

Мазуренко Роман Володимирович

Аспірант кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики,

<https://orcid.org/0000-0003-3954-9423>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Єременко Богдан Михайлович

Кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій управління,

<https://orcid.org/0000-0002-3734-0813>

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПОТОКАМИ
АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ: ОСНОВНІ КОНЦЕПТИ ОНТОЛОГІЇ**

Анотація. Роботу спрямовано на вирішення проблеми заторів, що виникають на керованих світлофорами складних перехрестях. Проблема розглядається на прикладі м. Києва. Проте вирішення цієї проблеми лишається актуальним для жителів багатьох великих міст, які мають нагальну потребу швидко пересуватися автомобільним транспортом. У цій статті досліджуються питання створення онтології, яка в подальшому стане основою для формування баз знань низки інтелектуальних систем керування дорожнім рухом, що призначаються для керування трафіком на типових перехрестях великих міст. Надано схему функціонування системи, що розробляється для ситуаційного керування комплексом світлофорів в умовах стохастичної невизначеності, та показано схему її функціонування. Визначено основні концепти онтології, що першою чергою необхідні для розробки інтелектуальних систем і технологій керування транспортними потоками великих міст. Структуровані і формалізовані базові поняття таких концептів домену «Дорожній рух», як «Інфраструктура доріг», «Учасники руху» і «Транспортний потік». Подальші дослідження планується спрямувати на формалізацію концептів «Умови руху», «Системи керування» і «Моделі рішень», що потрібні для узгодженого керування комплексами світлофорів на типових перехрестях. А також будуть формалізовані зв'язки: «Дорожня інфраструктура» – «Учасники дорожнього руху», «Дорожня інфраструктура» – «Системи управління», «Дорожня інфраструктура» – «Умови дорожнього руху», «Учасники дорожнього руху» – «Умови дорожнього руху», «Системи управління» – «Учасники дорожнього руху» та «Умови дорожнього руху» – «Системи управління».

Ключові слова: дорога; затор; інфраструктура доріг; концепт онтології; перетин доріг; транспортний засіб; транспортний потік

Вступ

Проблема заторів загострюється з кожним роком в усьому світі. Згідно з даними Індексу дорожнього руху (рис. 1), в усьому світі зростає кількість активних автомобілів [1].



Рисунок 1 – Кількість зареєстрованих у Києві автомобілів

Вирішення проблеми заторів є комплексною проблемою, що лишається актуальним для жителів багатьох великих міст, які мають нагальну потребу швидко пересуватися автомобільним транспортом.

Ця задача для м. Києва була і залишається актуальною як для довоєнного часу, так [2] і сьогодні (рис. 2).

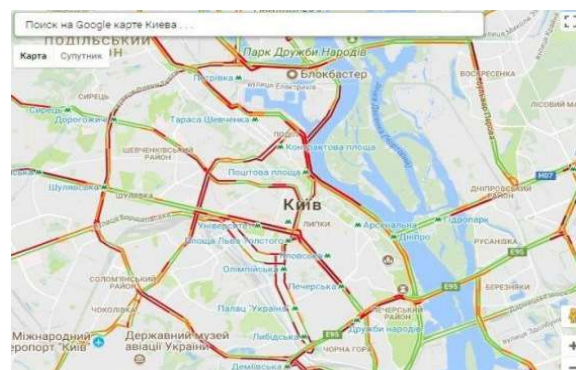


Рисунок 2 – Карта заторів у Києві [3]

При цьому внаслідок бойових дій, які з 24 лютого 2022 р. російська федерація за підтримки республіки білорусь веде на території України, виникла необхідність відновленні великої частини цієї території, що зазнала масштабних руйнувань і пошкоджень.

Відновлення зруйнованих і пошкоджених доріг шляхопроводів і розв'язок країни спонукає до впровадження новітніх інтелектуальних систем і технологій керування транспортними потоками (рис. 3).



Рисунок 3 – Зруйнований міст на Чернігівщині

Особливо гостро питання розумної мобільності постає там, де розширення зруйнованих доріг, шляхопроводів і розв'язок не вирішує проблему заторів міста в цілому, оскільки [4]:

- збільшення пропускної спроможності частини доріг сприяє зростанню потоку автомобілів на цих ділянках;
- зростання потоку автомобілів на ділянках доріг з великою пропускною спроможністю призводить до накопичення більшої кількості автомобілів на ділянках доріг, де пропускна спроможність менша;
- такий дисбаланс є причиною збільшення часу, що проводиться в заторах водіями міста загалом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботі [5] було запропоновано проєкт інтелектуальної системи керування дорожнім рухом (ІСКДР), що призначена для підвищення розумної мобільності жителів великих міст (рис. 4).

У [5] фокус розумної мобільності спрямовано на моделювання тривалості сигналів світлофорів, які функціонують на чотиристоронньому перехресті в стохастичних умовах великого міста.

При цьому проєкт передбачає, що:

- керування тривалістю сигналів світлофорів ґрунтується на узагальнених характеристиках про стан транспортного потоку на дорогах, які ведуть до перехрестя, що контролюється системою;

– нестандартні ситуації на керованому ІСКДР перехресті і в його околі фіксуються і опрацьовуються в режимі реального часу.

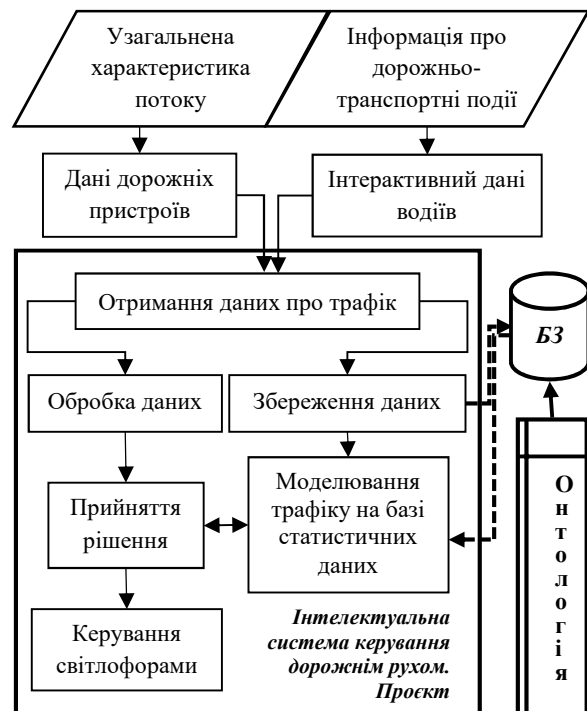


Рисунок 4 – Схема функціонування ІСКДР

У [6] запропоновано архітектуру модуля обробки даних ІСКДР. Реалізація цього модуля забезпечить обробку і передачу даних про кількість і швидкість автомобілів на різних ділянках доріг у режимі реального часу.

Методи і засоби інтелектуального аналізу, що можуть бути використані для моделювання трафіку на базі цих даних, описані в [7 – 9].

Суттєвим обмеженням попередніх досліджень є те, що при керуванні світлофорами ІСКДР не враховувалися постулати прийнятого рішення. У таких випадках швидке розумне розвантаження одних перехресть сприяє накопиченню більшої кількості автомобілів на прилеглих перехрестях, а отже, водії просто проведуть більше часу в заторі на іншому перехресті. Це означає, що подолання проблеми заторів на рівні районів великих міст потребує узгодженого керування системою світлофорів [10].

Отже, своєчасним і доцільним є створення єдиної онтології, яка стане основою для автоматичного формування апріорної бази правил бази знань (БЗ) систем, що потрібні для узгодженого керування сигналами світлофорів на перехрестях різних типів. Ця стаття є продовженням робіт [5; 6], але тут розглядаються питання створення онтології, яка в подальшому стане основою для формування бази знань низки ІСКДР, що призначаються для керування дорожнім рухом на типових перехрестях у великому місті.

В інформатиці термін «онтологія» означає представлення знань предметної області (домену) для визначення термінів і понять цієї області у структурований і організований спосіб.

Таке представлення потребує використання набору понять (концептів) і зв'язків [11].

Саме тому насамперед розробка онтології передбачає [11]:

1. Визначення домену.
2. Визначення області застосування онтології.
3. Визначення понять.
4. Визначення зв'язків.
5. Вибір формальної мови.

У цій роботі доменом є дорожній рух (ДР), областю застосування онтології є ІСКДР, а для розробки онтологій розглядається використання мов RDF і OWL [12; 13].

Мета і задачі публікації

Метою цієї роботи є формування основних концептів онтології, що передусім необхідні для реалізації інтелектуальних систем і технологій керування транспортними потоками великих міст.

Для досягнення мети потрібно визначити, структурувати і формалізувати базові поняття домену «Дорожній рух».

Виклад основного матеріалу

Основними концептами цієї онтології, є: «Інфраструктура доріг», «Учасники руху», «Умови руху», «Системи керування», «Моделі рішень».

Базовими поняттями концепту «Інфраструктура доріг» є «Дорога» і «Перетин доріг». Поняття «перетин доріг» включає в себе всі види перехресть, розв'язок і естакад.

Структуру концепту «Інфраструктура доріг» наведено на рис. 5.

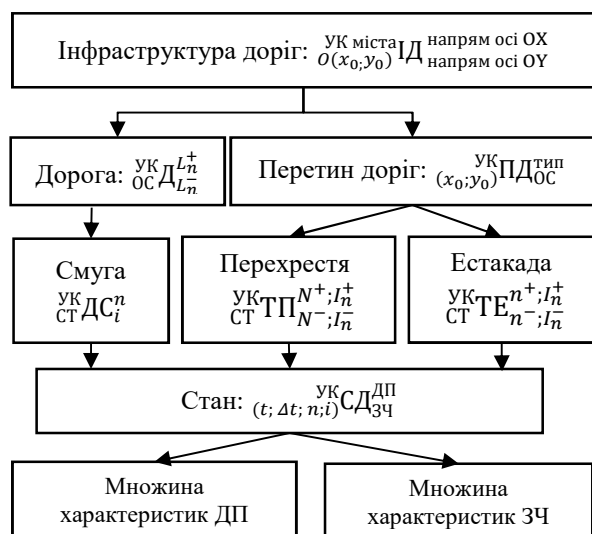


Рисунок 5 – Структура концепту
«Інфраструктура доріг»

При формуванні цього концепту прийнято такі позначення і скорочення:

- ІД – інфраструктура доріг;
- УК – універсальний класифікатор;
- $O(x_0, y_0)$ – координати центра ;
- Д – дорога;
- ПД – перетин доріг;
- ДС – дорожня смуга;
- ТП – тип перехрестя;
- ТЕ – тип естакади;
- СТ – стан;
- СД – стан дороги;
- СПД – стан перехрестя доріг;
- ОС – особливості;
- t і Δt – поточний час і проміжок часу;
- n ($n=1, \dots, N$) – номер дороги;
- i ($i=1, \dots, I$) – номер дорожньої смуги;
- ДП – дорожнє покриття;
- ЗЧ – зовнішні (географічні, фізико-хімічні, соціально-економічні) чинники.

Тип дороги визначається кількістю смуг ($I^+ + I^-$) в напрямках «на в'їзд в місто» і «на виїзд з міста», відповідно.

Тип перехрестя визначається кількістю доріг ($N^+ \text{ і } N^-$) і кількістю смуг ($I_n^+ \text{ і } I_n^-$) в напрямках «на в'їзд» і «на виїзд», відповідно. Ця множина містить перехрестя з поглинанням ($N^+ > N^-$), перехрестя з розгалуженням ($N^+ < N^-$) і перехрестя з однаковою кількістю доріг ($N^+ = N^-$) на в'їзд і виїзд. При цьому передбачається можливість графічного зображення ПД і декомпозиція крутових розв'язок і естакад на простіші ТП (рис. 5).

Стан дороги і перехресть, дорожнє покриття зовнішні чинники впливу на його стан описуються множиною відповідних характеристик.

Концепт «Учасники руху» пропонується розділити на такі базові поняття: «Транспортний засіб»; «Пішохід»; «Інші учасники».

Структуру цього концепту наведено на рис. 6.

При формуванні концепту «Учасники руху» прийнято такі позначення і скорочення:

- ГА – габарити;
- d_1, d_2, d_3 – довжина, ширина, висота;
- ОС – особливості;
- КА – категорія;
- ХР – пріоритет руху;
- Δt – можливий час очікування;
- ПО – положення (t ; N ; $I(+;-)$; st);
- s_0 і sp_0 точка виїзду і точка призначення;
- x і x_k , up і uk – початкові і кінцеві координати по Ox і Oy , відповідно;
- x, y – поточні координати по осях Ox і Oy ;
- миттєва ($v(t)$) швидкість автомобіля;
- середня ($\langle v \rangle$) швидкість автомобіля;

– НА – намір ($t; \Delta t; s^{(\uparrow; \downarrow; \leftarrow; \rightarrow)}; N; I(+; -)$);
 – ($\uparrow; \downarrow; \leftarrow; \rightarrow$) – вперед, назад, ліворуч, праворуч.

Поняття «Пішохід» і «Інші учасники» запропоновано описувати множиною характеристик руху (ХР): положення; звичайні особливості руху різних категорій ПІ і ІУ руху; нормальна (за правилами ДР) і аномальна (не за правилами ДР) поведінка (π) і (π); миттєва $\mu(t)$ і очікувана $\tilde{\mu}(t + \Delta t)$ швидкість; напрям руху (НР).

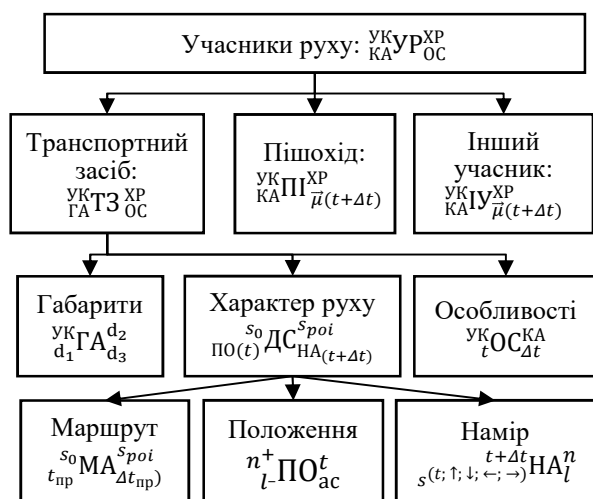


Рисунок 6 – Структура концепту «Учасник руху»

Характеристики руху всіх учасників руху можуть визначатися в різних системах координат (СК), а саме: в СК Google Map; в СК (Оху), яка за певними правилами визначається для кожного міста; в СК (Оs), що пов'язана з дорогою, якою слідує транспортний засіб у поточний момент часу.

Структуру концепту «Транспортний потік» наведено на рис. 7.

Цей концепт містить поняття: швидкість ($\langle V \rangle$) і щільність (ρ) потоку; стандартні (σ) і не стандартні (σ) умови (У); нормальні (σ) і ($\bar{\sigma}$) аномальні особливості (ОС) в різний час на певних ділянках дороги (ДД); множина зовнішніх (ЗЧВ) і внутрішніх (ВЧВ) чинників впливу на умови і характер руху потоку (рис. 7).

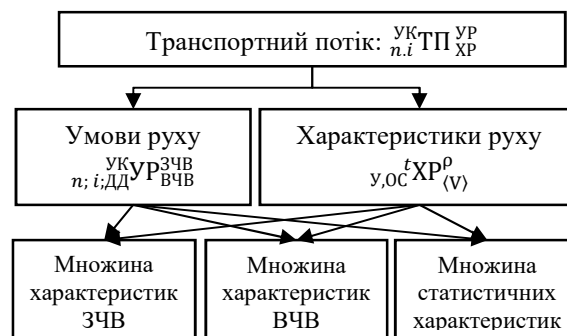


Рисунок 7 – Структура концепту «Транспортний потік»

Висновки

1. Сформовано основні концепти онтології, що необхідні для реалізації ІСКДР великих міст.

2. Подальші дослідження будуть спрямовані на систематизацію і формалізацію понять концептів: «Умови руху», «Моделі рішень», «Системи керування», а також формалізацію зв'язків: «Системи керування» – «Інфраструктура доріг», «Системи керування» – «Умови руху», «Системи керування» – «Учасники руху», «Інфраструктура доріг» – «Умови руху», «Інфраструктура доріг» – «Учасники руху», «Умови руху» – «Учасники руху».

Список літератури

1. Київ уже третій у світі за заторами. Далі буде ще гірше. URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2022/02/10/682256/> – Заголовок з екрану. (in Ukrainian)
2. TomTom traffic index. Ranking 2022. URL: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking/ – Заголовок з екрану.
3. Затори в Києві. URL: https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=10tKw-w_o3MnL9l-Zli_zdBoZ2xM&hl=en_US&ll=50.46078255509405%2C30.4830265045166&z=11
4. Afrin, T. Yodo Nita (2020) A Survey of Road Traffic Congestion Measures towards a Sustainable and Resilient Transportation System, *Sustainability*, 12, 4660.
5. Mazurenko, R., Yermenko, B., Morozov, V. (2022) Development of Intelligent Traffic Control System Project. 2022 IEEE Smart Information Systems and Technologies (SIST), Nur-Sultan, Kazakhstan.
6. Yermenko, B., Mazurenko, R., Stetsyk, O., Buhrov, A. (2022) Intelligent Management of Traffic Flows in Large Cities. 13th International Scientific Conference "Transbaltica 2022: Transportation Science and Technology", Vilnius, Lithuania.
7. Trivedi, J.D., Devi, M.S., Dave, D.H. (2021) A vision-based real-time adaptive traffic light control system using vehicular density value and statistical block-matching approach. *Transport and Telecommunication*, Volume 22, no. 1, 87–97.
8. Moreno Alonso, C., Baucells Aleta, N. & Arce Ruiz, R. M. (2016) Smart mobility in smart cities. In: CIT2016 - XII Congreso de Ingeniería del Transporte, pp. 1209–1219.

9. Rizwan P, Suresh K, Rajasekhara Babu M (2016). Real-time smart traffic management system for smart cities by using Internet of Things and big data. 2016 International Conference on Emerging Technological Trends (ICETT).
10. Xueying Song, Zheng Yang, Tao Wang, Chaoyang Li, Yi Zhang, Ganyu Chen (2021) Dynamic Traffic Assignment Model Based on GPS Data and Point of Interest (POI) in Shanghai. *Sensors (Basel, Switzerland)*, Vol. 21.
11. Lozano, A., Manfredi, G., Nieddu, L. (2009) An algorithm for the recognition of levels of congestion in road traffic problems. *Math. Comput. Simul.*, 79(6), pp. 1926–1934.
12. Wanichayapong N, Pattara-Atikom W and Peachavanish R (2015) Road traffic question answering system using ontology. In *Semantic Technology (Supnithi T, Yamaguchi T, Pan JZ, Wuwongse V and Buranarach M (eds))*. Springer, Cham, Switzerland, pp. 422–427.
13. Mohammad, M.A., Manguri, K.H., Abdulsamad, T.S., Al-Talabani AK, F., Abdulrahman, A.A. (2022) New Ontology structure for intelligent controlling of traffic signals. *Procedia Comput. Sci.*, 207, 1201–1211.

Стаття надійшла до редколегії 12.09.2023

Mazurenko Roman

Postgraduate student of Department of Information Technology Design and Applied Mathematics,

<https://orcid.org/0000-0003-3954-9423>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Yeremenko Bohdan

PhD (Eng.), Department of Management Technologies, <https://orcid.org/0000-0002-3734-0813>

Taras Shevchenko National University of Kyiv

INTELLIGENT ROAD TRANSPORT FLOW MANAGEMENT SYSTEM: BASIC ONTOLOGY CONCEPTS

Abstract. The work is aimed at solving the problem of traffic jams that occur at complex intersections. The problem is considered using the example of the city of Kyiv. However, it remains relevant for residents of many large cities. In this article here we consider the issues of creating ontology. It will later become the basis for forming the knowledge bases of several intelligent traffic management systems intended for traffic management at typical intersections in large cities. The scheme of operation of the system, which is being developed for the situational control of a complex of traffic lights under conditions of stochastic uncertainty, is provided, and the scheme of its operation is shown. The basic ontology concepts, which are primarily necessary for the development of intelligent systems and technologies for managing traffic flows in large cities, have been determined. Structured and formalized basic concepts of the "Road traffic" domain, such as: "Road infrastructure", "Traffic participants" and "Traffic flow". Further research is planned to be directed to the formalization of the concepts "Traffic conditions", "Control systems" and "Decision models", which are required for coordinated control of traffic light complexes at typical intersections. As well as the connections "Road infrastructure" – "Road users", "Road infrastructure" – "Control systems", "Road infrastructure" – "Traffic conditions", "Road users" – "Traffic conditions", "Road users" – "Control systems" and "Traffic conditions" – "Control systems" will be formalized.

Keywords: road; traffic jam; infrastructure; ontology concept; road intersection; vehicle; traffic flow

References

1. Kyiv is already third in the world in terms of traffic jams. It will get even worse. [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.epravda.com.ua/publications/2022/02/10/682256/> - Title from the screen.
2. TomTom traffic index. Ranking 2022. [Electronic resource]. - Access mode: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking/ - Title from the screen.
3. Traffic jams in Kyiv. [Electronic resource]. - Access mode: https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=10tKw-w_o3MnL9l-Zli_zdBoZ2xM&hl=en_US&ll=50.46078255509405%2C30.4830265045166&z=11T. Afrin, Nita Yodo, "A Survey of Road Traffic Congestion Measures towards a Sustainable and Resilient Transportation System", *Sustainability* 2020, 12, 4660.
4. Afrin, T. Yodo Nita (2020) A Survey of Road Traffic Congestion Measures towards a Sustainable and Resilient Transportation System, *Sustainability*, 12, 4660.
5. Mazurenko, R., Yeremenko, B., Morozov, V. (2022) Development of Intelligent Traffic Control System Project. 2022 IEEE Smart Information Systems and Technologies (SIST), Nur-Sultan, Kazakhstan.
6. Yeremenko, B., Mazurenko, R., Stetsyk, O., Buhrov, A. (2022) Intelligent Management of Traffic Flows in Large Cities. 13th International Scientific Conference "Transbaltica 2022: Transportation Science and Technology", Vilnius, Lithuania.
7. Trivedi, J. D., Devi, M. S., Dave, D. H. (2021) A vision-based real-time adaptive traffic light control system using vehicular density value and statistical block-matching approach. *Transport and Telecommunication*, 22, 1, 87–97.

8. Moreno Alonso, C., Baucells Aleta, N. & Arce Ruiz, R. M. (2016) Smart mobility in smart cities. In: CIT2016 - XII Congreso de Ingeniería del Transporte, pp. 1209–1219.
9. Rizwan, P, Suresh, K, Rajasekhara, Babu M. (2016). Real-time smart traffic management system for smart cities by using Internet of Things and big data. 2016 International Conference on Emerging Technological Trends (ICETT).
10. Xueying, Song, Zheng, Yang, Tao, Wang, Chaoyang, Li, Yi, Zhang, Ganyu, Chen (2021). Dynamic Traffic Assignment Model Based on GPS Data and Point of Interest (POI) in Shanghai. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21.
11. Lozano, A., Manfredi, G., Nieddu, L. (2009). An algorithm for the recognition of levels of congestion in road traffic problems. *Math. Comput. Simul.*, 79(6), 1926–1934.
12. Wanichayapong, N., Pattara-Atikom, W. and Peachavanish, R. (2015). Road traffic question answering system using ontology. *Semantic Technology*, 422–427.
13. Mohammad, M. A., Manguri, K. H., Abdulsamad, T. S., Al-Talabani A. K. F., Abdulrahman, A. A. (2022). New Ontology structure for intelligent controlling of traffic signals. *Procedia Comput. Sci.*, 207, 1201–1211.

Посилання на публікацію

- APA Mazurenko, R. & Yeremenko, B. (2023). Intelligent Road Transport Flow Management System: Basic Ontology Concepts. *Management of Development of Complex Systems*, 55, 192–197, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2023.55.192-197](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.55.192-197).
- ДСТУ Мазуренко Р. В., Єременко Б. М. Інтелектуальна система керування потоками автомобільного транспорту: основні концепти онтології. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2023. № 55. С. 192 – 197, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2023.55.192-197](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.55.192-197).