strategies for Diverse Networks. *ETT*.

PhD здобувач І.М. Туленко,
к.т.н., доцент С.В. Індик,
PhD здобувач М.Ю. Свищов
Український державний університет
залізничного транспорту

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ АНСАМБЛІВ СКЛАДНИХ СИГНАЛІВ У ЧАСОВІЙ ОБЛАСТІ ЗА РАХУНОК ЛПТ-ПОСЛІДОВНОСТЕЙ.

У когнітивних телекомунікаційних системах одним з ключових викликів є мінімізація завад множинного доступу при збільшенні кількості одночасних абонентів. Традиційні методи випадкових перестановок часових інтервалів часто дають нерівномірне покриття простору і вимагають значних витрат при пошуку оптимальних комбінацій.

Метою є удосконалення методу формування ансамблів складних сигналів у часовій області шляхом використання ЛПτ-послідовностей для генерації перестановок. Основні завдання:

- забезпечення рівномірного охоплення простору перестановок;
- зменшення максимальних викидів бічних пелюсток (PSL);
- зниження рівня завад множинного доступу;
- збереження або збільшення обсягу ансамблю.

ЛПτ-послідовності (низькорозбіжні τ-послідовності) застосовуються для генерації перестановок часових інтервалів, що дозволяє уникнути прогалин у просторі рішень і забезпечити більш рівномірний пошук змін. Це покращує взаємокореляційні властивості сформованих ансамблів сигналів і знижує вплив ЗМД.

Алгоритм реалізації ЛПτ-послідовностей

1. Розбиття вихідної псевдовипадкової послідовності на часові інтервали.
2. Генерація перестановок за допомогою ЛПτ-послідовностей.
3. Оцінка кожної перестановки через функцію взаємної кореляції та обчислення PSL.
4. Відбір сигналів з найнижчим PSL для формування ансамблю.
5. Перевірка ансамблю на умову мінімальної подоби та кореляційні властивості.

Моделювання продемонструвало, що застосування ЛПτ-послідовностей дає більш рівномірне заповнення простору параметрів, поліпшені кореляційні властивості та зниження рівня ЗМД. Основним компромісом є збільшення обчислювальних витрат на етапі генерації перестановок, але це компенсується скороченням часу загального пошуку оптимальних варіантів.

Практичне значення

Розроблений алгоритм реалізований у середовищі Matlab. Метод дозволяє підвищити ефективність формування ансамблів у часовій області, зменшити вплив ЗМД та підвищити ємність когнітивної системи – збільшити кількість одночасних абонентів при збереженні якості зв’язку.

Література

1. Sobol’, I. M. On the distribution of points in a cube and the approximate evaluation of integrals. USSR Computational Mathematics and Mathematical Physics, 1967.

2. Niederreiter, H. Random Number Generation and Quasi-Monte Carlo Methods. SIAM, 1992.

3. Lysechko V., Indyk S. The formation method of complex signals ensembles with increased volume based on the use of frequency bands. Control, Navigation and Communication Systems, Issue 3 (61), 2020.

О.О.Шевченко,
Д.т.н, професор, В.П. Лисечко
Харківський національний університет
повітряних сил імені Кожудуб, Харків, Україна

МЕТОД ЧАСОВИХ ПЕРЕСТАНОВОК ІЗ ПРОГНОЗНО-ОРІЄНТОВАНИМ ВИБОРОМ

Сучасні когнітивні телекомунікаційні мережі потребують методів формування ансамблів сигналів, здатних забезпечувати стабільність кореляційно-спектральних показників у середовищі з високим рівнем завад. Зростання кількості користувачів та ускладнення радіосередовища призводять до збільшення міжсимвольної та міжканальної інтерференції, що обмежує якість обслуговування та знижує пропускну здатність. Традиційні методи часових перестановок сигналів дозволяють збільшити обсяг ансамблів, проте зосереджуються лише на мінімізації поточних викидів бічних пелюсток функції взаємної кореляції і не враховують динаміку ансамблю в подальших ітераціях.

Запропоновано метод часових перестановок із прогнозно-орієнтованим вибором, у якому кожна потенційна перестановка оцінюється за двома групами показників: –

– поточні (максимальне значення кореляційної функції Rmax, база сигналу B, пік-фактор CF, ефективна ширина спектра BW, дисперсія Var(R));

– прогнозовані (динаміка зміни Rmax та Var(R) у наступних ітераціях, оцінюється за допомогою статистичних моделей – марковських ланцюгів, ARIMA-рядів або спрощених трендових оцінок).

Метод орієнтований на когнітивні мережі з множинним доступом, де важлива не лише поточна мінімізація завад, а також запобігання накопиченню кореляційних викидів у часі. Це підвищує завадостійкість ансамблів сигналів, забезпечує стійку продуктивність при змінних параметрах середовища і дозволяє збільшити обсяг ансамблів без критичного зростання взаємної кореляції.

Алгоритм реалізації методу включає наступні етапи.

1. Декомпозиція сигналів у часовій області на сегменти з урахуванням ортогональності.

2. Генерація множини перестановок для заданих сегментів.

3. Оцінювання поточних показників (Rmax, B, CF, BW, Var(R)).

4. Прогнозування динаміки цих показників для наступних ітерацій за допомогою марковських або ARIMA-моделей.

5. Вибір оптимальної перестановки за інтегральним критерієм: мінімізація поточного Rmax і Var(R) + мінімізація очікуваних значень у прогнозі.

6. Формування ансамблю сигналів та перевірка на відповідність умовам завадостійкості.

7. Ітеративне оновлення ансамблю з урахуванням нових даних про середовище.

Таким чином, на відміну від відомих методів часових перестановок, що оцінюють лише поточні параметри, запропонований метод інтегрує механізм прогнозування. Це дозволяє упереджено контролювати динаміку ансамблю, знижуючи ризик накопичення кореляційних викидів у майбутніх ітераціях, що підвищує завадостійкість та ефективність використання ансамблів у когнітивних телекомунікаційних мережах.

References

1. Veklych O., & Drobyk O. (2025). Justification of the Efficiency of Time Segment Permutation in a Multilevel Optimization Method for Signal Ensembles. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*, (59), 303-312. https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-59-38

2. Lan, Y., Li, Z., Lin, W. (2023) A Time-Domain Signal Processing Algorithm for Data-Driven Drive-by Inspection Methods: An Experimental Study. Materials, vol. 16, no. 7, 2023, p. 2624. Available at: https://www.mdpi.com/1996-1944/16/7/2624

Г.В. Шубіна, д.т.н., професор В.П. Лисечко
Харківський Національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків

МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО ВИБОРУ ТРИВАЛОСТІ ЧАСОВИХ СЕГМЕНТІВ У АНСАМБЛЯХ СКЛАДНИХ СИГНАЛІВ

Сучасні телекомунікаційні системи стикаються з проблемами завад множинного доступу, що обмежують пропускну здатність і погіршують якість сигналів. Одним із шляхів зменшення впливу таких завад є оптимальний вибір параметрів часового сегментування сигналів.

У роботі пропонується метод визначення тривалості часових сегментів, який враховує одночасно ансамблеві властивості сигналів та рівень завад у каналі зв’язку. Основна ідея полягає в тому, що ефективність ансамблів складних сигналів залежить не лише від їх структури, але й від способу поділу часової області на сегменти.

Метод базується на двох ключових положеннях:

1. Ансамблеві властивості сигналів описуються критеріями взаємокореляції та

ортогональності. Зменшення взаємних кореляційних складових підвищує завадостійкість.

2. Завади множинного доступу (MAI) прямо залежать від ширини сегментів: надто вузькі сегменти підвищують інтерференцію, надто широкі – знижують адаптивність.

Для знаходження оптимальних параметрів застосовується багатокритеріальна оптимізація, де цільова функція поєднує показники завадостійкості, кореляційні властивості та пропускну здатність. Експериментальні результати підтвердили, що запропонований метод дозволяє знизити рівень завад та підвищити ефективність ансамблів сигналів у порівнянні з традиційними підходами.

Отримані результати можуть бути використані при побудові безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем, зокрема в умовах когнітивного управління спектром та в системах множинного доступу.

Література

1. Lysechko V., Bershov V. Justification of Filter Selection Methods for Enhancing the Efficiency of Multilevel Recurrent Time-Frequency Segmentation. SISIOT (Security of Infocommunication Systems and Internet of Things), vol. 2, no. 1, 2024, pp. 1–7. DOI: https://doi.org/10.31861/sisiot2024.1.01006

2. Лисечко В. П., Комар О. М., Бершов В. С., Веклич О. К. Optimization of the parameters of synthesized signals using linear approximations by the Nelder-Mead method. Radio Electronics, Computer Science, Control, (3), 35–43, 2024. DOI: https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-3-4

УДК 621.396.96

доктор філософії, М.В.Сургай;
д-р техн. наук, старший науковий співробітник, Г.С. Залевський;
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАДІОЛОКАЦІЙНОГО РОЗСІЮВАННЯ СНАРЯДУ ОФ-462 ПРИ РОЗНЕСЕНОМУ ПРИЙОМІ СИГНАЛІВ

У доповіді демонструються результати математичного моделювання ефективної поверхні розсіювання снаряду ОФ-462 для суміщеного та рознесеного прийому сигналів, під різними бістатичними кутами. Частота зондувального сигналу була прийнятою 3 ГГц (довжина хвилі 10 см), що відповідає робочому діапазону частот радіолокаційної станції контрбатарейної боротьби українського виробництва 1Л220УК (“Зоопарк-3”). Результати отримано за допомогою розробленого електродинамічного методу чисельного розрахунку радіолокаційних характеристик розсіювання, заснованого на розв’язанні інтегрального рівняння магнітного поля.

Проведено порівняльний аналіз ефективної поверхні розсіювання снаряду для суміщеного та рознесеного прийому. Наведені середні і медіанні значення ефективної поверхні розсіювання снаряду ОФ-462. Отримані дані свідчать про те, що при застосуванні рознесеного прийому потенційна дальність виявлення може збільшитися у порівнянні з суміщеним прийомом Авторами розглядається можливість застосування багатопозиційних радіолокаційних систем у контрбатарейній боротьбі. Отримані результати свідчать про наявність певних переваг застосування багатопозиційних радіолокаційних систем у контрбатарейній боротьбі. Водночас підкреслюється, що використання рознесеного приймання слід розглядати лише як допоміжний спосіб у системах контрбатарейної боротьби, зважаючи на необхідність синхронізації декількох радіолокаторів.

Перелік посилань

1. Крупников А. Радиолокационные станции контрбатарейной борьбы основных зарубежных стран. *Зарубежное военное обозрение.* 2010. № 12. С. 32–41.

2. Красюк О. П. Розвідувальне забезпечення артилерії в локальних війнах та збройних конфліктах кінця XX – початку XXI століття. *Військово-науковий вісник Академії Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного*. 2012. Вип. 18. С. 339–347.

3. Опанасюк І. І. Радіолокаційні станції контрбатарейної боротьби та перспективи їх розвитку. *Військово-технічний збірник Академії Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного.* 2015. № 1. С. 117–119. DOI: https://doi.org/10.33577/2312-4458.12.2015.117-120.

4. Сургай М. В., Залевський Г. С., Василець В. О., Сухаревський О. І. Оцінювання рівня радіолокаційної помітності снаряду ракетної системи залпового вогню “Град” у різних діапазонах довжин хвиль. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2017. № 2(51). С. 142–148. ISSN 2073–7378.

5. Сургай М. В. Математичне моделювання характеристик вторинного випромінювання снаряду ОФ-25 самохідної гаубиці 2С3 “Акація” у різних діапазонах довжин хвиль. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2018. № 3(32). С. 135-141. DOI : https://doi.org/10.30748/nitps.2018.32.18.

6. Zalevsky G., Sukharevsky O., Vasilets V., Surgai M. Estimation of Radar Scattering Characteristics of Artillery Shells in Meter, Decimeter and Centimeter Wavelength Ranges. *Radioelectronics and Communications Systems*. 2019. Vol. 62. No. 7. P. 356–367. DOI : https://doi.org/10.3103/S0735272719070033.

7. Sukharevsky O. I. Nechitaylo S. V., Orlenko V. M., Vasilets V. A., Zalevsky G. S. Applied Problems in the Theory of Electromagnetic Wave Scattering / O. I. Sukharevsky editor. Bristol, UK: IOP Publishing, 2022. 283 p.

8. Chernyak, V.S. (1998), Fundamentals of Multisite Radar Systems, Gordon and Breach Science Publishers, 475 p. https://doi.org/10.1201/9780203755228.

9. Advances in Bistatic Radar / edited by Nicholas J. Willis, Hugh D. Griffiths. – SciTech Publishing Inc., 2007. – 515 p.

10. Худов Г.В., Оваід Сальман Рашід, Ліщенко В.М., Тютюнник В.О. Методи обробки сигналів у мультирадарній системі однотипних оглядових двокоординатних радіолокаційних станцій (engl.). Системи обробки інформації. 2020. № 3(162). С. 65-72. https://doi.org/10.30748/soi.2020.162.07.

11. Khudov H. Аналіз існуючих шляхів підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об`єктів радіолокаційними засобами контролю повітряного простору. *Системи управління, навігації та зв’язку. Збірник наукових праць*. 2018. 6 (52). С. 38-43. doi:https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.6.038.

12. Shimonets, D. V., Lugina, A. L., Kharkov, M. Y., Nechitailo, I. V., & Khudov, G. V. (2017). Пасивні радіолокаційні системи виявлення малорозмірних повітряних об’єктів з використанням сигналів телекомунікаційних систем. *Системи управління, навігації та зв’язку. Збірник наукових праць,* 4(44), 138-142.

13. Ковалевський С.М., Тютюннік В.О., Худов Г.В. Метод розрахунку ефективної поверхні розсіяння малорозмірних повітряних об’єктів при однопозиційному та рознесеному прийомах сигналів в оглядових радіолокаційних станціях. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил.* 2015. Вип.2(43). С.28–31.

14. Willis N.J. Bistatic Radar, Second Edition / Nicholas J. Willis. – Raleigh: SciTech Publishing, 2005. – 329 p.

15. Kenyon C., Dogaru T. Numerical Computation of the Radar Cross Section of Rockets and Artillery Rounds. Adelphi (MD), USA: *Army Research Laboratory*, Sep 2015. Report No. ARL-TR-7468. URL: https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a622300.pdf.

16. Sukharevsky O., Zalevsky G., Vasilets V. Modeling of Ultrawideband (UWB) Impulse Scattering by Aerial and Subsurface Resonant Objects Based on Integral Equation Solving. Advanced Ultrawideband Radar: Signals, Targets, and Applications / Edited by J. D. Taylor. Boca Raton London New York : *CRC Press Taylor & Francis Group*, 2016. Chapter 5. P. 195–235. DOI :

UDK 656.2:658.26:004

PhD (Tech.) H. Baulina
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

THE IMPACT OF DIGITALIZATION ON THE EFFICIENCY OF RAIL FREIGHT TRANSPORTATION

Rail transport is a strategic element of the national economy, accounting for a significant share of domestic and international freight traffic. In the context of globalization and growing competition, digitization is becoming a key factor in improving transport efficiency, covering all stages of the logistics process — from planning to monitoring and analytics. Digital technologies make it possible to integrate transport systems into international logistics networks, improve customer service, and reduce costs for transport operators. However, the level of digital maturity of rail transport in Ukraine does not yet meet the requirements of the modern market, which necessitates scientific research in this area.

Digitalization in the transport sector involves the introduction of modern information and communication technologies aimed at optimizing the management of transport and logistics processes.

The main components of the digitalization of rail freight transport are:

– electronic document management systems;

− rolling stock monitoring systems that allow real-time tracking of the location and technical condition of railcars;

− logistics chain management systems that ensure coordination between the sender, carrier, and recipient;

− artificial intelligence technologies that allow demand to be predicted and transport routes to be optimized.

In leading countries around the world, the digitization of the transport industry is a priority area for development. In particular, the EU is implementing the Rail Digital Platform program, which ensures data unification and standardization of electronic services. In the US, automated transport management systems integrated with port and customs services are widely used.

In Ukraine, the digitization of rail freight transport is in a phase of active development. Key projects include the introduction of electronic transport documents, a "single window" system for customs clearance, and automated rolling stock monitoring systems. At the same time, there are still problems with low compatibility of digital services between different market participants and insufficient investment in modern IT solutions.

Digitalization has a multidimensional impact on the efficiency of rail transport: reducing logistics costs, reducing car downtime, optimizing the use of rolling stock; increasing the speed and reliability of delivery, reducing the time of customs and border procedures; improved coordination between all participants in the logistics process, integration into multimodal transport; rational use of resources.

According to international studies, digitalization can increase the efficiency of rail freight transport by 15–25%, depending on the level of integration of digital services.

To ensure the sustainable development of digital solutions in the field of rail freight transport, it is advisable to create a "single national digital platform" for freight transport management with integration into international systems, expand the use of electronic transport documents and ensure their legal force in the international legal field, introduce predictive analytics systems to forecast demand and optimize traffic schedules. In addition, it is possible to intensify the development of smart logistics using IoT sensors to monitor the condition of railcars and cargo, as well as to promote public-private partnerships to attract investment in digital infrastructure. Therefore, for Ukraine, the introduction of modern digital technologies in the field of rail transport is not only a necessity but also a strategic condition for increasing the competitiveness of the transport system in the global market.

УДК 656.223

Докт. техн. наук Д.В.Ломотько, маг. Касай І.Ю., Гаманюк К.І., Романов Р.Ю.
Український державний університет залізничного транспорту, м.Харків

ЩОДО ВЗАЄМОДІЇ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПІД'ЇЗНИХ КОЛІЙ З МАГІСТРАЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ В УКРАЇНІ

Як свідчить галузеві показники роботи, значення залізничних вантажних та пасажирських перевезень у нашій державі збільшується, зокрема після запровадження воєнного стану. Основну частину вантажів різного призначення залізниця отримує від підприємств та доставляє до місць призначення на під'їзні колії. На жаль, в управлінні взаємодії магістральним залізничним транспортом та під'їзними колями, які є основою вантажоутворення, виявляються такі ключові труднощі.

Велика зношеність інфраструктури, оскільки більшість під'їзних колій - у приватній власності, часто власник не має можливості їх утримувати відповідно технічним стандартам магістральної мережі. Як наслідок спостерігається низька пропускна здатність станцій примикання, значні простої рухомого складу, порушення термінів доставки вантажів тощо. Низький рівень автоматизації, практична відсутність сучасних систем сигналізації та блокування призводять до погіршення показників безпеки руху.

Не зважаючи на те, що взаємодія між промисловими підприємствами - власниками під'їзних колій, контрагентами та АТ «Укрзалізниця» регулюється договорами, дуже часто виникають конфлікти щодо доступу до інфраструктури, тарифів, показників простою, технічного обслуговування. Відсутність єдиного цифрового реєстру під'їзних колій, відсутність єдиної системи диспетчеризації та обміну даними між промисловими операторами й магістральним транспортом, слабко сформоване єдине інформаційне середовище ускладнює планування логістики. Впровадженню сучасних ІТ -технологій заважають фінансові та інвестиційні бар'єри: власники під'їзних колій несуть витрати на утримання, модернізацію та реконструкцію самостійно, без державної підтримки, а з боку АТ «Укрзалізниця» спостерігається відсутність стимулів для модернізації або цифрової інтеграції з магістральною залізничною мережею.

Особливості експлуатації залізничних під'їзних колій при взаємодії із магістральним транспортом у деяких країнах наведено у табл. 1.

Таблиця 1 - Особливості експлуатації залізничних під'їзних колій при взаємодії із магістральним транспортом у деяких країнах

Країна	Управління	Інфраструктура	Інтеграція	Основні виклики	Переваги
UA Україна	Нестабільне, на підставі договірів	Зношена, приватна	Слабка	Затримки, конфлікти	Велика мережа, потенціал
US США	Приватне, через Class I Railroads	Високий стандарт	Часткова	Конфлікти доступу, конкуренція	Потужна магістральна мережа
PL Польща	Державне + приватне	Модернізована	Добра	Бюрократія, нестача інвестицій	ЄС-фінансування, інтеграція з TEN-T
DE Німеччина	Регіональне, через DB Netz	Високотехнологічна	Висока	Висока вартість доступу	Цифрова диспетчеризація, стандартизація

Аналізуючи табл. 1 можна зробити наступні висновки. У США під'їзні колії часто належать приватним компаніям, які мають прямі контракти з магістральними операторами (наприклад, Union Pacific, BNSF), яких немає в Україні. Має місце високий рівень автоматизації, але конкуренція між операторами створює бар'єри для доступу. У Польщі активно модернізують інфраструктуру за рахунок коштів ЄС. Під'їзні колії інтегруються в логістичні парки, мультимодальні термінали. PKP Cargo співпрацює з приватними операторами через відкриті тендери. Цей досвід був би корисним для України. Німеччина на рівні DB Netz забезпечує централізоване управління доступом до інфраструктури. Під'їзні колії при цьому є частиною цифрової системи планування, яку в Україні можливо створити шляхом глибокої модернізації АСК ВП УЗ-Є.

До актуальних завдань для АТ «Укрзалізниця» слід включити планування "last mile" шляхом включення під'їзних колій у загальну систему планування вантажних перевезень, а також визначення пріоритетних маршрутів для таких важливих вантажів, як зерно, метал, паливо тощо. Механізм спільного фінансування дозволить покращити стан інфраструктури. На це може бути спрямована державна програма співфінансування модернізації під'їзних колій (50/50 з підприємствами-власниками), залучення коштів зовнішніх інвесторів (ЄІБ, ЄБРР, USAID) для модернізації логістичних вузлів. Високий рівень стандартизації, інтеграція з портами та індустріальними зонами стане одним з ключових напрямків розвитку технології взаємодії залізничних під'їзних колій з магістральним транспортом в Україні у повоєнний період.

Список використаних джерел:

1. Ломотько, Д. В., Ільчишин, В. М., Афанасов, Г. М., Афанасова, О. Ф. (2025). Вплив логістичної складової на зберігання та транспортування зерна в Україні. *Транспортні системи та технології перевезень*, (29), 52–58. https://doi.org/10.15802/tstt2025/325407
2. Ломотько, Д. В., Ільчишин, В. М., Ломотько, М. Д., Афанасова, О. Ф. (2025). Удосконалення технології передавання контейнеропотоку із зерновими вантажами для перевезення за участю залізничного транспорту. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту, (211), 290-303. DOI: https://doi.org/10.18664/

PhD (Tech.) H. Baulina, postgraduate I. Kernytskyi

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

TRANSPORTATION IN INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDORS

International transport corridors (ITCs) are a key element in integrating the national transport system into the global logistics space. Ukraine has a number of strategically important ITCs, including the East-West and Baltic-Black Sea corridors, as well as routes connecting the EU with the Black Sea region.

Ukraine's railway network has an advantageous geographical location, but its technical condition limits its capacity. About one-third of the tracks are operated beyond their standard service life, and some border crossings need to be modernized. Similar problems are characteristic of other countries in Central and Eastern Europe, where ITCs face an imbalance between demand and infrastructure capacity.

One of the main obstacles to the development of international freight traffic is the limited capacity of main lines and junction stations. This is due to:

− low train speeds due to the technical condition of the tracks;

− insufficient number of locomotives and wagons suitable for international transport;

− incompatibility of railway systems (different track gauges, technical standards, signaling and communication requirements).

International freight transport is multimodal in nature, requiring effective coordination between rail, road, sea, and river transport. However, Ukraine and many neighboring countries lack sufficiently developed intermodal terminals. This complicates container transshipment, increases delivery times, and raises logistics costs.

The integration of rail transport with port infrastructure requires particular attention, as ports are the final destination for most international freight flows. The low level of synchronization between train schedules and port operations leads to congestion on access tracks and the accumulation of railcars.

Cargo flows in international transport corridors are uneven. In particular, grain and other agricultural cargoes create peak loads during the harvest season. In contrast, transport volumes decline sharply in the off-season. Such fluctuations complicate freight transportation planning, lead to irrational use of rolling stock, and cause imbalances in the operation of logistics systems. At the same time, the instability of international markets, caused by fluctuations in demand and changes in the geopolitical situation, creates additional challenges for freight flow management.

Thus, the analysis shows that rail transport in international transport corridors faces a number of problems: technical wear and tear of infrastructure and rolling stock; limited capacity of certain sections; insufficient integration with other modes of transport; significant seasonal and market fluctuations in freight traffic. These factors reduce the efficiency of the transport system and require scientific justification for new approaches to freight flow management. Technology optimization should be based on systematic analysis, the use of mathematical models, and modern information technologies, which will be the subject of further research.

УДК 656.2:656.615:658.7

Кандидат техн. наук Г.С. Бауліна, магістр Нікора Д.Ю.

Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ЗАЛІЗНИЦІ З ПОРТАМИ У ПРОЦЕСІ ЕКСПОРТУ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ

Експорт зернових культур є одним із ключових факторів економічного розвитку України та важливою частиною глобальної продовольчої безпеки. Згідно з офіційними даними, у 2024 році залізницею було перевезено 34,1 млн тонн зерна на експорт, що на 30% більше, ніж у 2023 році. У січні 2025 року 92 % усіх зернових вантажів, призначених на експорт, були відправлені до портів, що складає близько 1,813 млн тонн [1]. Відзначається стабільне зростання перевезень залізницею зерна до портів у місяці пікового навантаження — наприклад, у серпні 2025 року близько 95 % експортних зернових вантажів було направлено до морських портів [2]. Ці дані свідчать, що порти відіграють важливу роль в експорті зерна.

Отже, залізничний транспорт і порти становлять дві критичних ланки в експортному логістичному ланцюгу: від місця виробництва зерна до морського шляху. Проте між залізничним перевізником, виробниками, портовими терміналами й митними, прикордонними службами існують проблеми, які знижують ефективність перевезень, збільшують логістичні витрати та час доставки.

Встановлено основні проблеми у взаємодії залізниці та портів: обмежена провізна та пропускна спроможність портових під’їзних колій; несвоєчасне надходження вагонів до портів або накопичення їх на під’їзних коліях, що спричиняє затримки; недостатня координація між виробниками зерна, залізницею та портовими операторами; сезонні пікові періоди, коли попит на вагони та портові потужності сильно зростає, що призводить до відсутності ресурсів саме в критичні моменти; процедури митного контролю, фітосанітарні перевірки, документація, які можуть затримувати вантажі на терміналах або в пунктах пропуску; відсутність уніфікованих цифрових систем моніторингу руху вагонів, стану портової інфраструктури та завантаження терміналів; недостатня автоматизація портових операцій (розвантаження, накопичення, облік, планування), що спричиняє значні простої; блокування або пошкодження портів, зміни маршрутів, військові ризики, що призводять до перебоїв у роботі морських коридорів.

На основі виявлених проблем і аналізу наукових досліджень можна запропонувати певні шляхи для підвищення ефективності взаємодії залізничного та морського транспорту: створення або модернізація існуючих елеваторів як пунктів збору, які можуть об’єднувати зернові вантажі з різних підприємств і відправляти збірні поїзди до портів, що може

зменшити число “порожніх пробігів”, підвищити завантаження поїздів та знизити витрати; застосування методів кластерного аналізу для визначення оптимальних вузлів концентрації, як це запропоновано в роботі [3]; розширення кількості під’їзних колій, модернізація терміналів для більш швидкого розвантаження вагонів, автоматизація технологічних процесів, впровадження цифрових платформ для моніторингу стану розвантаження, завантаження, стану портової інфраструктури в режимі реального часу. Крім того, покращення логістичної координації та маршрутизації перевезень допоможе уникнути надмірних затримок при надходженні до портів та зменшити періоди простою вагонів на терміналах. Поряд з цим необхідним є залучення інвестицій у модернізацію рухомого складу, інфраструктури та технологічного обладнання портів, розробка чітких тарифних та стимулюючих механізмів, преференцій для перевізників і виробників за умови дотримання термінів доставки й оптимального використання потужностей та законодавча підтримка цифровізації, стандартизації документів, спрощення процедур митного контролю.

Реалізація зазначених заходів дозволить знизити витрати на транспортування, скоротити час доставки, зменшити час простою, підвищити пропускну здатність портової та залізничної інфраструктури, що, у кінцевому рахунку, підвищить експортний потенціал і забезпечить сталий розвиток аграрного сектора та логістики в Україні.

1. The share of grain transportation to Ukrainian ports in January reached 92%. URL: https://www.tridge.com/news/the-share-of-grain-transportation-to-ukraini-nzafbz?utm_source=chatgpt.com

2. Перевезення зерна залізницею до портів України у серпні 2025 року досягло рекордних обсягів. URL: https://agroreview.com/top/perevezennya-zerna-zaliznyczeyu-portiv-ukrayiny/

3. Kozachenko, D.M., Vernigora, R.V., Rustamov, R.S. (2017). Creation of export-oriented network of grain elevators in Ukraine. Science and Transport Progress, 2(68). P. 56–70. https://doi.org/10.15802/stp2017/99952

к.т.н. Г.Є. Богомазова, аспірант Є.А. Мигалатій
УкрДУЗТ, м. Харків

ФОРМУВАННЯ СТІЙКИХ АДАПТИВНИХ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ВОЄННИХ ТА ПОВОЄННИХ ВИКЛИКІВ

Сучасні умови господарювання в Україні характеризуються підвищеним рівнем невизначеності та ризиків, пов’язаних із воєнними діями, руйнуванням транспортної інфраструктури, зміною логістичних маршрутів та обмеженням доступу до морських портів. У таких умовах ефективність транспортно-логістичного обслуговування промислових підприємств стає визначальним чинником їх конкурентоспроможності та здатності забезпечувати безперервність виробничих процесів.

Логістика промислового підприємства охоплює закупівлю сировини, внутрішньовиробничі переміщення, зберігання та доставку готової продукції. Неефективна організація транспортно-логістичних процесів призводить до затримок, перевитрат ресурсів, простоїв виробництва. Від якості логістики залежить безперервність виробничих процесів, собівартість продукції та конкурентоспроможність підприємства.

Наразі промислові підприємства України стикаються з великими труднощами через воєнні дії та руйнування транспортної інфраструктури, в наслідок чого виникає потреба у перебудові логістичних систем промислових підприємств. Пошкодження залізниць, портів, складів, мостів веде до ускладнення традиційних перевізних маршрутів та вимагає пошуку нових маршрутів і створення альтернативних логістичних вузлів. Актуальним питанням постає побудова стійких та адаптивних транспортно-логістичних систем промислових підприємств в сучасних швидкоплинних умовах існування.

Ключовими аспектами формування стійких адаптивних транспортно-логістичних систем промислових підприємств є створення прикордонних логістичних хабів та «сухих портів», адаптація виробників до нових транспортних витрат, збільшення гнучкості у виборі постачальників і каналів доставки. Розвиток мультимодальних перевезень сприяє підвищенню гнучкості й надійності логістики, комбінація різних видів транспорту дозволяє мінімізувати ризики перебоїв у постачаннях, також зростає роль міжнародних транспортних коридорів та прикордонних логістичних хабів. Використання резервних маршрутів і багаторівневої складської інфраструктури підвищує надійність забезпечення виробництва. Аутсорсинг логістичних процесів знижує витрати і дає змогу адаптуватися до швидких змін. Сценарне моделювання допомагає промисловим підприємствам прогнозувати розвиток подій і завчасно формувати альтернативні рішення.

Суттєвим рішенням для підвищення функціонування транспортно-логістичних систем у воєнні та повоєнні часи має стати впровадження цифрових технологій у процес постачання продукції. Такі технології створюють можливість контролювати стан транспорту і вантажу у процесі перевезень, застосування інтелектуальних платформ забезпечує моніторинг вантажопотоків у режимі реального часу, впровадження штучного інтелекту дозволяють прогнозувати попит, знижувати витрати та підвищувати ефективність управління транспортом. Впровадження енергоефективних транспортних рішень зменшує залежність від палива та сприяє стійкому розвитку. Використання екологічних підходів дозволяє підвищувати конкурентоспроможність підприємств на європейському ринку. Такі дії сприяють не лише економії ресурсів, а й відповідності європейським стандартам, що підвищує конкурентоспроможність українських підприємств на зовнішніх ринках.

Формування стійких адаптивних транспортно-логістичних систем промислових підприємств у воєнних і повоєнних умовах є ключовим фактором відновлення економіки та забезпечення стабільності виробництва. Поєднання **цифрових технологій, диверсифікації транспортних каналів, розвитку мультимодальних перевезень, сценарного планування та зеленої логістики** створює основу для підвищення ефективності й конкурентоспроможності промислових підприємств в умовах високих ризиків.

УДК 656.223.2.001.18

А.С. Аршинов (214-ОМП-Д24)
Керівник – доц. Л. І. Рибальченко
Український державний університет залізничного транспорту (УкрДУЗТ)

ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У МІЖНАРОДНОМУ ЗАЛІЗНИЧНОМУ СПОЛУЧЕННІ

THE USE OF DIGITAL PLATFORMS FOR ORGANIZING MULTIMODAL TRANSPORTATION IN INTERNATIONAL RAILWAY TRANSPORT

В умовах інтенсифікації міжнародних транспортних зв’язків та зростання обсягів міжнародної торгівлі дедалі більшого значення набуває ефективна організація мультимодальних перевезень, які поєднують залізничний, автомобільний, морський та авіаційний транспорт у єдиному логістичному ланцюзі. Одночасно з цим транспортна галузь переживає активну цифрову трансформацію. Європейський Союз впроваджує Регламент (EU) 2020/1056 (eFTI), спрямований на створення єдиних правил для електронного обміну транспортними даними, а міжнародні організації OTIF та UIC розробляють механізми визнання електронних накладних (e-CIM, e-SMGS). Паралельно на ринку активно з’являються цифрові платформи, що надають можливості «єдиного вікна» для учасників перевізного процесу. Це створює умови для підвищення ефективності міжнародних залізничних перевезень, але одночасно ставить низку викликів юридичного, технічного та організаційного характеру.

Одним із головних питань є правове визнання електронних транспортних документів. У різних юрисдикціях досі зберігається неоднорідність у правовому статусі цифрових накладних, що ускладнює транскордонну взаємодію. Вирішення цього завдання можливе завдяки гармонізації національного законодавства з європейськими нормами, а також завдяки оновленню положень міжнародних угод, зокрема Конвенції COTIF та правил CIM/SMGS. Створення типових договорів і процедур для обміну даними у форматі B2B та B2A забезпечить більшу прозорість і надійність у відносинах між перевізниками, експедиторами та контролюючими органами.

Не менш важливим є питання технічної інтероперабельності. Сьогодні різні оператори й державні системи використовують різні формати даних (EDIFACT, XML, JSON тощо), що ускладнює інтеграцію. Перспективним напрямом розвитку є створення «core dataset» для мультимодальних перевезень та впровадження відкритих прикладних інтерфейсів (API), які забезпечать обмін даними між різними інформаційними системами. Такі рішення дозволяють адаптувати навіть застарілі системи до сучасних вимог і забезпечують єдину модель даних для всіх учасників перевізного процесу.

Ключову роль у цифрових платформах відіграє безпеки. Для надання документам юридичної сили необхідно впроваджувати кваліфіковані електронні підписи, сертифікати автентичності та механізми фіксації часу (trusted timestamp). Крім того, платформи мають гарантувати захист даних на всіх етапах їхнього руху за допомогою сучасних систем шифрування, управління доступом і кіберзахисних протоколів.

Цифрові платформи також відкривають широкі можливості для взаємодії з митними та іншими контролюючими органами. Завдяки інтеграції з митними системами (наприклад, NCTS)

можна реалізувати передачу даних у режимі «єдиного вікна», що дозволяє суттєво скоротити час проходження процедур контролю та зменшити витрати учасників перевезення. Важливим кроком є розвиток пілотних проєктів, які тестують такі рішення на міжнародних транспортних коридорах.

Не менш значущим є й економічний аспект цифрових платформ. Вони повинні забезпечувати планування ресурсів, бронювання перевезень у режимі «smart booking», відстеження вантажів у реальному часі за допомогою IoT-технологій, а також аналітику на основі великих даних для оптимізації логістичних процесів. Бізнес-моделі таких платформ можуть базуватися як на підписці, так і на оплаті за транзакцію, що відкриває різні варіанти фінансування та масштабування їх роботи.

Важливу роль у впровадженні цифрових платформ відіграють міжнародні ініціативи та багатостороннє управління (governance). Найбільш перспективним підходом є створення консорціумів, які об'єднують перевізників, експедиторів, термінали та державні органи. Такі структури здатні виробити єдині правила гри й забезпечити узгоджений розвиток цифрових рішень на міжнародному рівні.

У підсумку можна зазначити, що цифрові платформи для організації мультимодальних перевезень у міжнародному залізничному сполученні не є самоціллю, а виступають потужним інструментом підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту у глобальних логістичних ланцюгах. Їхнє успішне функціонування залежить від синхронного розвитку правових, технічних і організаційних механізмів. Для України особливо важливим є інтегрування у європейські цифрові ініціативи (eFTI, DTLF, проєкти UIC та OTIF) і розвиток пілотних рішень на міжнародних транспортних коридорах. Це дозволить не лише підвищити ефективність перевезень, а й забезпечить стійку інтеграцію в європейський та світовий транспортний простір.

1. Regulation (EU) 2020/1056 of the European Parliament and of the Council of 15 July 2020 on electronic freight transport information (eFTI) [Електронний ресурс]. – EUR-Lex. – Режим доступу: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/1056/oj/eng
2. The eFTI Regulation — European Commission (Mobility and Transport) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/logistics-and-multimodal-transport/efti-regulation_en
3. eFTI4EU – The first project making the EU Regulation 2020/1056 real [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://efti4eu.eu/
4. Digitalization — The Next Big Shift in the Future of Freight Rail (white paper) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.tcs.com/what-we-do/industries/travel-and-logistics/white-paper/digitalization-next-big-shift-future-freight-rail
5. Railway freight: A key driver of Europe's competitiveness and security (UIC / UIC-CER Forum) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uic.org/com/enews/article/rail-freight-a-key-driver-of-europe-s-competitiveness-and-security
6. Regulation (EU) 2020/1056 on electronic freight transport information – Consolidated text 2024 (EUR-Lex) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/1056/2024-05-20/eng
7. Cybersecurity requirements in EU regulation 2020/1056 on electronic freight transport information [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://digitalpolicyalert.org/change/8316-cybersecurity-requirements-in-eu-regulation-20201056-on-electronic-freight-transport-information
8. RailTopoModel — UIC / railML common infrastructure model [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/RailTopoModel

УДК 656.078.111

ШАНДЕР О.Е., доцент, к.т.н.,
СУХОЛИТКИЙ Ю.В., аспірант,
ХОМІН Р.В., магістрант, кафедра управління експлуатаційною роботою (УкрДУЗТ)

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ НА ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ТЕРМІНАЛАХ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

В умовах зростання обсягів міжнародних перевезень, активної участі України в глобальних логістичних ланцюгах та інтеграції в європейську транспортну систему значно зростає роль інтермодальних терміналів. Вони виступають ключовими логістичними вузлами, які забезпечують ефективну взаємодію між різними видами транспорту (залізничного, автомобільного, водного), сприяють скороченню часу доставки вантажів і зниженню логістичних витрат [1] .

Однак на сьогоднішній день функціонування інтермодальних терміналів в Україні супроводжується низкою проблем, серед яких варто виділити: застарілу інфраструктуру,

недостатній рівень автоматизації та цифровізації процесів, обмежену пропускну спроможність, нестачу сучасного перевантажувального обладнання, дефіцит інвестицій, а також слабку інтеграцію з європейською логістичною мережею.

Метою даного дослідження є аналіз сучасного стану роботи інтермодальних терміналів на українській залізниці та розробка напрямів удосконалення їхньої технології функціонування задля підвищення ефективності, надійності та конкурентоспроможності вітчизняної транспортної системи.

Виходячи з цього, можна виділити ключові напрями удосконалення: впровадження автоматизованих систем управління вантажопотоками, термінальними операціями та рухом поїздів; модернізація технічної бази терміналів, включаючи перевантажувальну техніку, тяговий рухомий склад і інформаційні системи; оптимізація логістичних процесів, маршрутного планування та графіків руху з урахуванням потреб вантажовласників; розвиток цифрових сервісів і впровадження сучасних систем електронного документообігу для прискорення обробки вантажів; розширення співпраці з європейськими логістичними операторами та гармонізація процедур згідно з міжнародними стандартами [2].

Реалізація запропонованих заходів дозволить значно скоротити час обробки вантажів, підвищити пропускну здатність терміналів, знизити експлуатаційні витрати, поліпшити якість обслуговування клієнтів та залучити нових вантажовласників до використання залізничного транспорту.

Список літератури:

1. O. Shander. Improving the technology of freight car fleet management of operator company/ O. Shander, D. Shumyk, Y. Shander, O. Ischuka// Procedia Computer Science Volume 149, 2019, P. 50-56.

2. Пархоменко, Л.О. Розроблення СППР для управління процесом формування контейнерних поїздів у рамках системи інтермодальних перевезень / Л.О. Пархоменко, В.М. Прохоров, Т.Ю. Калашнікова, О.Е. Шандер// Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, 2023. – № 3. – С. 29-32.

УДК 656.211.5

ШАНДЕР О.Е., доцент, к.т.н.,
ЕЙНЕМАН Р.Д., магістрант,
кафедра управління
експлуатаційною роботою
(УкрДУЗТ)

НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ШВИДКІСНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

У сучасних умовах розвитку транспортної інфраструктури питання підвищення ефективності та якості залізничних пасажирських перевезень стає надзвичайно актуальним. Швидкісне залізничне сполучення може стати конкурентною альтернативою автомобільному та авіаційному транспорту, особливо на внутрішніх і міжнародних маршрутах середньої протяжності Попри низку переваг залізничного транспорту — екологічність, енергоефективність, високу провізну спроможність — розвиток швидкісного сегмента в Україні стримується рядом проблем. До основних проблем відноситься: застаріла інфраструктура, що не відповідає вимогам швидкісного руху (120–160 км/год і більше), обмежена кількість сучасного рухомого складу та його технічне зношення і також відсутність чіткої державної стратегії розвитку швидкісного сполучення.

Тому виходячи з цього, основними напрямками удосконалення залізничних швидкісних перевезень є [1,2]:

- модернізація інфраструктури - реконструкція колій, будівництво нових швидкісних дільниць (200+ км/год), оновлення систем електрифікації, сигналізації та безпеки руху;
- оновлення рухомого складу - закупівля сучасних швидкісних електропоїздів, розвиток технічної бази для їх обслуговування, поступове списання застарілих вагонів;
- цифровізація та автоматизація - впровадження сучасних систем управління, електронного квитку, мобільних сервісів, цифрових рішень для моніторингу попиту та ціноутворення.
- покращення якості сервісу - підвищення комфорту подорожі, розвиток сервісів на вокзалах, забезпечення доступності та професійне навчання персоналу.
- інституційні зміни та інвестиції - формування державної стратегії розвитку швидкісного сполучення, залучення інвестицій, інтеграція до міжнародних транспортних мереж.

Розвиток швидкісних перевезень — ключовий напрям, що потребує комплексних рішень. Очікуваним результатом є скорочення часу подорожі між великими містами, збільшення пасажиропотоку та покращення іміджу АТ «Укрзалізниці». За підтримки держави та інвесторів Україна має потенціал створити сучасну та конкурентоспроможну залізничну систему європейського рівня.

Список літератури:

1. Шандер, О.Е. Аналіз статистичних даних щодо організації швидкісного руху на мережі залізниць України / О.Е. Шандер, Ю.В. Шандер, А.Ю. Гнатенко, Ю.М. Зінченко // Збірник наукових праць УкрДУЗТ, 2019. – Вип. 185. – С. 14-22
2. Диспетчерське керування рухом поїздів на швидкісних та високошвидкісних магістралях: Навч. посібник / С. В. Панченко, Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2019. – 153.

УДК 629.46

ШАНДЕР О.Е., доцент, к.т.н.,
КУЦЕНКО Д.О., аспірант
ВОЛКОВА Л.А.,
магістрант, кафедра
управління
експлуатаційною
роботою (УкрДУЗТ)

НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ З УРАХУВАННЯМ КОЛИВАНЬ ВАГОНОПОТОКІВ

В умовах реформування залізничного транспорту України відповідно до європейських директив країна має здійснити низку ключових змін на ринку вантажних перевезень. Однією з основних є **допуск операторських компаній до залізничної інфраструктури**, що має супроводжуватись **створенням реального конкурентного середовища**.

Після повномасштабного вторгнення РФ, яке завдало суттєвих руйнувань транспортній інфраструктурі та призвело до часткової втрати залізничної мережі, постала **необхідність оперативної перебудови логістики**, переорієнтації вантажопотоків і побудови нових міжнародних маршрутів. Блокада морських портів ще більше ускладнила ситуацію, змінивши традиційні маршрути вантажоперевезень. У цих надскладних умовах, які супроводжуються **різкими коливаннями вагонопотоків**, особливо важливо **забезпечити оперативне реагування на зміну попиту** та **ефективне управління порожнім парком вантажних вагонів різних форм власності**. Забезпечення гнучкості в управлінні парком стає критично необхідним для своєчасного задоволення потреб вантажовідправників [1].

Аналіз роботи залізничного транспорту за останнє десятиліття свідчить про **постійний дефіцит рухомого складу**. Існуюча система централізованого розподілу вагонів не дозволяє операторам самостійно управляти власним парком, що знижує ефективність перевезень, особливо в умовах нестабільного попиту та зміщення транспортних напрямків [2].

Вирішення цієї проблеми можливе через **перехід до нової моделі тарифоутворення,** яка враховуватиме форму власності вагонів, а також через **чіткий розподіл пропускної спроможності інфраструктури** між операторами та визначення їхньої відповідальності при роботі з власними вагонами. У такій ситуації надзвичайно актуальною стає **розробка автоматизованої системи управління вагонопотоками,** яка базується на інтелектуальних підходах, враховує інтереси як залізниці, так і операторів, та адаптується до змін обсягів і напрямків перевезень. Така система має забезпечити **гнучкість, адаптивність і ефективність** транспортного процесу навіть за умов нестабільного ринку та зовнішніх викликів.

Список літератури:

1. Бутько, Т.В. Формалізація процесу управління парком вантажних вагонів операторських компаній / Т.В. Бутько, О.Е. Шандер // Східно – Європейський журнал передових технологій. – 2014. - № 2/3(68). - С. 55-58.
2. O. Shander. Improving the technology of freight car fleet management of operator company/ O. Shander, D. Shumyk, Y. Shander, O. Ischuka// Procedia Computer Science Volume 149, 2019, P. 50-56.

УДК 621.396

к.т.н.,доцент кафедри транспортного зв'язку
Н.А. Корольова,
здобувач 4 року навчання 107-ТКРТ-Д22
А.К. Клименко
Українського державного університету
залізничного транспорту

ТРАНСФЕР ІНФОРМАЦІЇ В СЕРЕДОВИЩЕ НЕОДНОРІДНИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Медіапотоки, що формуються під час мультимедійного сеансу, характеризуються різними параметрами, що зумовлює їхню гетерогенність. У зв’язку з цим виникає потреба у розвитку технічних середовищ, спрямованих на підвищення ефективності керування медіапотоками в умовах різнорідності інформаційних систем реального часу та забезпечення необхідного рівня якості обслуговування.

Сьогодні інформаційні системи реального часу, які надають сервіси для глобальної мультимедійної комунікації, набувають все більшого поширення. Актуальні тенденції цієї сфери охоплюють: інтеграцію інформаційних компонентів, що дає змогу максимально ефективно використовувати обчислювальні ресурси завдяки створенню уніфікованих інтерфейсів для обробки медіапотоків, здатних взаємодіяти з будь-яким елементом гетерогенного середовища; вибір оптимального способу досягнення кінцевої мети серед множини альтернативних варіантів обслуговування в межах різнорідного інформаційного простору; забезпечення якісної взаємодії між різними програмними засобами.

Таким чином, актуальність цієї теми зумовлена потребою подальшого розвитку алгоритмічних рішень і програмного забезпечення, орієнтованих на підвищення ефективності керування медіапотоками в гетерогенних інформаційних системах реального часу та забезпечення належного рівня якості обслуговування.

1) Селюченко М.О. Багаторівневе управління ресурсами в гетерогенній мульти - операторській мережі // Селюченко М.О., Бешлей Г.В., Масюк А.Р., Бешлей М.І. // 1st International Conference "Advanced Information and Communication Technologies"(AICT’2015). Conference proceedings. (29 October – 01 November, Lviv, Ukraine), 2015. – P. 125-128

2) Масюк А. Р. Алгоритм інтелектуального вертикального хендоверу в гетерогенній мобільній мережі на основі хмарних обчислень / А. Р. Масюк, І. Б. Стрихалюк, М. В. Брич, І. О. Кагало, Г. В. Бешлей // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Радіоелектроніка та телекомунікації. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. — № 874. — С. 110–121

УДК 621.396

к.т.н.,доцент кафедри транспортного зв'язку Н.А. Корольова,
аспірант спеціальності 172 Ю.А Токаренко
Українського державного університету залізничного транспорту

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ РЕКОНСТРУКЦІЇ СТРУКТУРОВАНИХ МАСИВІВ ПІД ДІЄЮ АЛГОРИТМІВ З ВТРАТАМИ ТА БЕЗ ВТРАТ

Проводиться всебічне дослідження впливу алгоритмів стиснення без втрат та з втратами на точність відновлення структурованих масивів даних. Проблема збереження інформаційної цілісності набуває особливої актуальності в умовах постійного зростання обсягів даних, що циркулюють і зберігаються в цифрових інфокомунікаційних системах. Під час роботи зі структурованими форматами (такими як табличні дані, ієрархічні структури JSON, XML-документи) навіть мінімальні спотворення, спричинені стисненням, можуть призводити до втрати важливої семантичної інформації або порушення логічної організації даних.

У межах дослідження здійснено експериментальну оцінку ефективності поширених алгоритмів: стиснення без втрат (зокрема LZ77, Deflate, LZMA) та з втратами (модифіковані під структуровані дані методи квантування, предиктивного кодування й гібридні підходи). Для оцінювання результатів визначено такі ключові критерії: середня абсолютна похибка між оригінальними та відновленими даними, цілісність структурних зв’язків, збереження семантичної відповідності, частка коректно відновлених полів та стійкість до спотворень.

У межах експериментального дослідження було сформовано тестові набори даних у форматах CSV, JSON та XML із варіативною структурою. До цих масивів послідовно застосовувалися зазначені алгоритми стиснення, після чого здійснювалося оцінювання точності відновлення. Як і передбачалось, безвтратні методи забезпечили повну точність реконструкції (100%), однак коефіцієнт стиснення у їхньому випадку не перевищував 2–3 разів, навіть за наявності складних вкладених структур. Натомість втратні алгоритми дали змогу зменшити обсяг файлів у 5–7 разів, причому середня похибка варіювалася залежно від рівня структурної складності: від близько 4% для простих табличних даних до приблизно 20% у разі глибокої вкладеності.

Отримані результати дали змогу сформувати практичні рекомендації щодо вибору типу стиснення з урахуванням особливостей структурованого масиву, критичності втрати даних, обмежень пам’яті та вимог до швидкодії системи. Окреслено перспективні напрями подальших досліджень, зокрема застосування методів машинного навчання для адаптивного налаштування параметрів стиснення, використання нейромереж для інтелектуального відновлення втраченої структури, а також розроблення алгоритмів, що забезпечують гнучкий баланс між ступенем стиснення та точністю реконструкції даних.

1. Лебіга М.М., Пасічник О.А., Скрипник Т.К., Медведчук В.Ю. (2019). Комбінований

алгоритм стиснення даних, представлених в текстовому форматі. Вісник Хмельницького національного університету, №6(279), 131–133.

2. Salomon, D., &Motta, G. (2010). HandbookofDataCompression (5th ed.). Springer.

3. Wikipediacontributors. (2024). LZ77 and LZ78. Wikipedia, TheFreeEncyclopedia.

УДК 656.21

Канд. техн. наук В.В. Кулешов, аспірант А.С. Магаляс, магістр І.В. Кривенок

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків),

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE AUTOMATED LOCOMOTIVE FLEET ACCOUNTING SYSTEM

На залізничному транспорті України впроваджується Автоматизовані службові пункти чергового локомотивного депо. Простій затриманих локомотивів на станційних коліях або у депо спричиняє неефективне використання інфраструктури станцій, зайве залучення локомотивного парку, зменшення провізної спроможності напрямків, подовження періоду обігу локомотивів [1-3].

Довжина і маса складів поїздів із приватною тягою залежить від потужнісних параметрів приватних локомотивів, користої довжини станційних колій та рельєфу ділянок.

Надання інформації щодо приватних локомотивів, локомотивних бригад у систему АСК ВП УЗ-Є під час відправлення з місць базування (приєднання) структурного підрозділу (регіонального офісу) виконується відповідальними спеціалістами структурного підрозділу (регіонального офісу).

Техобслуговування приватних локомотивів проводять технічні працівники та локомотивні бригади власника парку локомотивів (ВПЛ). Робочий стан приватних локомотивів зобов’язаний відповідати положенням регламентуючих актів АТ «Укрзалізниця».

Утримання приватних локомотивів забезпечують локомотивні команди ВПЛ. Послуги з забезпечення приватних локомотивів підготовленим абразивом і рідиною можуть надаватись локомотивними депо після підписання контрактів.

Використання приватного локомотива для проведення маневрових операцій дозволяється за умов попереднього погодження такого використання зі старшим координатором ВПЛ, наявності відповідних висновків інструктора-машиніста ВПЛ про проходження теоретичних та практичних тестувань (випробувальних поїздок) та під контролем керівника маневровів [6, 7].

Повідомлення щодо узгодження виїзду на колії загального користування та графіку курсування поїзду із комерційним локомотивом у строк, що не перевищує чотирьох годин, протягом терміну чинності оперативного (добового) плану експлуатації комерційного локомотива, виробничим (регіональним) підрозділом ВПЛ надсилається на станції відправлення та призначення.

Обмін даними між залізничним адміністраціями щодо організації перевезень відбувається у вигляді диспетчерського сповіщення на передачу зазначених поїздів через стиковий вузол не пізніше ніж за чотири години до наближення до вказаного вузла.

Видача ТГНЛ здійснюється на станціях формування состав поїздів з комерційним локомотивом на всю зону експлуатації.

Для забезпечення своєчасної обробки вагонів і відправлення (приймання) їх зі (на) станції (-ю) керівником маневрових робіт (ДСЦ або ДСП) на станції відправлення (приймання) за участю чергового по дільниці РЦУП, УЗ проводиться поточне планування функціонування приватного локомотива на станції відповідно добового плану або "Ad hoc" планування, про що сповіщається черговий (диспетчер) виробничого відділу (регіонального центру) ВЛП.

Класифікатори, що застосовуються для фіксації власних локомотивів в АСК ВП УЗ-Є: реєстр організацій – власників ВЛП; каталог маршрутів пересування локомотивів.

Для забезпечення візуалізації власних локомотивів в АСК ВП УЗ-Є в каталог підприємств-дирекцій додаються: вид організації залізничного сполучення; номер держави; унікальний код компанії (відповідно до Єдиного держреєстру організацій та установ України – ЄДРПОУ).

Оскільки приватні локомотиви не мають залізничної дирекції припису, використовуються поняття «умовна залізниця припису», «умовна дирекція припису», що встановлюються згідно з розташуванням фірми ВЛП.

Інформація про приватні локомотиви, які мають дозвіл роботи на коліях спільного користування, надходить до ГІОЦ через підрозділ Д відповідно до контракту з організацією ВЛП.

Базою результативного функціонування операторської структури-власниці тягового складу

виступає забезпечення належного рівня транспортування за раціональної кількості необхідного для функцій парку.

Запропоновано розширити повноваження АРМ локомотивного депо під час діяльності менеджера сервісного офісу операторської компанії-власника тягового складу.

Потребує удосконалення механізм контролю ризиків під час експлуатації операторської фірми-власника локомотивного парку.

Необхідний парк локомотивів не має перетинати межу пікових значень, що демонструє дохідну діяльність фірми та збереження стандартнів тягових одиниць.

Просування у зазначеному аспекті вимагає подальшого цифрового забезпечення вантажного руху на коліях і серед споживачів транспортних сервісів.

Перелік посилань

[1] Транспортна стратегія України на період до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text (дата звернення: 12.05.2024).

[2] Panchenko S., Ohar O., Kutsenko M., Kuleshov V. Kuleshov A. Improvement of the organizational-technological model of the route from groups of wagons of different owners. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.3) (2018) 266-269. URL: https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/19801 (дата звернення: 12.05.2024)..

[3] Данько, М.І. Формування вимог до технології взаємодії залізничних адміністрацій і власників рухомого складу / М.І. Данько, Д.В. Ломотько, В.М. Запара, В.В. Кулешов // Зб. наук. праць УкрДАЗТ, 2011. Вип. 124. С. 5-11.

[4] Козаченко, Д.Н. Перспективы использования частной локомотивной тяги на магистральном железнодорожном транспорте Украины / Д.Н. Козаченко, Р.В. Вернигора, Н.И. Березовый // Українська залізниця. - 2013. - № 1. - С. 50-54.

[5] Кулешов В.В., Пестременко-Скрипка О.С., Шаповал Г.В., Приходько Н.Г., Співак В.В. До питання удосконалення інформаційно-керуючих систем в умовах роботи операторської компанії-власника локомотивного парку. *Міжнародний професійний журнал «Локомотив-Інформ»*.- Х.: Залізничне видавництво «Рухомий склад», 2020. - № 11(179).- С. 5-9.

[6] Sathaporn Opasanon, Songyot Kitthamkesorn Border crossing design in light of the ASEAN Economic Community: Simulation based approach. *Transport Policy*. Vol. 48, 2016. P. 1-12.

[7] Thijs Dewilde, Peter Sels, Dirk Cattrysse, Pieter Vansteenwegen Robust railway station planning: An interaction between routing, timetabling and platforming. *Journal of Rail Transport Planning & Management*. Vol. 3, 2013. P. 68-77.

УДК 656.2

Яцько С. І., кандидат технічних наук, доцент, Ляшенко В. М., аспірант, *Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна.*

ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАЄКТОРІЙ РУХУ РЕЙКОВОГО ТРАНСПОРТУ

COMPARISON OF EFFICIENCY OF OPTIMISATION TECHNOLOGIES OF SPEED TRAJECTORIES OF RAILWAY TRANSPORT

The reduction of energy consumption while maintaining timetables is one of the most important priorities for transportation systems. Electricity costs typically account for a significant portion of transportation companies' operating expenses, with traction power accounting for approximately 40-60% of total energy consumption in such systems.

One approach for solving the problem of reduction of energy consumption is the use of optimisation algorithms for analysis and improvement of speed trajectories by searching for more efficient train control strategies. The optimisation problem is considerably complicated by the variety of operating conditions, gradients, volumes of traffic and characteristics of the rolling stock used.

An additional challenge for the use of optimised trajectories is the need to make real-time decisions in automatic train control systems. The task of keeping a train on an optimised trajectory can be roughly seen as having two phases: the phase where the automatic train control system keeps the train on a pre-calculated optimised trajectory, and the phase of intense targeted braking with a stop at a given coordinate.

Optimisation of the speed trajectory of any vehicle is the process of finding the dependence of the vehicle's speed v on its coordinate s or time t, which minimises (or maximises) a certain target value. As a rule, the task of trajectory optimisation is to find a trajectory $v(s)$ or $v(t)$ that would minimise the total energy consumption for the movement of vehicle A. There are many approaches to optimisation, each with its own advantages and disadvantages.

This study provides a brief overview of optimisation algorithms and conducts a comparative assessment of the feasibility of using heuristic methods and dynamic programming. An example of results obtained using two algorithms under identical conditions is shown in Figure 1.

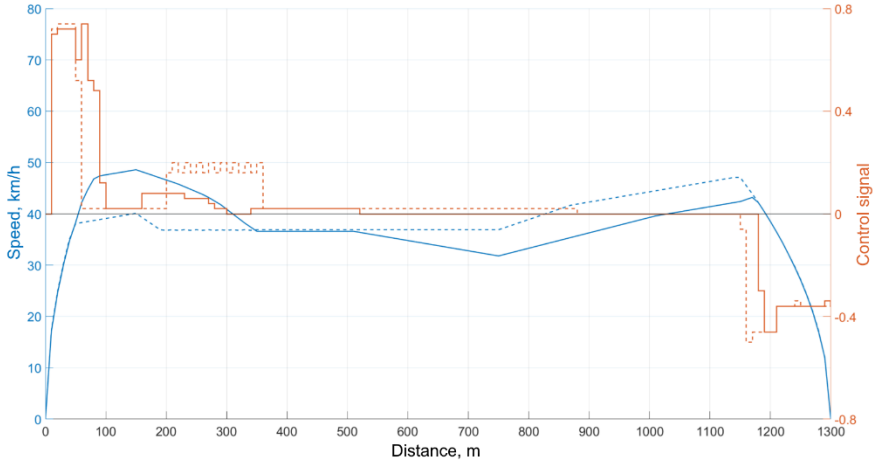


Fig. 1. Comparison of speed trajectories optimised using dynamic programming (solid lines) and the greedy algorithm (dashed lines)

The study was conducted for different types of gradients in terms of complexity and for different restrictions of running times along the route. It is also part of a more general task of optimising the operating modes of the power supply system and rolling stock.

REFERENCES

1. Shaofeng Lu. Single Train Trajectory Optimisation. / Shaofeng Lu, Stuart Hillmansen, Mark Ho, and Clive Roberts. // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. — 2013. — Vol. 14, No. 2. — P. 743–750. — DOI: 10.1109/TITS.2012.2234118.

2. Ляшенко В. М. Дослідження витрат електроенергії за повторно-короткочасного режиму роботи електрорухомого складу на ділянках різного профілю. / Ляшенко В. М., Устенко О. В., Яцько С. І. // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. — 2025. — №211 — с. 181–195. — DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.211.2025.327149.

УДК 658.7 : 338.2

Канд. техн. наук Є. В. Романович, канд. техн. наук А. О. Бабенко, канд. техн. наук Л. М. Козар, аспірант М. Л. Козар *(Український державний університет залізничного транспорту)*

ПЛАНУВАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОТРАНСПОРТНИХ І БУДІВЕЛЬНО-ДОРОЖНІХ ПІДПРИЄМСТВ ПАЛЬНО-МАСТИЛЬНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

У світі використовується багато сучасних методів нормування пально-мастильних матеріалів (далі – ПММ) для машин, які експлуатуються в різних галузях економіки. Вкрай важливим є нормування палива для машин, які працюють на віддаленому об’єкті або в полі, куди паливо постачається автомобільними паливозаправниками. Нормування здебільшого спирається на ручне прийняття рішень з низьким рівнем цифровізації. Але в світі почали з’явились стратегії нормування палива на основі штучного інтелекту, таких як штучна нейронна мережа зворотного поширення (BPNN), Levenberg Marquardt (LMA) [1], рекурентна нейронна мережа (RNN) [2] та ін. Що стосується України, нині актуальним є питання забезпечення запасів ПММ у структурі державного резерву. Необхідно створити спеціальну модель державного управління запасами нафтопродуктів.

В загальному випадку потребу певної машини в ПММ часто представляють у вигляді функції, що залежить від норми витрати ПММ для випуску одиниці продукції та об’єм випуску цієї продукції [3].

При плануванні витрат ПММ часто виникають

труднощі, що пов'язані з різними способами нормування ПММ: для автомобілів, що перевозять вантажі автошляхами загального користування, норми витрат ПММ традиційно вимірюють в розрахунку на одиницю пробігу, а для будівельних і дорожніх машин – в розрахунку на годину роботи машини. Також, нормування витрат ПММ ускладнює те, що існують загальнодержавні нормативні документи (далі – НД), відомчі НД, документи рекомендаційного характеру, а також такі НД, чинність яких слід поставити під сумнів.

Проведений аналіз найбільш відомих в Україні НД з нормування витрат палива за період з 1996 по 2025 роки виявив, що в Україні не існує єдиного загальнодержавного нормативного документа з нормування ПММ в розрахунку на одиницю пробігу. Щодо нормування ПММ технікою, транспортна робота якої обраховується в машино-годинах, то існує загальнодержавний НД [4].

На підставі проведеного вище аналізу можна дійти наступного висновку про те, що теоретично будь-яка автомобільна чи спеціальна техніка може виконувати два види корисної роботи: виконувати транспортну роботу, яку традиційно вимірюють в тонно-кілометрах, а також роботу, яку традиційно вимірюють в машино-годинах. В такому разі потреба в паливі для певної машини підприємства за розрахунковий період (місяць, рік тощо) буде складатись з:

– потреби в паливі для виконання транспортної роботи поза межами виробничого майданчика, що вимірюється в розрахунку на одиницю пробігу;

– потреби в паливі для виконання технологічних операцій в межах виробничого майданчика, що вимірюється в розрахунку на машино-годину роботи.

Сутність запропонованої методики нормування ПММ полягає в наступному. Для нормування потреб в ПММ машини поза межами виробничого майданчика можна рекомендувати використання положень з Методичних рекомендацій [5], а для нормування потреб в ПММ машини в межах виробничого майданчика слід скористатись Кошторисними нормами [4]. Варто наголосити, що нормування потреб в паливі для живлення машин при роботі в межах виробничого майданчика може бути визначена не тільки за допомогою Кошторисних норм [4], але й Методичних вказівок [5]. Натомість, у випадках, коли до фінансування будівельних робіт залучаються кошти державного бюджету, то використання у розрахунку Кошторисних норм є обов'язковим [4].

Перелік посилань

1. Arhinful K. O., Agyei G. Fuel Consumption Prediction in Shovel-Truck System of Surface Mine Using Artificial Neural Network. *Nipes Journal of Science and Technology Research*. 2023. 5 (2). P. 344–358. https://doi.org/10.5281/zenodo.8075149.

2. Pandolfi A., Adinolfi E. A., Polverino P., Pianese C. Real-Time Prediction of Fuel Consumption via Recurrent Neural Network (RNN) for Monitoring, Route Planning Optimization and CO2 Reduction of Heavy-Duty Vehicles. *SAE Technical Papers*. 2023. https://doi.org/10.4271/2023-24-0175.

3. Дикань В. Л., Маслова В. О. Організація виробництва : підруч. Харків : УкрДАЗТ, 2013. 422 с. URL: http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/2456 (дата звернення 04.09.2025).

4. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи : ВN01:5010-8744-9592-7634 : затв. Міністерством розвитку громад та територій України 31.12.2021 // Нормативні документи технічного характеру / Реєстри / Головна / Портал Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3043786250923279794?doc_type=1 (дата звернення: 07.09.2025).

5. Методичні рекомендації з нормування витрат палива, електричної енергії, мастильних, інших експлуатаційних матеріалів автомобілями та технікою: затв. ДП «ДержавтотрансНДІпроект» 17.11.2023 // Розроблення тимчасових лінійних норм витрат палива / Напрями діяльності / ДП «ДержавтотрансНДІпроект». URL: https://insat.org.ua/files/services/ldvpe/6/metod.pdf (дата звернення: 06.09.2025).

УДК 656.073

Канд. техн. наук Г.О. Примаченко[1], аспірант О.Л. Коновалов[1], магістрант К. С. Сергєєва[1]

[1]Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ІЗ ВАНТАЖАМИ В УМОВАХ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СТАНЦІЇ
IMPROVING CARGO HANDLING IN RAILWAY STATION CONDITIONS

Залізничний транспорт є однією з найважливіших складових транспортної системи України. Він забезпечує масові перевезення вантажів на далекі відстані з мінімальними витратами, що робить його конкурентоспроможним у порівнянні з іншими видами транспорту. Водночас ефективність залізниці багато в чому залежить від того, наскільки швидко та якісно здійснюється робота з вантажами

безпосередньо на станціях. В умовах зростання обсягів перевезень, активного розвитку контейнеризації та цифрових технологій удосконалення вантажних операцій стає одним із головних завдань залізничної галузі [1].

Сучасні залізничні станції часто стикаються з низкою труднощів, які уповільнюють вантажні процеси та знижують ефективність перевезень. Серед основних проблем можна виділити: використання застарілих технологій навантаження та розвантаження; недостатній рівень механізації складських операцій; перевантаженість окремих станцій і вузлів, що призводить до затримок у русі; високі експлуатаційні витрати та тривалі простої вагонів; недостатня інтеграція із сучасними інформаційними системами логістики.

Такі фактори не лише негативно впливають на собівартість перевезень, а й знижують привабливість залізничного транспорту для клієнтів.

Для вирішення окреслених проблем необхідний комплексний підхід, що поєднує технічні, організаційні та цифрові рішення. Механізація та автоматизація за рахунок використання сучасних перевантажувальних машин, контейнерних кранів, транспортерних систем та автоматизованих складів дозволяє значно скоротити час обробки вагонів і зменшити трудові витрати. Впровадження цифрових технологій за рахунок створення інтегрованих інформаційних систем дає змогу відстежувати рух вантажів у режимі реального часу, вести автоматизований облік і прогнозувати навантаження на станцію. Електронний документообіг (накладні, акти приймання-передачі) пришвидшує роботу та мінімізує ризики помилок [2]. Раціоналізація організації станційної роботи шляхом оптимізації графіків руху поїздів, правильного планування подачі та забирання вагонів, а також застосування сучасних методів логістичного планування зменшують простої та забезпечують більш рівномірне завантаження станцій. Розширення складських приміщень, модернізація під'їзних колій і створення мультимодальних логістичних центрів на базі великих станцій сприятиме збільшенню обсягів перевезень та інтеграції із морським і автомобільним транспортом.

Перехід на енергоощадне обладнання та впровадження екологічно безпечних технологій знижує негативний вплив на довкілля й робить діяльність станцій більш стійкою.

У багатьох країнах світу активно впроваджується контейнеризація як універсальний метод перевезення вантажів. В Україні цей напрям також розвивається: будуються сучасні контейнерні термінали, що дозволяють здійснювати швидке перевантаження між різними видами транспорту. Окрім того, впровадження систем відеоспостереження, датчиків контролю та автоматичного обліку значно підвищує рівень безпеки та збереження вантажів.

Комплексне удосконалення роботи з вантажами на залізничних станціях дасть змогу: скоротити час навантажувально-розвантажувальних операцій; зменшити експлуатаційні витрати та підвищити продуктивність праці; забезпечити кращий сервіс для клієнтів; підвищити конкурентоспроможність залізничного транспорту; створити умови для інтеграції України у міжнародні логістичні мережі [3].

Удосконалення роботи із вантажами в умовах залізничної станції є необхідною умовою ефективного розвитку транспортної системи держави. Поєднання технічних інновацій, цифрових технологій та організаційних рішень дозволить значно підвищити ефективність перевезень, скоротити витрати та забезпечити високий рівень обслуговування. В умовах глобальної конкуренції саме модернізовані залізничні станції можуть стати важливою ланкою у світових логістичних ланцюгах.

[1] Транспорт і зв'язок України: статистичний збірник / Державна служба статистики України. – Київ, 2023. – 245 с.

[2] АТ «Укрзалізниця» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uz.gov.ua (дата звернення: 29.09.2025).

[3] Кірпа Г. М. Організація вантажної та комерційної роботи на залізничному транспорті : навч. посіб. – Київ: Транспорт, 2019. – 312 с.

УДК 656.2:004.94

канд. техн. наук С.М. Продащук, канд. псих. наук. К.В. Кім, аспірант М.В. Продащук

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ФОРМУВАННІ РАЦІОНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ГОРЛОВИН ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ

MATHEMATICAL MODELING FOR THE DESIGN OF EFFICIENT RAILWAY STATION THROATS

Горловини залізничних станцій визначають пропускну здатність, швидкість маневрових

операцій і формують «вузькі місця» транспортних потоків. Традиційне проєктування орієнтується переважно на геометричні схеми та нормативи. Проєктні рішення рідко враховують дефіцит матеріалів і ресурсів, потребу у швидкому відновленні пошкоджених об'єктів, енергоефективність та економічність у довгостроковій перспективі. Брак інструментів сценарного аналізу не дозволяє оцінювати працездатність горловин у різних умовах – від штатної експлуатації до аварійних ситуацій чи пошкоджень. У сучасних умовах України це призводить до затримок відновлення інфраструктури.

Світова практика демонструє, що інноваційні рішення вже активно застосовуються для управління інфраструктурою. Зокрема, у Німеччині реалізується проєкт створення цифрового двійника всієї залізничної мережі протяжністю понад 33 тисячі кілометрів [1]. Цифрові двійники застосовано у масштабному проєкті Transpennine Route Upgrade, що дало змогу інтегрувати сотні моделей та заощадити мільйони фунтів [2]. Італійська компанія Ferrovie dello Stato створила цифровий двійник інфраструктури довжиною понад 10 тисяч кілометрів, який дозволяє відстежувати стан мостів, тунелів і станційних споруд [3]. У США компанія Norfolk Southern використовує цифрові двійники для прогнозної аналітики, що знижує витрати на обслуговування та підвищує безпеку [4]. Ці приклади переконливо свідчать про ефективність інструмента. Водночас більшість реалізованих рішень зосереджена переважно на завданнях моніторингу, технічного обслуговування та управління життєвим циклом існуючих об'єктів. Його потенціал як проєктувального інструмента, орієнтованого на пошук оптимальних конфігурацій ще на етапі проєктування, залишається майже недослідженим.

Таким чином, застосування математичних моделей у проєктуванні горловин залізничних станцій є актуальним. Це дає змогу одночасно враховувати геометричні, експлуатаційні, ресурсні, фінансові та екологічні фактори.

Математична модель розглядається як інтегрована платформа, що включає тривимірне моделювання, імітаційний аналіз руху поїздів, оптимізацію витрат і ресурсів та сценарний аналіз для різних умов – від штатних до аварійних. У подальшому можлива її інтеграція з геоінформаційними системами і системами управління рухом, формування бази даних технічних характеристик, оцінка зносу та планування відновлення. Це забезпечує можливість динамічного проєктування та адаптації рішень у реальному часі.

Таким чином, модель забезпечує перехід від статичного моделювання до динамічного проєктування й аналізу альтернатив, включно з аварійними та воєнними умовами. Її практичне значення полягає у можливості скорочення часу проєктування, зменшення витрат, підвищення точності рішень і зниження ризику помилок завдяки можливості перевірки десятків альтернативних конфігурацій без реального будівництва, раціональне використання ресурсів у умовах їх дефіциту, що сприяє економічності відбудови і формуванню стійкої транспортної інфраструктури, адаптованої до сучасних викликів. Це буде сприяти інтеграції української інфраструктури у європейські транспортні коридори та світову мережу, зниженню вуглецевого сліду завдяки можливості враховувати енергоспоживання та оптимізувати експлуатаційні витрати, дозволить формування навчальних тренажерів для інженерів і диспетчерів та підвищить рівень підготовки кадрів завдяки відпрацюванню складних сценаріїв у віртуальному середовищі без ризику для реальної інфраструктури

Математичні моделі перетворюють горловину станції з об'єкта статичного моделювання на активну платформу оптимізації, що враховує багатофакторність завдань. Для України це засіб швидкої та економічної відбудови, для світу – крок до розвитку стійких, інтелектуальних і енергоефективних транспортних систем.

1 У Німеччини з'явиться "цифровий 3D двійник". URL: https://systemnet.com.ua/novini/u-nimechchini-zyavitsya-cifrovij-3d-dvijnik/
2 On track to better. URL: https://thetrupgrade.co.uk/
3 Що таке цифрові двійники та як ця технологія змінює світ. URL: https://ain.ua/2025/05/20/shho-take-cifrovi-dviiniki-i-iak-cia-texnologiia-zminiuje-svit/
4 Norfolk Southern розгортає портали на базі штучного інтелекту для інспектування руху поїздів. URL: https://cfts.org.ua/news/2023/10/30/norfolk_southern_rozgortae_portali_na_bazi_shtuchnogo_intelektu_dlya_inspektuvannya_rukhu_pozdiv_76989

УДК 621.314

СЕМЕНЕНКО Ю.О. к.т.н., доцент,СЕМЕНЕНКО О.І. к.т.н., доцент,СТЕПАНЧА Є.Ю. аспірант,ГОВОРУН В.В. аспірант,Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, СЕМЕНЕНКО О.Д. асистент, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», м. Харків

АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЕЛЕКТРОПОЇЗДА

Застосування асинхронних двигунів на заміну двигунів постійного струму в електроприводі тягового рухомого складу надає суттєві переваги [1]. Світовий досвід експлуатації на залізницях показав, що за рахунок ефективного застосування безколекторного тягового електроприводу вдається збільшити в 1,5–2 рази осьову потужність, підвищити на 20-30% можливості зчеплення коліс з рейками та знизити експлуатаційні витрати до 40%. З урахуванням таких переваг на замовлення Укрзалізниці в Південній Кореї було виготовлено партію двосистемних швидкісних електропоїздів Хюндай *HRCS*2 з асинхронними тяговими електродвигунами. Також для залізниць України ПАТ «КВБЗ» виготовив міжрегіональний двосистемний швидкісний електропоїзд ЕКр1 Тарпан з асинхронним електроприводом власної розробки.

Для живлення асинхронних тягових електродвигунів цих електропоїздів, як і у більшості рухомого складу з безколекторними електродвигунами, використовують трифазні мостові дворівневі інвертори напруги. Заміна традиційного дворівневого інвертора трирівневим з силовими ключами на базі швидкодіючих *IGBT* надає можливість підвищити енергетичну ефективність тягового електроприводу [1-2] електропоїздів. Пов'язано це з тим, що поліпшується якість вихідної трифазної напруги, внаслідок чого не потрібні потужні вихідні силові фільтри. Цим забезпечується зниження втрат енергії, тобто підвищується ККД, знижається маса та вартість перетворювача. Застосуванням тягових трирівневих інверторів напруги частково вирішується також проблема, пов'язана з виникненням розрядів і навіть руйнуванням ізоляції обмоток двигуна через різке зростання напруги (*du/dt*) при використанні силових ключів на базі швидкодіючих *IGBT*.

Внаслідок проведеного аналізу встановлено, що підвищення показників трифазних інверторів напруги для рухомого складу можливе також застосуванням алгоритмів векторного керування тяговими асинхронними двигунами [2]. Цей метод керування дозволяє ефективно і майже безінерційно регулювати частоту обертання та момент на валу електродвигунів. Покращується і гармонічний склад вихідної напруги, наприклад, для трифазного дворівневого інвертора коефіцієнт гармонік знижається від мінімально можливого значення 0,69 при синусоїдальній ШІМ до 0,53 при векторній синусоїдальній ШІМ.

Слід зазначити, що досить перспективний шлях підвищення енергетичної ефективності електроприводу електропоїздів, що полягає в застосуванні м'якої комутації напівпровідникових приладів силових ключів тягових інверторів [3-4]. Застосування м'якої комутації убезпечує силові прилади ключів перетворювача, з'єднувальні кабелі та обмотки двигунів від різкого зростання напруги та струму, а також від їх пікових значень при комутації. Основна ж перевага використання м'якої комутації пов'язана із зниженням комутаційних втрат енергії в ключах, що забезпечує підвищення ККД тягового інвертора та спрощує його систему охолодження. Зниження теплового навантаження ключів тягових перетворювачів та поліпшення умов роботи тягових електродвигунів сприяє також підвищенню надійності обладнання електропоїздів в цілому.

Список використаних джерел

1 Гончаров Ю.П., Панасенко М.В. Семененко О.І., Хворост М.В. Статичні перетворювачі тягового рухомого складу/ За ред. Гончарова Ю.П., Харків, НТУ «ХПІ», 2007. – 192 с.

2 Силові напівпровідникові перетворювачі енергії: Навч. посібник/ О.О. Шавьолкін. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 403 с.

3 Семененко О.І. Застосування м'якої комутації у трифазних інверторах напруги тягового рухомого складу/ О.І. Семененко, Ю.О. Семененко, М.М. Одєгов // Зб. наук. пр. Укр. держ. ун. залізнич. трансп. – Х., 2024. – Вип. 208. – С. 222-233.

4 Deng J, Shi K, Zhao A et al. A universal zero-voltage-switching technique for multi-phase AC/DC converter. In: Proceedings of IEEE applied power electronics conference, Anaheim, USA, 17–21 March 2019, pp. 1204–1211.

УДК 656.1

М. І. Музикін *(Університет митної справи та фінансів, УМСФ),* ***Г. І. Нестеренко*** *(Український державний університет науки і технологій, УДУНТ),* ***А. С. Овчарук*** *(Університет митної справи та фінансів, УМСФ)*

МОЖЛИВОСТІ РОЗВИТКУ КОНТРЕЙЛЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПІСЛЯ ПОДОВЖЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ДІЛЯНКИ З ЄВРОПЕЙСЬКОЮ ШИРИНОЮ КОЛІЇ ДО М. УЖГОРОД

Ужгород став першим обласним центром України, який отримав пряме сполучення євроколією з країнами ЄС. За рік було здійснено укладку 22 км колій європейського стандарту на ділянці Ужгород – Чоп, що з'єднали Україну з європейським залізничним сполученням. Вже з вересня рушили поїзди до Братислави, Кошице, Будапешта та Відня. Між Ужгородом та Чопом функціонують дві паралельні колії: широка – 1520 мм (притаманна країнам СНД та країнам Балтії) та євроколія – 1435 мм, що створює унікальні умови саме для розвитку контрейлерних та контейнерних перевезень і робить м. Ужгород універсальним транспортно-логістичним вузлом. Цей проєкт дає можливість отримати швидкий доступ до ринку ЄС та є великою перевагою як для експорту, так і для імпорту. Використання контрейлерних перевезень скорочує час доставки вантажів, бо вантажі прямують в автомобільному рухомому складі на платформах без необхідності перевантаження на кордоні. Це дозволяє зменшити можливе пошкодження вантажу під час перевантаження. Це також призводить до зменшення логістичних витрат. Ще фактори, які суттєво впливають на зменшення витрат – це те, що митне оформлення виконується в терміналі централізовано, а не на кожному кордоні окремо, не витрачається час на простій в чергах на кордоні. Таким чином робота водія є ефективнішою, бо вони можуть перетинати кордон в окремому вагоні для водіїв та після того відразу продовжити свій маршрут по ЄС, також вартість витрачена виключно на автоперевезення, на відміну від контрейлерних перевезень, є значно вища. Можливість відправляти причепи на спеціальних низькопідлогових платформах roll-on-roll-off безпосередньо в ЄС без складної перевалки знизить експлуатаційні витрати на парк автомобільних транспортних засобів та зменшить навантаження на дороги. [1, 3]

Ужгород знаходиться найближче до кордону, тому він і став новим транспортним хабом. Також планується будівництво колії з шириною 1435 мм до Львова, що є дуже переспективним для подальшого економічного розвитку України. Якщо за основний пункт брати м. Ужгород, то найбільш раціональні маршрути до Словаччини (Кошице, Братислава), Угорщини (Будапешт), Австрії (Відень), Німеччини (Мюнхен, Берлін), Чехії (Прага), Польщі (Варшава, Гданськ) [2]. Розглянемо детальніше ці маршрути.

Ужгород - Кошице - Братислава - Відень вже є діючим маршрутом, він орієнтований на основний західноєвропейський коридор з виходом на ринки Австрії, Німеччини та країн так званого Бенілюксу. Експорт українських товарів, зокрема продукції харчової та легкої промисловості, аграрної продукції, металоконструкцій та машинобудівної продукції є доволі реалістичним в умовах сьогодення. В свою чергу Україна імпортує промислове обладнання, електроніку та високотехнологічні компоненти, автомобільні запчастини, хімічну продукцію та фармацевтичні препарати. Маршрут також дозволяє ефективно використовувати контрейлерні перевезення, скорочує «мертвий пробіг» автомобільного транспорту, тим самим підвищується економічна ефективність транспорту.

Ужгород - Будапешт - Загреб / Любляна - Адріатичні порти (Рієка, Трієст). Це є прямий зв'язок із південноєвропейськими портами та балканськими ринками. Зручний для експорту товарів у Італію, Хорватію, Словенію, а також далі у Середземномор'я. Україна експортує харчові продукти, текстиль та готові товари до країн Балканського регіону і портів Адріатики. Це підвищує ефективність зовнішньої торгівлі та зміцнює економічні зв'язки з регіонами. В той час здійснюється імпорт промислових комплектуючих, хімічної продукції, фармацевтичних препаратів та спеціалізованих матеріалів,

Ужгород - Відень/Зальцбург - Південна Німеччина - Центральна Європа. Ця лінія забезпечує доставку вантажів до Німеччини, Чехії, Польщі та Австрії. Австрійські та німецькі порти та логістичні центри наразі доступні без додаткових перевантажень. Перспектива експорту металоконструкцій, машинобудівної продукції, харчових та аграрних товарів, що сприяє розширенню присутності на ринках Центральної Європи та інтеграції української логістики в європейську транспортну мережу. Імпорт відбувається на промислове обладнання, електроніку та автомобільні запчастини.

Для автомобільних перевізників є великий плюс розробити альтернативу довгим перевезенням по ЄС та зробити новий сервіс «door-to-door», забравши причіп в Україні та доставивши до відправника без додаткових перевантажень. Малі та середні компанії завдяки гнучким тарифним моделям отримають змогу вийти на європейські ринки. Також такі проєкти надають можливість залучення інвестицій. Міжнародні інституції зацікавлені у зменшенні логістичних бар'єрів між Україною та Європою, тому проєкти отримують часткове або повне фінансування та технічну підтримку. При фінансуванні проєкту з подовження колії з шириною 1435 мм до м. Ужгород половину коштів надали країни ЄС, решту – Європейський інвестиційний банк, що підкреслює міжнародну підтримку модернізації української транспортної системи.

Контрейлерні перевезення в порівнянні з класичними перевезенням автмобільним

транспортом є дешевшими, швидшими та доставка є надійнішою, постачання будуть стабільними. Це може зробити українські товари конкурентоспроможними на ринку ЄС. В подальшому це сприятиме повноцінному приєднанні України до мережі транспортних коридорів TEN-T.

Список використаних джерел:

1. Перша євроколія: в Ужгороді відкрито залізничний шлях європейського стандарту. URL: https://bytheway.com.ua/news/novini-vantazhoperevezen/persha-yevrokoliya-v-uzhgorodi-vidkrito-zaliznichnij-shlyah-yevropejskogo-standartu/ (дата звернення: 11.09.2025)

2. В Україні запустили першу євроколію: поїзди з Ужгорода курсуватимуть до Братислави, Відня та Будапешта. URL: https://delo.ua/news/v-ukrayini-zapustili-persu-jevrokoliyu-poyizdi-z-uzgoroda-kursuvatimut-do-bratislavi-vidnya-ta-budapesta-451987/ (дата звернення: 11.09.2025)

3. Музикін М. І., Нестеренко Г. І., Підхлібний В. В. Доцільність використання контрейлерних поїздів в умовах воєнного стану. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези стендових доповідей та виступів учасників 36-ї Міжнародної науково-практичної конференції. Харків: УкрДУЗТ, 2023. С. 53-54.

УДК 656.254.16

***Єлізаренко А.О.**, доцент, к.т.н. (УкрДУЗТ)*
***Дейнега Т.С.**, аспірант (УкрДУЗТ)*

НОРМУВАННЯ ІНДУСТРІАЛЬНИХ РАДІОЗАВАД В КАНАЛАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Українські залізниці мають розвинену мережу систем рухомого радіозв'язку, які використовуються для керування технологічними процесами в тому числі на електрифікованих ділянках. Електрифіковані ділянки виконують понад 80 % обсягів вантажних перевезень. Електрифіковані залізниці є потужним джерелом індустріальних радіозавад, які впливають на усі діючі системи радіозв'язку. Причому в найгіршій ситуації знаходяться саме канали залізничного технологічного радіозв'язку, які розташовані безпосередньо в зоні руху електротягового рухомого складу та контактної мережі.

Найбільш інтенсивними джерелами завад є ділянки з електротягою змінного струму напругою до 27 кВ. Через високу робочу напругу виникають розрядні явища, які супроводжуються появою інтенсивних індустріальних радіозавад [1].

Актуальність досліджень пов'язана з тим, що індустріальні радіозавади є важливою причиною, що обмежує дальність та знижує якість каналів технологічного радіозв'язку.

Важливим фактором є рішення Міжнародної електротехнічної комісії про уніфікацію нормативних документів з індустріальних радіозавад. Національні нормативні документи з радіозавад в Україні як правило гармонізовані з міжнародними та європейськими стандартами [2].

Проблема полягає в тому, що більшість національних стандартів приймаються шляхом формального прийняття міжнародних норм, що не є оптимальним, оскільки вимоги стандарту можуть не відповідати рівню вітчизняного технічного забезпечення.

Необхідні дослідження індустріальних радіозавад з уточненням мінімальних рівнів необхідних корисних сигналів та рівнів завад у різних умовах організації радіоканалів. Але роботи з таких питань практично відсутні. Однією з небагатьох робіт, яка присвячена дослідженню радіозавад в різних умовах організації каналів радіозв'язку є [3].

Складно забезпечити роботу радіозасобів при значних рівнях індустріальних радіозавад. Весь тяговий рухомий склад повинен бути обладнаний завадознижуючими пристроями. Завадознижуючі пристрої залізничного електрорухомого складу повинні складатися з типових індуктивно-ємнісних фільтрів $L_ф$, $C_ф$, призначених для зниження рівня радіозавад від струмознімання, і ємнісного фільтра, що перешкоджає проникненню радіозавад, що виникають при роботі внутрішнього електрообладнання.

В роботі для ділянок змінного та постійного струму встановлені рівні завад та відповідні рівні корисних сигналів. Пропонуємі рівні сигналів можуть бути покладені в основу методик розрахунку дальності радіозв'язку, що дозволяє забезпечити необхідну якість радіоканалу.

Список використаних джерел

1. Радіотехнічні системи залізничного транспорту: навчальний посібник / С. В. Панченко, С.І. Приходько, А. О. Єлізаренко, Н. А. Корольова. – Харків: УкрДУЗТ – 2024. 145с.

2. Нормативна база в галузі електромагнітної сумісності: стан та перспективи розвитку / І.П. Захаров, О.Ф. Розвадовський, Н.С. Шевченко // Вісник НТУ «ХПІ». – 2010, №34, С.52-62.

3. Єлізаренко А.О., Дейнего Т.С., Єлізаренко І.О. Дослідження індустріальних радіозавад в каналах технологічного радіозв'язку на електрифікованих залізницях / А.О. Єлізаренко, Т.С. Дейнего, І.О. Єлізаренко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2025, №2, С.22-29.

УДК 656.21

Аспірант М.Д. Попов[1], Канд. техн. наук О.А.Малахова[1],здобувач В.А. Ніжегольцев[1]

[1] *Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

УДОСКОНАЛЕННЯ ПОРЯДКУ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ДІЛЬНИЦІ ПРИ НЕПАРАЛЛЕЛЬНОМУ ГРАФІКУ РУХУ

IMPROVEMENT OF THE PROCEDURE FOR DETERMINING THE CAPACITY OF A RAILWAY SECTION WITH A NON-PARALLEL TRAFFIC SCHEDULE

Оптимізація використання залізничної інфраструктури є складним і важким завданням, тому необхідно провести численні дослідження пропускної спроможності, щоб визначити, яку частину додаткового трафіку може прийняти існуюча інфраструктура. Результати цих досліджень повинні бути швидкими та точними, щоб знати, скільки ниток графіку руху можна реалізувати при певних обмеженнях і скільки залізничного трафіку може підтримувати поточна мережа.

Пропускна спроможність залізниці не є статичною, тому ефективне використання існуючої залізничної інфраструктури - це важлива складова високоякісної транспортної системи. Фізична та динамічна мінливість характеристик поїздів робить пропускну спроможність залежною від конкретного складу поїздів та графіку руху, відповідно до якого вони курсують по лінії.

Аналіз розвитку методів розрахунку наявної пропускної спроможності залізничних дільниць показав, що вони нерозривно пов'язані з теорією розробки графіків руху поїздів і в своїх стадіях проходили паралельний розвиток. До основних факторів, що впливають на наявну пропускну спроможність залізничних дільниць і перегонів, належать кількість головних колій, засоби сигналізації і зв'язку, що використовуються під час руху поїздів, тип графіка руху поїздів, що застосовується. Також на графік руху поїздів та пропускну спроможність впливають технологічні («вікна», комерційні зупинки) і незаплановані (нестандартні ситуації) експлуатаційні події, оскільки безпосередньо зменшують кількість годин, протягом яких поїзди можуть курсувати.

Розрахунок пропускної спроможності у випадку непаралельної організації руху передбачає розподіл отриманої пропускної спроможності дільниці, визначеної для паралельного графіка руху з урахуванням коефіцієнтів зняття, між поїздами різних категорій, тобто між пасажирськими поїздами, до яких також належать приміські поїзди, та вантажними поїздами, до яких належать усі категорії вантажних поїздів.

Результати розрахунків коефіцієнтів зняття вантажних поїздів знайшли своє відображення в Інструкції з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України [1], що зазнала кілька перевидань, останнє з яких вийшло 2002 року. Водночас чинна Інструкція в частині методів розрахунку коефіцієнтів зняття вантажних поїздів поїздами інших категорій не містить розрахунків для швидкісних поїздів, рух яких впливає на міжпоїзні і станційні інтервали, а також містить формули, розроблені тільки для випадку пропуску поїздів з обгонами.

У загальному випадку коефіцієнт зняття вантажних поїздів під час руху з обгонами на одноколійних дільницях, обладнаних автоблокуванням або напівавтоматичним блокуванням, визначається як відношення максимального зсуву нитки вантажного поїзда до періоду графіка. Величина такого зсуву повністю залежить від характеристик конкретної дільниці, а саме – від співвідношення швидкостей руху поїздів на окремих перегонах. Тому для отримання точного значення коефіцієнта необхідно для кожної одноколійної дільниці, обладнаної автоблокуванням, будувати фрагмент графіка руху та визначати величину зсуву графоаналітичним методом. При цьому достатньо визначити зсув для непакетного графіка руху вантажних поїздів, оскільки за пакетного та частково-пакетного графіків величина зсуву не змінюється.

На величину зсуву ниток графіка вантажних поїздів впливає і пропуск поїздів з більш високою або низькою швидкісною характеристикою у пакетному режимі. Якщо на дільниці передбачено різні варіанти пропуску таких поїздів (непакетний, пакетний із двома, трьома і більше поїздами в пакеті), для кожного необхідно будувати окремий фрагмент графіка і визначати величину зсуву. Остаточне значення зсуву розраховується як середнє з отриманих результатів.

[1] Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України. ЦД-0036 : затв

Наказом Міністерством транспорту України № 143-Ц від 14.03.2001. Київ: Транспорт України, 376 с.

УДК 656.073

Канд. техн. наук Г.О. Примаченко[1], аспірант Г.С. Пащенко[1]

[1]Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

ПРОБЛЕМАТИКА ПРИКОРДОННИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ВУЗЛІВ ТА ТРАНСКОРДОННИХ ПЕРЕХОДІВ В УКРАЇНІ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

PROBLEMS OF BORDER RAILWAY JUNCTIONS AND CROSS-BORDER CROSSINGS IN UKRAINE IN THE ORGANIZATION OF INTERNATIONAL CONTAINER TRANSPORTATION

Вантажні перевезення в Україні тривалий час знаходилися у динамічному стані. Це було викликано як економічними, так і політичними факторами. Але зміни внаслідок війни, що розпочалася у 2022 році, були найбільш масштабними. Тоді через часткове блокування морських портів вантажоперевізникам довелося у досить стиснуті терміни шукати альтернативи звичним морським маршрутам. І, хоча за три роки були запропоновані та прийняті до використання різні варіанти логістичних ланцюгів, потенціал залізничних прикордонних переходів залишається не розкритим. Основною причиною є незадовільний стан транспортної інфраструктури як самих пунктів пропуску, так і на підходах до них. В той же час оптимізація вантажопотоків є важливою для підтримання функціонування України, що вже тривалий час знаходиться в стані війни.

Відомо, що залізнична колія основної мережі залізниць країн Європи та України відрізняється. В той же час, останні події відображують можливість якщо не вирішення, то хоча б мінімізації проблем, викликаних цією інфраструктурною відмінністю. Яскравим прикладом є ділянка європейської колії Ужгород – Чоп, про відкриття якої було повідомлено у вересні 2025 року [1]. Ця ділянка є відносно короткою, але згідно із заявами віце-прем'єра Олексія Кулеби відкриття відрізка європейської колії між Ужгородом та Чопом є лише початком масштабної інтеграції залізниць України до загальноєвропейської транспортної мережі. Наступними ділянками, якими планується прокладати колію з шириною 1435 мм, є відрізки від Ужгорода до Львова та від Мостиськи (українсько-польського кордону) до станції Скнилів у Львові.

Зазначені залізничні дільниці безумовно є важливими для розвитку як пасажирського, так і вантажного сполучення. Слід зазначити, що досить велике значення мають також прикордонні переходи, що розташовані на північному заході України. Через них пролягає найкоротший шлях до портів Польщі, також існує металургійна ширококолійна лінія, яка дозволяє переміщувати рухомий склад з візками 1520 мм вглиб Польщі. Також заслуговують уваги прикордонні переходи у Ягодині та Раві-Руській. Залізничній вузол у Раві-Руській розташований на шляху від Львова до Варшави і уже неодноразово був об'єктом для планування прокладання європейської колії за цим напрямком. Інша лінія з'єднує Раву-Руську із однією з головних ліній Польських залізниць Перемишль – Ряшів – Краків, дублюючи таким чином залізницю Львів – Перемишль через Мостиську. Стан колійного господарства та відсутність електрифікації залізничного вузла не дозволяють пропускати великі обсяги вантажів. При цьому, потенціал прикордонного переходу у Раві-Руській дозволяє йому стати як основним для вантажів із Західної України до портів Польщі та Німеччини, так і додатковим для вантажів вбік Силезії і Чехії. При модернізації вузла у Раві-Руській доцільно передбачити прокладання колії 1435 мм у бік Львова, завдяки чому найбільше місто Західної України отримає найкоротший транспортний ланцюг із Варшавою та портами Польщі, а при з'єднанні із лініями до Перемишля та Ужгорода Західна Україна отримає повноцінну мережу залізниць із європейською колією, що стане основою для подальшого її поширення іншими частинами нашої держави.

Перспективність зазначених напрямків доводять результати роботи прикордонного контейнерного терміналу у Мостисьці. Його щорічне навантаження складає понад 35 тисяч вагонів із різноманітною номенклатурою вантажів: наливні вантажі, метали, зернові, автомобілі тощо [2]. У кінці серпня 2025 року поряд з основним терміналом було відкрито аграрний термінал, який матиме стратегічне значення для експорту агропродукції України [3]. Таким чином, одна з основних галузей сільського господарства України отримала додаткову можливість виходу на європейський та світовий ринки.

Найкоротший шлях між центральними регіонами України і портами Польщі та Північної Європи пролягає через перехід у Ягодині. Ділянка від Ковеля до Ягодина неодноразово привертала увагу європейських та українських інвесторів.

Висловлювалися плани як з реконструкції колії 1435 мм, так і електрифікації. Слід зазначити, що сусідня ділянка, що проходить через станцію Ізов та продовжується у Польщі як металургійна ширококолійна лінія, була електрифікована у 2021-2022 роках. Проте там відсутня дублююча колія європейської ширини, що певним чином обмежує можливості з пропуску вантажів у цьому регіоні. Враховуючи перспективу розширення мережі колії 1435 мм у Західній Україні, доцільно передбачити реконструкцію прилягаючих залізничних ділянок та подовження їх у бік Львова та Рави-Руської. Результатом буде як створення повноцінної залізничної мережі з шириною колії 1435 мм у Західній Україні, так і відродження актуальних напрямків сполучення із Європейським Союзом.

[1] Interfax-Ukraine. Ділянка євроколії Ужгород – Чоп почала роботу 5 вересня. Інтерфакс-Україна. URL: https://interfax.com.ua/news/general/1102422.html (дата звернення: 28.09.2025).

[2] «Контейнерний Термінал Мостиська» провів день відкритих дверей. Контейнерний Термінал Мостиська. URL: https://ctm.in.ua/uk/2025/09/02/kontejnernyj-terminal-mostyska-proviv-den-vidkrytyh-dverej/ (дата звернення: 28.09.2025)..

[3] На Львівщині відкрили новий аграрний термінал. Львівська ОВА. URL: https://loda.gov.ua/news/145428 (дата звернення: 28.09.2025).

ШИЛО С.І. к.т.н., старший викладач
Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

ДВОЗОННЕ РЕГУЛЮВАННЯ В РЕЖИМІ ГАЛЬМУВАННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МОДЕРНІЗОВАНОЇ СХЕМИ КЕРУВАННЯ ДВИГУНАМИ ПОСЛІДОВНОГО ЗБУДЖЕННЯ

Наявний парк електропоїздів АТ «Укрзалізниця» оснащений електрообладнанням, створеним на технічних рішеннях 1960–1990-х років. Такі системи є морально застарілими, характеризуються зниженими енергетичними показниками та потребують значних експлуатаційних витрат, пов’язаних з обслуговуванням контакторної апаратури і колекторних електричних машин.

Подальше зростання ступеня зносу рухомого складу та фактична відсутність постачання нових електропоїздів створюють для АТ «Укрзалізниця» критичну ситуацію у сфері забезпечення приміських перевезень. Усунення цієї проблеми за рахунок використання дизель-поїздів у короткотерміновій перспективі неможливе, адже рівень їх зносу досягає близько 90 % [1].

Підтримання міських і приміських пасажирських перевезень сьогодні здійснюється шляхом часткової модернізації електропоїздів, які підлягають капітальному ремонту. Під час таких робіт виконуються оновлення інтер’єрів пасажирських салонів, кабін машиністів, систем освітлення та засобів забезпечення безпеки руху.

Напрямами підвищення енергоефективності тягових передач електропоїздів можуть бути:

модернізація з упровадженням імпульсного регулювання частоти обертання тягових двигунів, що дозволяє знизити енергетичні втрати на тягу на 10–15 %;

модернізація з використанням частотно-регульованих асинхронних двигунів, які мають високий коефіцієнт корисної дії, але потребують змін у конструкції моторного візка;

оновлення рухомого складу шляхом застосування сучасних електропоїздів, що за нинішніх економічних умов в Україні є малоймовірним у короткостроковій перспективі.

У роботі [2] запропоновано рішення щодо створення імпульсного перетворювача для двигуна послідовного збудження (ДПЗ), який забезпечує формування його динамічних характеристик, подібних до характеристик двигунів із незалежним збудженням, без необхідності застосування окремого джерела живлення обмотки збудження. Використання модернізованих ДПЗ з несиметричною компенсаційною обмоткою дає змогу суттєво підвищити коефіцієнт корисної дії та знизити вартість тягової електропередачі під час модернізації моторного вагона з існуючим типом візка.

Розроблена комплексна комп’ютерна модель дала можливість детально проаналізувати електромеханічні процеси в запропонованій схемі керування та визначити характерні режими роботи двигунів постійного струму з послідовним збудженням. Окрему увагу приділено дослідженню режимів динамічного гальмування з номінальним моментом при зниженні швидкості обертання якоря до 8 % від номінальної.

З метою досягнення стабільного та ефективного електродинамічного гальмування, яке забезпечує підвищену керованість електропоїзда у гальмівних режимах і зменшує витрати електроенергії порівняно з традиційними системами керування, додатково досліджено застосування двозонного регулювання електромагнітного моменту на валу двигуна послідовного збудження. Такий режим реалізується шляхом додаткового

живлення обмотки збудження від тягової мережі при швидкостях обертання якоря нижче 8 % від номінальної частоти.

Для реалізації цього принципу використовується послідовне поетапне вмикання силових напівпровідникових елементів K1, K2.1, K2.2, що забезпечує можливість здійснення електродинамічного гальмування в модернізованій схемі практично до повної зупинки рухомого складу приблизно до 0,5 % від номінальної частоти обертання.

Література

1. Вельможко О. Усі потяги, електрички та вагони «Укрзалізниці» [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: https://chas.news/current/usi-potyagi-elektrichki-ta-vagoni-ukrzaliznitsi-povnii-rozbir-togo-na-chomu-mi-izdimo

2. Андрієнко П. Д., Шило С. І., Каплієнко О. О. Дослідження динамічних режимів електродвигуна послідовного збудження з імпульсними схемами регулювання електроприводу // Електротехніка та електроенергетика. – 2016. – № 2. – С. 51–58.

***КУСТОВ В.Ф.**, к.т.н., доцент (Український державний університет залізничного транспорту)*
***ПРИЛИПКО А.А.**, к.т.н., доцент (Український державний університет залізничного транспорту)*

Дослідження впливу зміни вологості на деградацію елементів захисту та параметри каналів проникнення завад

Забезпечення електромагнітної сумісності (EMC) та функціональної безпеки (Safety Integrity Level, SIL) у системах залізничної автоматики є критично важливим для безперебійного та безпечного руху поїздів [1]. Однак сучасні стандарти випробувань, які проводяться за контрольованих умов (температура 23 ± 2 °C, відносна вологість 45–55 %), не повною мірою враховують реальні умови експлуатації, такі як підвищена вологість, коливання температур і утворення конденсату. Ці фактори суттєво впливають на ефективність елементів захисту від електромагнітних завад і загальну надійність систем. У реальних умовах експлуатації, зокрема на об’єктах залізничної інфраструктури [2], розташованих на відкритому повітрі чи в недостатньо вентильованих приміщеннях, елементи захисту від завад (частотні фільтри, часові селектори, феритові фільтри, оптрони, імпульсні обмежувачі напруги) зазнають деградації через вплив підвищеної вологості. Волога змінює електричні параметри цих елементів, знижуючи їхню ефективність. Зокрема, зростає паразитна ємність між провідниками, між провідниками та заземленими частинами, а також у елементах гальванічної розв’язки (входи-виходи оптронів, обмотки трансформаторів). Одночасно знижується пробивна напруга ізоляції та електричний опір ізоляційних матеріалів, що сприяє проникненню імпульсних і високочастотних завад у критичні електронні вузли. Дослідження показало, що навіть сертифіковані за чинними стандартами пристрої можуть не забезпечувати належного рівня EMC і SIL у реальних умовах. Підвищена вологість посилює перенесення завад через міжпровідникові ємнісні канали, що може призводити до перевищення допустимих рівнів завад і, як наслідок, до небезпечних відмов систем керування рухом поїздів. Особливо критичними є ситуації, коли волога одночасно впливає на всі канали резервування, що підвищує ризик кратних відмов і може спричинити затримки поїздів, аварії або навіть катастрофи. Запропоновано рекомендації щодо вдосконалення стандартів випробувань пристроїв залізничної автоматики. Зокрема, необхідно враховувати вплив кліматичних чинників, таких як підвищена вологість, на електричні параметри захисних елементів і каналів проникнення завад. Пропонується розширити умови випробувань, включивши тести за підвищеної вологості та коливань температур, а також оцінювати вплив міжпровідникових ємнісних каналів на EMC і SIL. Такі заходи дозволять підвищити надійність і безпеку систем залізничної автоматики в реальних умовах експлуатації. Результати дослідження мають практичне значення для розробників, аудиторів і органів сертифікації електричних, електронних і програмованих електронних систем, що використовуються в умовах підвищених вимог до функціональної безпеки та електромагнітної сумісності [1]. Впровадження запропонованих рекомендацій сприятиме зниженню ризиків відмов і підвищенню безпеки руху на залізничному транспорті.

Список літератури:

1. Кустов В. Ф. Вплив вологості на деградацію елементів захисту і параметри каналів проникнення завад: загрози для електромагнітної сумісності і функціональної безпеки систем залізничної автоматики [Текст] / В. Ф. Кустов, А. А. Прилипко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2025. – № 2. – С. 144-158
2. Прилипко А. А. Моделювання точкових колійних датчиків з підвищеною завадостійкістю [Текст] / А. А. Прилипко, С. О.

Змій, О. А. Бойнік // Інформаційно – керуючі системина залізничному транспорті, 2019 УкрДАЗТ, 2019. – Вип. №5– С. 32-39.

УДК 656.07

А.О. Лямзін д.т.н.,проф.
Державний університет «Київський Авіаційний Інститут» (м. Київ)

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УМОВАХ ПІДВИЩЕНОЇ НЕВИЗНАЧНОСТІ ВПЛИВУ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

INTELLECTUALIZATION OF TRANSPORT TECHNOLOGIES IN CONDITIONS OF INCREASED UNCERTAINTY OF THE INFLUENCE OF THE EXTERNAL ENVIRONMENT

У сучасних умовах роботи транспортних систем, коли поняття непереборної сили починає поширюватися на параметри впливу активних систем та військово-політичних рішень, а не лише природних явищ та законодавчих актів, виникла потреба у виділенні поняття підвищеної невизначеності. Хоча раніше було розділяти параметри впливу довкілля на регульовані, залежні з інших параметрів і нерегульовані. При цьому нерегульовані параметри ігнорувалися, як такі, що ніяк не впливають на управління.

Однак, зараз нерегульовані параметри набули стратегічного значення для організації, планування та управління транспортними системами з необхідністю зниження їх впливу або необхідністю підвищення гнучкості та стійкості ланцюгів доставки.

У таких умовах функціонування, для інтелектуалізації транспортних технологій потрібне використання нових підходів та методів. Більшою мірою це підвищення рівня використання віртуалізації при пошуку оперативних рішень та вироблення нових методів для активної та пасивної адаптації транспортних систем у процесі функціонування.

Методи віртуалізації повинні бути додані до існуючого переліку методів штучного інтелекту, та виділено параметри для можливості активної адаптації побудованих інтелектуальних систем. Це і є основною метою цієї роботи.

Розробки у цьому напрямі ведуться за кількома незалежними напрямами: математичний апарат, транспортні напрями, розділені за видами транспорту та інформаційні технології [1]. На жаль, об'єднати ці напрямки або інтегрувати між собою не виходить, і вони залишаються у фазі пропозицій, проектів або невеликих розробок у вузькому колі фахівців.

Поділ адаптивізації систем на два види: активні та пасивні, дозволить скоротити витрати на створення інтелектуальних систем, коли активність системи для зовнішнього середовища може бути шкідливою та надмірною. Так абсолютно шкідливо при техногенній катастрофі шукати шляхи з найменшим ризиком, при забороні руху по деякому відрізку шляху, проте можлива пасивна адаптація через зміну маршруту руху. Таким чином, необхідно вироблення стратегічних планів ефективності використання методів інтелектуалізації в тих чи інших умовах і виділити нові керовані параметри зовнішнього середовища в умовах підвищеної небезпеки (ризику) або невизначеності.

Тоді, функціонування транспортних систем в умовах підвищеного ризику та невизначеності буде наступним.

На підставі заявки клієнта, створюється хмарна структура виконання замовлення на яку на підставі рейтингів та заявленого бюджету, а також методів штучного інтелекту та віртуалізації включається необхідна кількість ланок та елементів логістичного ланцюга, інформаційний супровід при цьому залишається за якимось віртуальним центром, якому належить хмара.

Далі за створеним опорним планом роботи інтелектуальної транспортної системи, запускається організація транспортного процесу, заснованого на тягнучій системі організації робіт. При цьому розподіл на елементи або ланки залежить від виробничої необхідності вже в процесі виконання робіт. На етапі планування неможливо передбачити територіальні проблеми на маршруті руху, зміни законодавства на деяких ділянках руху, техногенні катастрофи тощо.

При пасивної адаптивізації вирішуються питання щодо організаційної структури транспортної системи. При активної адаптивізації вирішуються питання щодо зміни договірних умов, зняття юридичних заборон і обмежень, а також вирішення непереборних проблем "іншими" законними (комерційна таємниця) способами. Лапки мають на увазі широкість законних методів вирішення проблем, які потребують пошуку і не можуть бути охоплені цією роботою.

Активна адаптивізація пов'язані з пошуком параметрів управління довкілля, чи параметрів непрямого впливу параметри управління.

Подальша робота пов'язана з пошуком таких параметрів та оцінки ефективності управління ними

для досягнення найбільш оптимального способу доставки вантажів споживачам.

[1 Кісь С. Я. Інтелектуалізація діяльності підприємства: основні визначення і поняття / С. Я. Кісь // «Молодий вчений». – 2015. - №3 (18). – С.72-76.

УДК 339.138

А.О. Лямзін д.т.н.,проф.
Державний університет «Київський Авіаційний Інститут» (м. Київ)

ВПЛИВ ПРОЦЕСА ДІДЖІТАЛІЗАЦІХ НА СИСТЕМУ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

IMPACT OF THE DIGITALIZATION PROCESS ON THE RAIL TRANSPORT SYSTEM

Розвиток і впровадження цифрових технологій сьогодні є ключовою передумовою успішного функціонування бізнесу, адже вони підвищують конкурентоспроможність компаній, сприяють зростанню їх продуктивності та водночас зменшують витрати організацій. Поняття «цифровізація» (від англ. *digitalization*) означає інтеграцію інформаційних та комп'ютерних технологій у бізнес-процеси й суспільне життя загалом [1]. Вона стала одним із головних чинників розвитку сучасної економіки та охоплює різні сфери, зокрема транспорт.

Залізничний транспорт посідає особливе місце у транспортній інфраструктурі, адже має стратегічне значення для економіки держав. Упродовж останніх років цифрові рішення активно впроваджуються в залізничну галузь, що забезпечує підвищення її ефективності та посилення позицій на ринку. Розглянемо основні економічні вигоди від цифровізації залізничного транспорту:

1. Скорочення операційних витрат.

Однією з першочергових переваг цифровізації є зниження витрат на експлуатацію. Автоматизовані системи управління допомагають оптимізувати рух поїздів, зменшити витрати палива та знос інфраструктури. Так, використання систем контролю руху в реальному часі дозволяє уникати заторів, скорочувати час простою та підвищувати пропускну здатність мережі.

2. Підвищення пропускної здатності та швидкості обслуговування.

Використання інтелектуальних систем управління та автоматизованих станцій забезпечує кращу організацію транспортних потоків, мінімізує затримки та збільшує швидкість обслуговування. Це дає змогу ефективніше перевозити вантажі й пасажирів. Наприклад, технології аналізу великих даних дозволяють прогнозувати оптимальні маршрути та час доставки, що зменшує ризики втрат і затримок.

3. Поліпшення безпеки та зменшення ризиків.

Впровадження сучасних систем моніторингу, дистанційного керування та відеоспостереження робить перевезення безпечнішими, знижуючи ймовірність аварій та інцидентів. Це, у свою чергу, зменшує витрати на страхування й компенсацію збитків.

4. Оптимізація управління та ухвалення рішень.

Цифрові системи дозволяють у режимі реального часу збирати та аналізувати дані про роботу транспорту. Це відкриває можливості для точнішого прогнозування попиту, гнучкого встановлення тарифів, ефективнішого використання персоналу та ресурсів. Аналіз інформації також допомагає виявити найприбутковіші напрямки і скорочувати витрати на менш рентабельних маршрутах.

5. Екологічні переваги.

Цифровізація сприяє не лише економії коштів, а й екологічній сталості. Системи контролю витрат палива, управління енергоспоживанням та оптимізована логістика зменшують обсяги викидів вуглекислого газу та інших шкідливих речовин.

[1 Рябошлик В. А. Четверта промислова революція: небачені можливості і передбачувані виклики. Економіст. 2017. №. 6. С. 1–28. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/econ_2017_6_3 (дата звернення: 24.09.2025).

УДК 625.17:004.932

к.т.н. Змій С.О., аспірант Ткаленко М.С.
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

ОГЛЯД СИСТЕМ ТА АЛГОРИТМІВ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ДЕФЕКТІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МАШИННОГО ЗОРУ

Традиційні методи діагностики залізничної колії покладаються на ручний візуальний огляд інспекторами мають суттєві недоліки. Вони є трудомісткими, повільними, суб'єктивними та пов'язані з високим ризиком для персоналу, який

змушений працювати в безпосередній близькості до колій. Крім того, ручний огляд не дозволяє виявляти внутрішні дефекти рейок (наприклад, тріщини втоми) та геометричні відхилення, які проявляються лише під динамічним навантаженням рухомого складу. Застарілі регуляторні норми, які в деяких країнах не змінювалися десятиліттями, додатково стримують впровадження сучасних технологій. Ці проблеми зумовлюють необхідність переходу до систем автоматизованої інспекції колії (Automated Track Inspection, ATI). ATI знаменує собою парадигмальний зсув від реактивної моделі обслуговування «знайти та виправити» до проактивної та предиктивної стратегії «прогнозувати та запобігати». Завдяки вищій частоті, точності та об'єктивності перевірок, автоматизовані системи генерують великі масиви даних, що є основою для аналізу тенденцій зносу, прогнозування відмов та оптимізації капіталовкладень в інфраструктуру.

У доповіді показано, що сучасні системи ATI використовують комплексний підхід до збору даних, поєднуючи різні платформи та сенсори для створення цілісної цифрової моделі залізничної інфраструктури. Наземні комплекси, що встановлюються на діагностичних вагонах або інтегруються в рухомий склад, є основою для моніторингу магістральних шляхів. До їх складу входять: високошвидкісні лінійно-скануючі камери для отримання детальних зображень поверхні рейок, шпал та елементів кріплення; системи 3D-лазерного профілювання, які одночасно фіксують 2D-зображення та 3D-хмару точок для точного вимірювання геометрії колії (ширина, рівень, профіль зносу головки рейки); безконтактні ультразвукові дефектоскопи для виявлення внутрішніх тріщин у рейках; та георадари (Ground Penetrating Radar, GPR) для аналізу стану баластної призми та виявлення підповерхневих аномалій.

Обробка даних, отриманих від сенсорних систем, є ключовим етапом діагностики. Історично першими застосовувалися класичні методи обробки зображень, що базувалися на ручній розробці ознак. Ці підходи використовували порогову сегментацію в різних колірних просторах (наприклад, HSI для зменшення впливу освітлення), алгоритми виявлення країв та аналіз текстури за допомогою фільтрів Габора або дескрипторів LBP. Головним недоліком таких методів є їх низька узагальнююча здатність та чутливість до змін умов освітлення та навколишнього середовища. Революцію в автоматичній діагностиці здійснили методи глибокого навчання (Deep Learning), зокрема згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Networks, CNN), які здатні автоматично вивчати ієрархічні ознаки дефектів безпосередньо з вихідних даних. Сучасним стандартом для виявлення дефектів у режимі реального часу є моделі детектування об'єктів. Їх можна розділити на дві основні родини: двостадійні детектори (наприклад, сімейство R-CNN), що забезпечують високу точність, та одностадійні (наприклад, YOLO, SSD), які пріоритезують швидкість обробки. Моделі сімейства YOLO (You Only Look Once) завдяки своїй архітектурі, що розглядає детектування як єдину регресійну задачу, досягають продуктивності, достатньої для аналізу зображень на швидкості руху поїзда, що робить їх оптимальним вибором для систем моніторингу в реальному часі. Паралельно розвиваються нові архітектури, такі як Vision Transformers (ViT), що використовують механізми уваги для аналізу глобального контексту зображення. Моделі на основі трансформерів, наприклад RailTrack-DaViT, демонструють вищу точність у класифікації дефектів на специфічних наборах даних, що відкриває нові перспективи для підвищення надійності діагностики.

Впровадження систем машинного зору трансформує підходи до технічного обслуговування, забезпечуючи перехід до предиктивного обслуговування (Predictive Maintenance, PdM). Аналіз часових рядів даних про стан колії за допомогою алгоритмів машинного навчання дозволяє не просто констатувати наявність дефекту, а й прогнозувати його розвиток та ймовірний час відмови елемента інфраструктури. Це дає змогу оптимізувати планування ремонтних робіт, скоротити незаплановані простої, подовжити термін служби активів та суттєво підвищити рівень безпеки. Майбутній розвиток галузі пов'язаний з глибшою інтеграцією штучного інтелекту, Інтернету речей (концепція "Internet of Trains") та автономних роботизованих комплексів. Ключовим викликом залишається проблема даних: для навчання високоефективних моделей глибокого навчання потрібні великі, різноманітні та якісно анотовані набори даних, створення яких є складним та ресурсомістким завданням. Вирішення цієї проблеми, зокрема через використання синтетичних даних та нових архітектур, як-от Swin Transformer, є пріоритетним напрямком досліджень.

Перелік посилань

7. Wang, T.; Yang, F.; Tsui, K.-L. Real-Time Detection of Railway Track Component via One-Stage Deep Learning Networks. Sensors 2020, 20, 4325. https://doi.org/10.3390/s20154325.

8. Hasslinger, G.; Ntougias, K.; Hasslinger, F.; Hohlfeld, O. Scope and Accuracy of Analytic and Approximate Results for FIFO, Clock-Based and LRU Caching Performance. Future Internet 2023, 15, 91. https://doi.org/10.3390/fi15030091.

9. Wang Z. et al. CBAM-SwinT-BL: An Enhanced Swin Transformer with Bottleneck Layer and CBAM for Rail Surface Defect Detection. arXiv preprint arXiv:2409.20113. 2024. https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.20113.

УДК 004.946:625.2:378

М.В. Ушаков
Український державний університет залізничного транспорту

НИЗЬКОБЮДЖЕТНЕ VR/AR СЕРЕДОВИЩЕ З ВІДКРИТИМ КОДОМ У ПІДГОТОВЦІ ІНЖЕНЕРІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

Системи залізничної автоматики (світлофори, стрілочні переводи, автоблокування) є складними для засвоєння студентами без доступу до реального обладнання. Системи віртуальної (VR) та доповненої реальності (AR) вже зарекомендували себе в технічній освіті. Вони підвищують мотивацію студентів, дозволяють відпрацьовувати аварійні сценарії та формують навички роботи з автоматикою без ризику пошкодження обладнання [1, 2]. Водночас вартість сучасних тренажерів на основі VR/AR технологій залишається високою: професійні VR-системи (Oculus Rift, HTC Vive) коштують сотні доларів, що обмежує їх застосування у вищих навчальних закладах України. Тому актуальним є пошук доступних і низькобюджетних рішень з використанням відкритого ПЗ.

Існують відкриті платформи для розробки VR/AR додатків: Unity (безкоштовна версія для освіти), Godot Engine (повністю open source), Blender для 3D моделювання,

AR.js та Google ARCore для мобільних AR-сценаріїв.

Дослідження показують, що навіть прості VR-рішення на основі смартфонів забезпечують значний навчальний ефект [3]. Пропонується створення низькобюджетного VR/AR середовища для навчання спеціальностей залізничної автоматики, що включає:

- апаратна частина: смартфон + картонна гарнітура (типу Google Cardboard, ціна ≈ 10–15 $);
- програмна частина: Unity або Godot для моделювання залізничних пристроїв;
- AR-режим: використання камери смартфона для накладення підказок на схеми, друковані плакати, макети при роботі в аудиторії.

Очікувані результати та ефективність: гнучкість - використання відкритого ПЗ дозволяє викладачам модифікувати контент під власні навчальні плани; практична користь - можливість відпрацювання аварійних сценаріїв, які неможливо змоделювати у реальній лабораторії; перспективність: такі рішення можна масштабувати для дистанційної освіти, коли не тільки студенти виконують лабораторні завдання з дому але й працівники залізничного транспорту можуть підвищувати кваліфікацію у зручний час.

Подальші дослідження можуть бути пов’язані з:

- інтеграцією VR/AR з системами SCADA,
- створенням мультикористувацьких VR-лабораторій,
- використанням елементів штучного інтелекту для аналізу дій студентів.

Література

1 Скляров, М. В., Шаповалов, О. І., Черненко, П. В., Семенченко, С. В., Кашканов, А. А., Кашканов, В. А. Використання технології доповненої реальності у підготовці фахівців з експлуатації та ремонту багатоцільової броньованої військової техніки. Вісник машинобудування та транспорту, 17(1), 153–162. https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-
17-1-153-162

2 Змій С. О. Розробка спеціалізованих навчальних програм для фахівців із залізничної автоматики в Україні з використанням симуляції та віртуальної реальності / С. О. Змій, Міхрібан Алмамедова // Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика: матеріали двадцять першої наук.-практ. міжнарод. конф. (5-6 червня 2025 р.). - Харків: УкрДУЗТ, 2025. - С. 40-42.

3 Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., Wohlgenannt, I. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design

elements, lessons learned, and research agenda // Computers & Education. – 2020. – Vol. 147. – 103778.

УДК 330.565.(477)

О.М. Харламова [1]

[1] *Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

БАР'ЄРИ МАСШТАБУВАННЯ РІШЕНЬ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ: ТЕХНІЧНІ, ОРГАНІЗАЦІЙНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ

BARRIERS TO THE SCALPING OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SOLUTIONS IN RAIL TRANSPORT: TECHNICAL, ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC ASPECTS

Штучний інтелект (ШІ) стає одним із ключових напрямів розвитку залізничного транспорту. Йому приписують здатність забезпечити автономне керування поїздами, прогнозне технічне обслуговування та оптимізацію операційних процесів. Потенціал таких рішень пояснюється високою складністю залізничних систем, значними обсягами даних і потребою підвищення ефективності за обмежених ресурсів.

Однак, попри значну увагу до теми та численні пілотні проєкти, масштабне впровадження ШІ у галузі відбувається повільно. Технічні, організаційні, фінансові й культурні бар'єри залишаються суттєвими перешкодами для переходу від експериментальних ініціатив до системного використання технологій. Це зумовлює необхідність дослідження реальних факторів, що стримують інтеграцію штучного інтелекту в залізничні перевезення.

Інтерес до впровадження технологій штучного інтелекту (ШІ) у залізничну галузь зумовлений очікуваннями щодо їхнього впливу на ефективність і безпеку перевезень. Основні напрями передбачуваного застосування охоплюють:

- прогнозне технічне обслуговування для раннього виявлення відмов і запобігання збоям у роботі обладнання;
- автономні та напівавтономні системи керування, спрямовані на підвищення безпеки, точності руху та пропускної спроможності;
- оптимізацію планування та управління ресурсами з метою більш повного використання інфраструктури;
- покращення клієнтського досвіду через надання інформації в реальному часі, динамічне ціноутворення та персоналізовані сервіси.

Технічна здійсненність таких рішень підтверджується результатами пілотних проектів і експериментальних досліджень. Зокрема, за даними McKinsey & Company [1], у світовій залізничній галузі ідентифіковано понад 20 активних прикладів використання ШІ — від аналізу геометрії колій до автоматизованого складання графіків роботи персоналу. Водночас технічна доцільність не гарантує практичної готовності: перехід від лабораторних випробувань до промислової експлуатації залишається складним і багаторівневим процесом.

Залізничний сектор накопичує значні обсяги даних, проте їхня готовність для навчання моделей штучного інтелекту обмежена. Ефективне використання даних потребує їх широкої доступності, очищення від помилок і дублікатів, детального маркування, синхронізації між потоками сенсорів, коректного зв'язку з активами та репрезентативності для всіх умов експлуатації. Недостатня якість даних часто гальмує проекти, особливо при інтеграції з багаторічними операційними технологіями.

Інфраструктура залізниці відрізняється довговічністю та високою капіталомісткістю, а системи сигналізації та управління мають індивідуальні конфігурації, що створює гетерогенне середовище. Впровадження штучного інтелекту у критично важливі для безпеки процеси вимагає обґрунтування безпеки, лабораторних випробувань, «тіньового» режиму та регуляторного схвалення. Прикладом складної інтеграції є багаторічне впровадження системи позитивного керування поїздами (PTC) [2] у США, яке демонструє поєднання нового програмного забезпечення з широким спектром застарілих систем і обладнання.

Прогнозне обслуговування (Predictive Maintenance) використовує сенсорні дані та алгоритми машинного навчання для раннього виявлення потенційних відмов і запобігання дефектам. Реальна експлуатація ускладнюється рідкісністю збоїв, різною швидкістю старіння активів, сезонними коливаннями та специфікою маршрутів. Хибнопозитивні сигнали марнують ресурси та порушують планове обслуговування. Моделі, ефективні у лабораторних умовах, потребують регулярного оновлення якісними даними для підтримання продуктивності.

Впровадження штучного інтелекту потребує значних інвестицій у сенсорні системи, периферійні обчислення, кваліфікованих спеціалістів та програми управління змінами. У консервативній галузі витрати повинні бути підкріплені чітким аналізом рентабельності (ROI), що часто контрастує з маркетинговим тоном постачальників.

Безпека залишається критичною. Алгоритми, що впливають на сигналізацію, гальмування або диспетчеризацію, підлягають найвищим регуляторним стандартам. Незрілі рамки сертифікації та невирішене питання відповідальності змушують операторів використовувати алгоритми у консультативних ролях, уникаючи повністю автоматизованого прийняття рішень.

Існує також розрив між маркетинговими анонсами постачальників і операційними термінами операторів. Пілотні проєкти часто презентуються як «перші у світі», тоді як масштабування на рівні мережі залишається повільним і дорогим. Це створює завищені очікування та ризик розчарування [3].

Штучний інтелект у залізничному секторі стикається з технічними, фінансовими та регуляторними викликами. Ключові бар'єри — низька готовність даних, складна інтеграція зі старими системами, обмежена масштабованість прогнозного обслуговування та високі інвестиційні витрати. Безпека і відповідальність залишаються критичними. Досягнення практичної ефективності вимагає системного підходу, який включає стандартизацію даних, регулярне оновлення моделей та інтегроване планування масштабування рішень.

1. Raphaëlle Chapuis et al (2024). The journey toward AI-enabled railway companies. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://transport.ec.europa.eu/artificial-intelligence-transport. — (дата звернення: 15.09.2025)

2. Positive Train Control (PTC). [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://railroads.dot.gov/research-development/program-areas/train-control/ptc/positive-train-control-ptc. — (дата звернення: 01.10.2025).

3. Sambhavi Gopalakrishnan (2025). AI in Railways: Transforming Maintenance with Predictive Analytics. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://vlinkinfo.com/blog/ai-in-railways. — (дата звернення: 28.09.2025)

УДК 681.518.5:004.891.3

канд. техн. наук В.Ш. Хісматулін, В.Р. Пелех
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ

APPLICATION OF FUZZY LOGIC METHODS TO ANALYSE THE TECHNICAL CONDITION OF OBJECTS

У реальних завданнях рішення про технічний стан об'єктів, отримане на основі показань датчиків, не завжди можна класифікувати як суворо істинні чи неправдиві – вони знаходяться десь між частково істинними та частково неправдивими. З урахуванняням цього положення доцільно розглянути методи оцінки технічного стану, засновані на нечіткої логіці. При прийнятті рішення нечітка логіка надає вхідним даним можливі варіанти, забезпечуючи, на відміну булевої логіки, гнучке міркування (рис. 1).

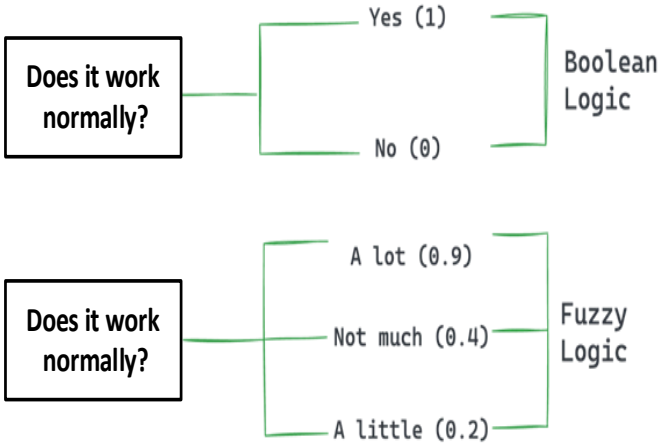


Рисунок 1

Нечітка логіка дозволяє приймати рішення в умовах невизначеності, неоднозначності та неточних даних. З цією метою вводиться концепція нечітких множин, які відрізняються від класичних множин тим, що допускають часткове членство, а не суворе включення чи виняток. Облік ступеня належності, представленого значеннями від 0 до 1, виконується з допомогою функцій належності. Використовуючи нечіткі множини, функції належності та системи нечіткого виведення (дефазифікації), нечітка логіка забезпечує структуру для обробки неточної інформації та прийняття рішень.

Для оцінки можливості застосування такого підходу розроблено алгоритм прийняття рішення про технічний стан двигуна (status) з оцінкою за 10-бальною шкалою з рівнями, що взаємно перекриваються:

– несправність кола живлення (faulty) – 0…4;
– у нормі (normal) - 3 ... 7;
– перевантаження (overload) – 6 ... 10.

Як вхідні дані використовується інформація про величину струму двигуна і рівень вібрацій. Моделювання виконане мовою програмування Python.

В якості прикладу на рис. 2 наведено вигляд функції належності технічного стану для випадку, коли струм перебуває у межах норми, а вібрації наближаються до граничних значень. Там же зазначено результати оцінки для методів дефазифікації, наведених у таблиці 1.

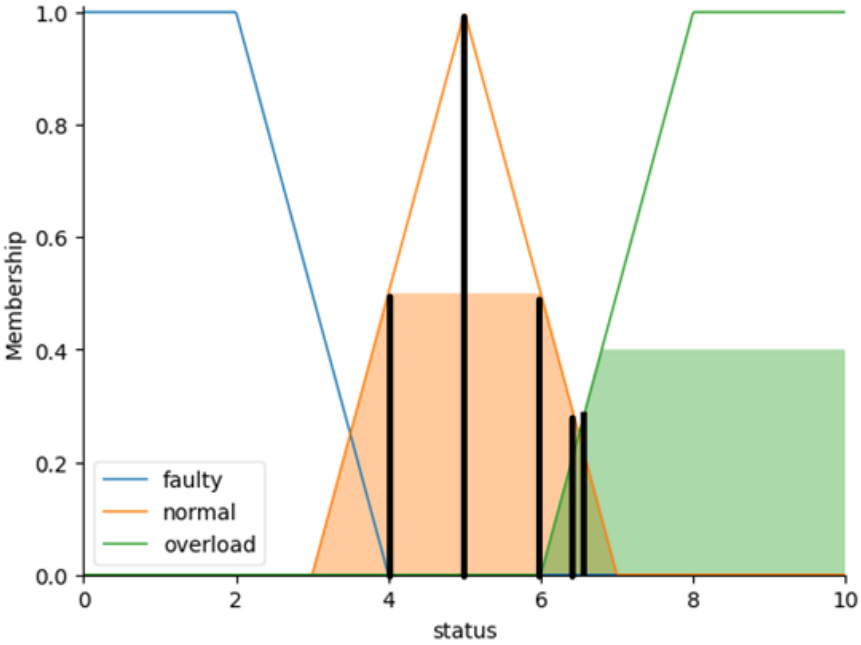


Рисунок 2

Таблиця 1

Метод дефазифікації	Ключ	Результат
Центр тяжіння	'centroid'	6.57
Биссектор	'bisector'	6.39
Середнє максимумів	'mom'	5.0
Перший максимум	'som'	4.0

За результатами досліджень встановлено принципову можливість оцінки технічного стану об'єкта методами нечіткої логики. Результат оцінки суттєво залежить від вибору методу дефазифікації. Оптимальним слід визнати метод центру тяжіння (Centroid), оскільки він враховує всі можливі значення безлічі входів та їхнього ступеня належності.

UDC 656.212.5

Shapoval G., Associate Professor, Ph.D.,
Kushnir T., postgraduate,
Lys L, postgraduate
Ukrainian State University of Railway Transport

IMPROVING THE EFFICIENCY OF LOGISTICS INFRASTRUCTURE INTERACTION IN INTERNATIONAL TRANSPORTATION

Railway transport forms the backbone of Ukraine's transportation system; therefore, its operational efficiency directly affects the functioning of the national economy as a whole. As a result of the reorientation of Ukraine's economy toward raw material exports, the volume of freight transportation in international traffic has increased. This has directly impacted the workload of railway lines to seaports and the adjacent infrastructure, necessitating the assurance of their stable operation. Thus, enhancing the efficiency of interaction between elements of the logistics infrastructure in international transportation holds significant scientific and practical importance.

An analysis was conducted of the port-adjacent railway infrastructure used in international transportation. It was determined that ensuring the required quality of international transportation necessitates effective interaction between the railway and port logistics infrastructure.

When detailing the factors influencing the required capacity and efficiency of port railway stations, all factors were classified into three groups: structural, technological, and quantitative.

Among the key structural factors affecting the quality of international transportation services, special attention should be given to the number of tracks at stations, their effective length, and specialization.

The main technological factors to be considered in the interaction of logistics infrastructure include:

- types of train flows processed at the station,
- availability and ownership of shunting locomotives,
- the technology of servicing freight fronts at the station and port,
- the duration of technological operations at the station and port.

The main quantitative factors determining the level of international wagon flow servicing include:

- the number of freight points and freight fronts at the station and port,
- the number of consignments and wagons per consignment, taking into account existing unevenness,
- the number of wagon fleet operators.

Studies of the interaction between port railway stations and logistics infrastructure in international transportation revealed significant imbalances in development. These imbalances are manifested in the excess of port transshipment capacity over the throughput and handling capacity of the adjacent railway infrastructure.

A target function of a model for the interaction of logistics infrastructure in international transportation has been developed. The criterion of optimality was defined as the total costs associated with the functioning of logistics infrastructure in international transportation. The model accounts for the expenses of port railway stations and ports in performing international freight transportation. Considering the nature of the target function and the constraints of the optimization task, the problem was reduced to one of dynamic programming.

The target function is additive, since the total costs of the port railway station and port infrastructure represent the sum of expenditures for individual elements of the logistics infrastructure.

Cost savings from improving the efficiency of logistics infrastructure interaction are achieved through the rational organization of wagon transfers to port freight fronts in international transportation.

УДК 621.391

ШТОМПЕЛЬ М.А., д.т.н., (УкрДУЗТ)

МОНІТОРИНГ МЕРЕЖ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Постійний розвиток технологій електронних комунікацій та необхідність гарантування високої якості інформаційних та телекомунікаційних послуг у мережах технологічного зв'язку залізничного транспорту призводить до необхідності удосконалення методів та засобів моніторингу елементів мережевої інфраструктури. Проведений аналіз показав, що існуючі системи моніторингу в основному реалізуються програмним способом та передбачають різні варіанти збору даних з мережевого та кінцевого обладнання [1 – 3].

У роботі представлено аналіз основних програмних засобів для моніторингу мережевої інфраструктури, визначено принципи їх технічної реалізації та процедури збору даних з урахуванням наявних особливостей мереж технологічного зв'язку залізничного транспорту. Запропоновано загальну архітектуру системи моніторингу та основні етапи налаштування для сегменту мережевої інфраструктури залізниці. Для підтвердження доцільності запропонованого підходу було проведено моделювання у спеціалізованому програмному середовищі та розроблено практичні рекомендації щодо впровадження системи моніторингу в умовах залізничного транспорту.

Список використаних джерел

1. Davis J. Modern system administration: managing reliable and sustainable systems. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2022. – 325 p.
2. Oswalt M., Adell C., Lowe S., Edelman J. Network programmability and automation: skills for the next-generation network engineer. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2023. – 825 p.
3. Заїка, В.Ф. Телекомунікаційні системи та мережі наступного покоління / В.Ф. Заїка, О.Г. Варфоломеєва, К.О. Домрачева, Г.О. Гринкевич. – К., 2019. – 315 с.

УДК 621.391

ШТОМПЕЛЬ М.А., д.т.н. (УкрДУЗТ)

КОМБІНОВАНЕ ДЕКОДУВАННЯ АЛГЕБРАЇЧНИХ ЗГОРТКОВИХ КАСКАДНИХ КОДІВ

Важливою вимогою до систем радіозв'язку нового покоління є забезпечення високої достовірності передавання інформації [1]. Для забезпечення виконання даної технічної вимоги типовим підходом є застосування методів завадостійкого кодування, зокрема, каскадних кодових конструкцій [2]. У роботі проведено аналіз варіантів побудови паралельних та послідовних кодових конструкцій на базі різних базових кодів. За результатами аналізу було визначено, що алгебраїчні згорткові послідовні каскадні коди мають ряд переваг, що обумовлює доцільність їх застосування у сучасних системах радіозв'язку [3]. При цьому актуальною задачею залишається ефективне декодування даних кодів зі зменшеною обчислювальною складністю.

У роботі представлено метод комбінованого декодування обраного класу алгебраїчних згорткових послідовних каскадних кодів. На зовнішній ступені даних кодів використовується код Ріда-Соломона, а на внутрішній ступені – алгебраїчний згортковий код, побудований з використанням еквівалентного коду Ріда-Соломона. На першому етапі здійснюється декодування алгебраїчного згорткового коду на базі методу впорядкованих статистик, що дозволяє суттєво скоротити складність порівняно з алгоритмом декодування Вітербі. Після цього відбувається алгебраїчне декодування коду Ріда-Соломона на базі класичного алгоритму Берлекемпа-Мессі. Також у роботі наведено основні принципи програмної реалізації декодеру та особливості проведення обчислень на кожному етапі декодування. Показано, що запропонований підхід доцільно запроваджувати у системах радіозв'язку нового покоління з метою підвищення достовірності передавання інформації та забезпечення високої якості надання послуг.

Список використаних джерел

1. Aslam A. M., Chaudhary R., Bhardwaj A., Budhiraja I., Kumar N., Zeadally S. Metaverse for 6G and beyond: the next revo-lution and deployment challenges. IEEE Internet of Things Magazine. 2023. Vol. 6. No. 1. P. 32-39.
2. Ryan W., Lin S. Channel codes: Classical and modern. Cambridge University Press, 2009. – 692 p.
3. Штомпель М. А. Метод декодування послідовних алгебраїчних каскадних згорткових кодів для систем мобільного зв'язку. Радіотехніка. 2025. Вип. 220. С. 161–165.

УДК 621.391+621.313.13

д-ри техн. наук О.М. Ананьєва, М.М. Бабаєв, В.В. Панченко, канд. техн. наук М. Г. Давиденко (Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

ЗГЛАДЖУВАННЯ ЧАСОВОГО РЯДУ ОЦІНОК ПАРАМЕТРІВ СТРУМУ ТЕСТУВАННЯ ОБМОТКИ СТАТОРА ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Для потреб електротяги на транспорті широко застосовуються трифазні асинхронні електродвигуни. Їхня працездатність критично залежить від конструктивно додержання визначених величин індуктивності та активного опору обмотки статора. Для їх вимірювання в процесі штатної роботи двигуна використовують різні методи. Зокрема, на обмотку подають малу за амплітудою синусоїдну напругу з відомими амплітудою, частотою та початковою фазою, і вимірюють амплітуду та початкову фазу викликаного цією напругою струму. Фоном для спостереження цього струму є неперервний стаціонарний шум та імпульсні завади. Тому первинні оцінки параметрів струму, отримані в різні моменти часу, мають різні дисперсії: або обумовлену тільки неперервним шумом, або обумовлену сумісною дією цього шуму та імпульсної завади. Такий розкид величин первинних оцінок може призвести до прийняття неправильних діагностичних рішень щодо технічного стану двигуна. Факт наявності імпульсної завади на кожному окремому інтервалі оцінювання первинних параметрів може бути виявлений в ході спостережень [1]. На основі ймовірнісного опису скінченної реалізації числового ряду первинних оцінок побудовано процедуру зменшення розкиду числових величин членів цього ряду (тобто згладжування). Додержання постійної величини інтервалу між вимірюванням не вимагається. Апроксимацією часового ряду є зважена сума відомих структурно-детермінованих функцій часу. Отримано вираз для обчислення вагових коефіцієнтів при членах цієї суми. За припущення статистичної незалежності послідовності первинних оцінок знайдено також вираз для коваріаційної матриці вторинних (згладжених) оцінок параметрів тестового струму, діагональними елементами якої є дисперсії вторинних оцінок. Результати роботи забезпечують підвищення точності формування залежностей змін діагностичних параметрів у часі.

Список використаних джерел

1.Ананьєва О. М., Бабаєв М. М., Давиденко М. Г., Панченко В. В. Синтез пристрою оцінювання параметрів синусоїдного сигналу, адитивно змішаного з одиночною змішаною завадою. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Т. 29. № 3. 2024. С. 25-32. DOI: 10.18664/ikszt.v29i3.313625.

УДК 621.391+621.313.13

д-ри техн. наук О.М. Ананьєва, М.М. Бабаєв, В.В. Панченко, канд. техн. наук М. Г. Давиденко (Український державний університет залізничноготранспорту (м. Харків)

ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ ПІД ЧАС ТЕСТУВАННЯ ОБМОТКИ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ЗА НАЯВНОСТІ ОДИНИЧНОЇ ІМПУЛЬСНОЇ ЗАВАДИ

В якості тягових двигунів на транспорті широко використовують трифазні асинхронні двигуни. Обмотка статора є їхнім найуразливішим місцем, зокрема з точки зору поступових відмов, які мають вигляд виходу величин індуктивності та активного опору за конструктивно встановлені межі. Одним із методів контролю цих величин є подання на обмотку двигуна, що працює, невеликої синусоїдної напруги відомої частоти і подальше вимірювання амплітуди та початкової фази викликаного нею струму, однозначно пов’язаного з контрольованими параметрами. Низка факторів призводить до появи імпульсних завад, які є адаптивними відносно тестового струму. Відтак результати вимірювання його параметрів мають відхилення від точних значень. Додаткові відхилення мають місце з причини дії неперервного стаціонарного шуму (наприклад, теплового). Виконано статистичний опис суміші тестового струму та вказаних завад. Методом максимальної правдоподібності оцінено амплітуду та початкову фазу цього струму; отримано також алгоритм оцінювання. В його основі лежить модифікація кореляційного інтегралу: на ділянці дії імпульсної завади суміш сигналу та завад зменшується відповідно до енергетичних характеристик саме імпульсної завади на відміну від традиційного автоматичного регулювання підсилення, яке є реакцією на вхідну суму сигналу та завад. За багаторазового перевищення спектральної густини імпульсної завади над спектральною густиною неперервної завади виконується бланкування вхідного сигналу на ділянці дії імпульсної завади; межі цієї ділянки оцінюють шляхом числової максимізації функції правдоподібності. Синтезовано відповідний пристрій оцінювання амплітуди та початкової фази тестового струму. Знайдено вирази для обчислення границь Крамера-Рао оцінок обох цих параметрів у вигляді, зручному для інженерної практики [1].

Список використаних джерел

Ананьєва О.М., Бабаєв М.М., Давиденко М.Г., Панченко В.В. Границі Крамера-Рао для амплітуди та фази синусоїди, адитивно змішаної з одиночним шумовим імпульсом завади. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2024. № 4. С. 3-11. DOI:10.18664/ikszt.v29i4.320373

СПИСОК АВТОРІВ

A-Z

Baulina H.	*88,90*
Zmii S.O.	*11,14,19,*
Choba V.Y.	*11*
Hryshechkina T.S.	*13*
Oleksii Lazariev	*13,45*
Oleksandra Lazarieva	*13,45*
Viktor Lazariev	*13,45*
Sotnyk V.O.	*14*
Melikhov A.A.	*14*
Tetyana Petrenko	*15*
Oleksii Poluektov	*15*
Tetyana Petrenko	*16*
Anton Zadorozhnyi	*16*
Vladyslav Snehirov	*16*
Kateryna Aleksieieva	*16*
Shelekhan H.	*17*
Lutsiv V.	*17*
Papka Yu.	*17*
Kanevskii M.V.	*19*
Kanevskii D.S.	*19*
Thierry Horsin	*36,78*
Indyk S.	*78*
Veklych O. K.	*79*
Drobyk O.V.	*79*
Lozko O.V.	*84*
Mohylnyi O.Y.	*84*
Lysechko V.P.	*84*
Kernytskyi I.	*90*
Shapoval G.	*117*
Kushnir T.	*117*
Lys L	*117*

А

Ананьєва О.М.	*20,119,120*
Алмамедова Мехрібан Гусейнага гизи	*34*
Аршинов А.С.	*93*

Б

Бабак Є.О	*18*
Богомазова Г.Є.	*92*
Бантюков С.Є.	*21*
Бантюкова С.О.	*21*
Бауліна Г.С.	*91*
Бележинський	*22*
О.Ю. Боровець Ю-	*32*
Н.І. Бутенко В. М	*9,10*
Боровець Р.І.	*33*
Берестов І.В	*41*
Бабенко А. О.	*100*
Бунчуков О.А.	*69*
Бабаєв М.М.	*119,120*

В

Волошин Д.І.	*73*
Волошина Л.В.	*73*
Волкова Л.А.	96

Г

Гаманюк К.І.	*89*
Горобченко О.М.	*22*
Голіков Д. В.	*10*
Голейчук Л.В	*24*
Гриценко Н.В.	*25*
ГОВОРУН В.В	*103*

Д

Доценко С.І.	*26,27*
Дудін О.А.	*28*
Дерев'янчук Я.	*62*
В. Дорошко Н.В.	*83*
Дейнега Т.С.	*106*
Давиденко М.Г.	*119,120*

Е

Ейнеман Р.Д	*95*

Є

Єлізаренко А.О.	*106*

Ж

Жученко О.С.	*77,79,82*

З

Змій С.О.	*34,65,69,112*
Загурський О.М.	*29*
Залата А.С.	*31*
Запара В.М.	*32*
Запара Я.В.	*33*
Залевський Г.С.	*87*
Збігнев Лукасік	*39*

І

Індик С. В.	*36,77,79,85*
Іванюк О.І.	*35*

К

Калабухін Ю.Є.	*22*
Калашник М.О.	*38,43,71*
Кадук С.О.	*83*
Кабин Р.М.	*37*
Касай Д.В.	*75*
Касай І.Ю	*89*
Коваленко І.С.	*28*
Ковтун І.В.	*39*
Козодой Д.С.	*39*
Колісник А.В	*41*

Корольова Н.А. 96,97
Кривенок І.В. 98
Кулешов В.В 98
Крощенко Д.О. 41
Кустов В.Ф. 42,76,110
Клименко А.К. 96
Куценко М.Ю. 43
Куценко Д.О 96
Куцин К. О. 51
Кондратюк М.В. 54
Канєвський М.В. 65
Кліпацький А.Б. 65
Козар М. Л. 100
Козар Л. М. 100
Коновалов О.Л. 101
Кім К.В 102

Л

Логоша О.О. 41
Лабенко Д.П. 44
Ломотько Д.В. 75,89
Ломотько М.Д. 46
Лоскутова Г. А. 47
Ловська А. О. 56
Лисечко В.П. 83,85,86
Ляшенко В. М. 99
Лямзін А.О. 111,112

М

Мойсеєнко В.І. 49
Мигуліна Д.С 18
Масалов Є.О. 48
Матвієнко С.Г. 49
Мусієнко С. М. 51
Муригін М. А 51
Мирошниченко К.А. 61
Мигалатій Є.А. 92
Музикін М. І. 104
Малахова О.А. 107
Марек Мезитис 49

Н

Нерубацький В. П. 52,53
Нитка Б.О. 75
Нестеренко Г. І. 104
Нікора Д.Ю. 91
Ніжегольцев В.А. 107

О

Обозний О.М 54
Орлов В.Ю 35
Овчинніков О. О. 55
Овчинніков А. В. 67
Овчарук А. С. 104

П

Панченко С. В. 56
Пастушенко В.В. 80
Пліщенко П. В. 10
Прохоров В.М. 61
Прохорченко Г.О. 101
Прищепа Д.О 18
Панченко В.К. 33
Профатилов В.І. 48,59
Плугін А. А. 51,55,57,
Прилипко А.А. 57,110
Проказа Є.А. 57
Продащук С.М. 102
Продащук М.В. 102
Проніна О.І. 59
Прокоф'єв А.І. 75
Перець К.Г. 82
Попов М.Д. 107
Пащенко Г.С. 108
Примаченко Г.О. 108
Пелех В.Р. 116
Панченко В.В. 119,120

Р

Рибальченко Л.І. 93
Рибін А.В. 2
Равлюк В. Г. 62
Равлюк М. Г. 62
Рева С.В. 63
Романов Р.Ю. 89
Романович Є. В. 100

С

Сеник С.Г. 32
Свєтош В. Ю 9
Середа Олександр г. 7,8
Середа Олена г 7,8
Семененко О.І. 103
Семененко Ю.О. 2,5,6,7,8,103
Семененко О.Д. 2,3,7,8,103
Степанча Є.Ю. 103
Сотник В.О. 71
Семикрас А.І. 20,65
Сіроклин І.М 57,69
Седякін І.І. 64
Сердюк Т.М 65,67,
Смірнов А. О. 67
Сосунов О.О. 70
Сумцов А.Л. 72
Свищов М.Ю. 85
Сургай М.В. 87
Сухолиткий Ю.В. 94
Сергєєва К. С. 101

Т

Трубчанінова К.А 24,64,80
Туленко І.М 85

Токаренко Ю.А 97
Ткаленко М.С. 112

У

Ушаков М.В. 114

Ф

Фісун М.В. 2
Філімонов О.О. 28
Фалєєв Ф. Р 52,53
Фаст Д.А. 57

Х

Харламова О.М. 115
Хісматулін В.Ш. 116
ХОМІН Р.В. 94

Ш

Шандер О.Е. 94,95,96
Щебликіна О. В 37,57,63,71
Штомпель М.А 118,119
Шульдінер Ю.В. 18
Шаталін В.В. 32
Шмонін Є.О. 38,43
Шевченко О.О. 85
Шубіна Г.В. 86
ШИЛО С.І. 109

Я

Яцько С. І. 99