

ліній по яких переміщуються інші роботи виконуючи технологічне завдання.

### Список використаних джерел

1. H. Shakhathreh et al., "Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges," J. IEEE Access, vol. 7, pp. 48572–48634, Apr. 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2909530.
2. The Future of Autonomy. Isn't Human-Less. It's Human More. (2022). Lockheed Martin. Accessed: August 25, 2022. [Online]. Available: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/capabilities/autonomous-unmanned-systems.html>
3. A. Kargin and T. Petrenko, "Spatio-Temporal Data Interpretation Based on Perceptual Model," in Advances in Spatio-Temporal Segmentation of Visual Data. Studies in Computational Intelligence, V. Mashtalir, I. Ruban, V. Levashenko, Eds., vol. 876, Springer, Cham, 2020, pp. 101-159.

*А.О. Каргін, д.т.н., С.В. Черноштан (УкрДУЗТ)*

## ОЦІНКА ДИНАМІЧНОЇ СИТУАЦІЇ НА ОСНОВІ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА ОБ'ЄКТУ

Однією із сучасних концепцій у залізничній сфері є використання цифрових двійників для динамічної оцінки ситуації на залізничних станціях. Цифровий Двійник (ЦД) – це віртуальна копія реального об'єкту, яка постійно оновлюється за допомогою сенсорів та інших джерел даних. Однією з основних переваг використання цифрових двійників є забезпечення в режимі реального часу актуальної інформації про стан об'єктів. Завдяки постійному оновленню цифрового двійника, оператори (задіяний в обслуговуванні персонал) можуть відстежувати зміни, виявляти потенційні проблеми та реагувати на них у найкоротші терміни. Крім того, цифровий двійник станції дозволяє використовувати алгоритми штучного інтелекту для автоматичного аналізу та прийняття рішення.

Створення системи автоматичного аналізу та прийняття рішення про виявлення несправностей та надання прогнозування стану обладнання передбачає наступні етапи: 1 - збір даних, 2 - попередня обробка даних, 3 - вибір моделей, 4 - збір характеристик, 5 - тестування моделі, 6 - валідація та тестування. На етапі експлуатації системи планується вирішення завдань а) виявлення несправностей та прогнозування стану обладнання, б) постійне оновлення та вдосконалення. Застосування цифрових двійників у залізничній

індустрії також дає можливість збирати та зберігати історичні дані, які можуть бути використані для аналізу, вдосконалення процесів та планування майбутніх заходів. При створенні системи використовується знання-орієнтований підхід.

Елементарною порцією знань в ЦД є Гранула Знань (ГЗ). Така порція знань має Зовнішній Сенс (ЗСГЗ) та Внутрішній Сенс (ВСГЗ). Формальне визначення ЗСГЗ має вигляд [1]

$$\langle N, \text{know}, \{ \langle M_i, (a_i, b_i, v_i, g_i) \rangle, \forall M_i \in \Omega_N \} \rangle \quad (1)$$

де  $N$  є ідентифікатор ГЗ;  $\text{know}$  є знакова модель гранули;  $\Omega_N = \{M_i\}_{i=1, 2, \dots, l}$  є множини ГЗ, які використовуються для розкриття сенсу гранули  $N$ ;  $M_i$  є ідентифікатор ГЗ нижчого рівня абстракції.

В визначенні (1) вказані параметри що є чисельною експертною оцінкою:  $a_i$  - впевненість експерта в тому, що поняття про  $M_i$  необхідно для розкриття сенсу поняття  $N$ ;  $b_i$  - часова затримка при визначенні динамічних відношень;  $v_i$  - швидкість старіння інформації щодо  $M_i$  та  $g_i$  - інформаційна повнота (чи достатньо знань про ГЗ  $M_i$  щоб розуміти сенс ГЗ  $N$ ).

У Базі Знань (БЗ) ЦД множина ГЗ структурована, гранули розташовані за рівнями абстрагування. На нижньому нульовому рівні ГЗ дають визначення сенсу даних від сенсорів. Наприклад, на рис. 1 показано представлення ЗСГЗ у загальному випадку за допомогою функції Нечіткого Фактору Впевненості (НФВ) [2].

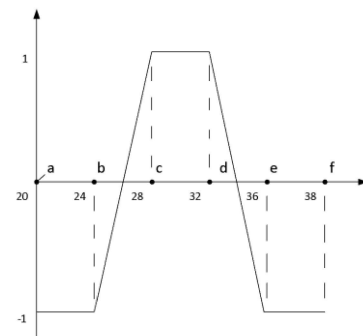


Рис. 1. Графічна ілюстрація визначення ЗСГЗ нульового рівня, загальний вигляд функції нечіткого фактору впевненості для однієї гранули;

Подання знань у вигляді (1) проілюструємо на прикладі дільниці рейкових кіл, а саме фрагмента знань, необхідних для безпечного проїзду світлофора для продовження руху заданим маршрутом. На рис.2 наведена ситуація, коли приймається оцінка безпечності проходження світлофора поїздом на дільниці, для чого потрібні дані з сенсорів наступних дільниць та показань світлофора.

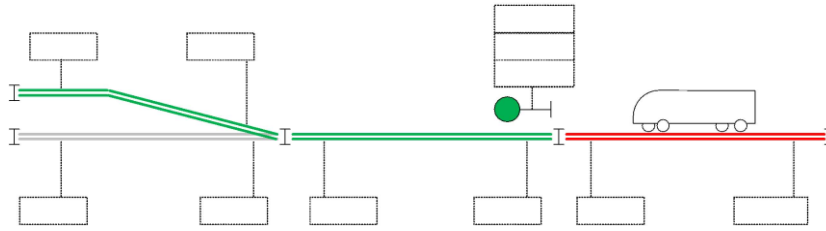


Рис.2 Приклад сканування ситуацій по маршруту руху поїзду

Моделювання апаратного забезпечення базується на мікроконтролері Arduino UNO R3, модулі wi-fi esp32 та 11-ти датчиках струму TA12-100 для можливості сприйняття змін показань струму в рейкових колах та світлофорі [3]. Ситуація представлена гранулярною моделлю знань, в якій окремі ГЗ уявляють безпосередньо дані від датчику току що встановлює рівень току, вільність ділянки на підставі знань про рейкові кіла, стан ділянки (зайнята рухомою одиницею та чи рухається об'єкт даною ділянкою чи відповідна ділянка знаходиться в несправному стані). На рис. 2 модель відображення поточного стану дільниці руху у вигляді двумірної просторової карти.

### Список використаних джерел

1. A. Kargin, T. Petrenko, "Spatio-Temporal Data Interpretation Based on Perceptual Model," in *Advances in Spatio-Temporal Segmentation of Visual Data. Studies in Computational Intelligence*, V. Mashtalir, I. Ruban, V. Levashenko, Eds., vol. 876, Springer, Cham, 2020, pp. 101-159.
2. Kargin, A., Petrenko, T. Planning and Control Method Based on Fuzzy Logic for Intelligent Machine. In: Sharonova, N. (ed.) *Proceedings of the 5th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS 2021)*, vol. 2870, pp. 1716-1730. CEUR Workshop Proceedings, Lviv, Ukraine, (2021).
3. A. Kargin, O. Ivaniuk, G. Galych, A. Panchenko, "Polygon for smart machine application", in 2018 IEEE 9th Inter. Conf. Depend. Sys., Serv. and Technol. DESSERT'2018, Kyiv, Ukraine, May 24-27, 2018, pp. 489-494.

*В.І. Коваленко, А.Л. Сумцов, Ю.Ю. Назаров  
(УкрДУЗТ)*

УДК 629.4

## ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ДІАГНОСТИКИ ТА ОБСТЕЖЕННЯ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ РУХОМОГО СКЛАДУ

Ходова частина рухомого складу – це надзвичайно важлива складова будь-якого залізничного транспорту, яка відповідає за безпеку та ефективність його руху. Правильне діагностування та обслуговування ходової частини поїздів є вирішальними аспектами для забезпечення надійності та довговічності рухомого складу.

Діагностування ходової частини поїздів є процесом, який дозволяє визначити стан різних елементів, таких як колеса, букси, гальмівні диски та інші деталі, що впливають на характеристики поїзда та безпеку руху. Цей процес важливий для забезпечення безпеки пасажирів та вантажу, а також для зменшення витрат на обслуговування та ремонт.

Одним з основних методів діагностування ходової частини поїздів є візуальний огляд. Інженери і технічний персонал періодично проводять огляди поїздів для виявлення видимих дефектів та відслідковування незвичайних звуків та вібрацій [1]. Візуальний огляд є швидким і ефективним методом, але він може бути недостатнім для виявлення прихованих проблем.

Для більш точного діагностування використовуються різні технології та прилади, такі як ультразвукова діагностика, тепловізійний контроль, магнітна дефектоскопія та інші. Наприклад, ультразвукова діагностика дозволяє виявити внутрішні дефекти в металевих деталях, такі як тріщини або інші несправності, які не видно при візуальному огляді. Такі технології дозволяють вчасно виявити проблеми та уникнути аварій.

Тепловізійне обстеження ходової частини рухомого складу є дуже доцільним і важливим процесом у залізничній галузі, оскільки воно має численні переваги та позитивні аспекти, зокрема:

- виявлення прихованих дефектів. Тепловізійне обстеження дозволяє виявити приховані дефекти та несправності, які не видно за допомогою візуального огляду. Наприклад, тепловізійна камера може виявити зони з підвищеною температурою, які можуть свідчити про незвичайне тертя або незадовільний стан підшипників.

- зменшення ризику аварій. Під час руху поїзда великі температурні аномалії можуть вказувати на проблеми в робочому стані гальм, гідравлічних гасників коливальних, букс чи інших