

A. C. VENGER

МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ МІСТА ТА ВИЯВЛЕННЯ КОНКУРЕНТНИХ МАРШРУТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

В статті наведено концептуальний підхід до моделювання управління дорожнім рухом міста та виявлення конкурентних маршрутів за допомогою інтелектуальних транспортних систем. Обґрунтовується ідея про те, що моделювання дорожнього руху в транспортних потоках, яке враховує поведінку кожного окремого транспортного засобу, забезпечує найбільш перевірені результати моделювання конкретних перехресть в режимі реального часу для УДР міста. Запропонована методика розробки алгоритму виявлення конкурентних маршрутів, згідно з яким користувачі вибирають оптимальний маршрут. Показано, що методика будується на статистичному взаємозв'язку між показниками маршрутів та допомагає найбільш точно розрахувати попит на впровадження і вдосконалення транспортної мережі з наступними змінами в її роботі. Розглянуто перерозподіл транспортних потоків для виявлення конкурентних маршрутів у транспортних коридорах та вплив значень випадкових величин на показники маршруту. Доведено, що для опису процесів, що відбуваються в транспортному коридорі, найважливіше значення має вірогідність опису розподілу інтервалів між транспортними засобами, що входять до мережі. Типовим розподілом, що застосовується для цих цілей, є експонентний розподіл. Зроблено висновок, що модель мікрорівня для розрахунку режимів руху ТЗ повинна відповідати тим вимогам, які необхідні для вирішення завдання моделювання УДР міста та виявлення конкурентних маршрутів за допомогою ІТС. Для цих умов характерні значні коливання режимів руху транспортних засобів, зупинки на регульованих перетинах і в заторах, зміна смуги та траєкторії руху, що значно впливає на алгоритм знаходження конкурентного маршруту в транспортному коридорі.

Ключові слова: моделювання, інтелектуальні транспортні системи, дорожній рух, безпека дорожнього руху, інформаційне середовище.

A. VENGER

MODELING CITY TRAFFIC MANAGEMENT AND IDENTIFICATION OF COMPETITIVE ROUTES USING INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS

This article presents a conceptual approach to modelling city traffic management and identifying competitive routes using intelligent transportation systems. It argues that modelling traffic in transport streams, considering the behaviour of each individual vehicle, yields the most reliable results for real-time modelling of specific intersections in city traffic management. The proposed methodology for developing an algorithm to detect competitive routes allows users to choose the optimum route. The method is based on the statistical relationship between route indicators and helps to accurately calculate the demand for the implementation and improvement of the transportation network with subsequent changes in its operation. Redistribution of traffic flows for the identification of competitive routes in transport corridors and the impact of random variable values on route indicators are discussed. It is proven that the probability of describing the distribution of intervals between vehicles entering the network is of utmost importance for describing processes in a transport corridor, with the exponential distribution being typically used for these purposes. The conclusion is made that the micro-level model for calculating vehicle movement modes should meet the requirements necessary for solving the task of modeling city traffic management and identifying competitive routes using ITS. Such conditions are characterized by significant fluctuations in vehicle movement modes, stops at regulated intersections and in traffic jams, lane and trajectory changes, which significantly affect the algorithm for finding a competitive route in the transport corridor.

Key words: modelling, intelligent transportation systems, traffic, road safety, information environment.

Вступ.

Однією з головних завдань транспортної галузі є управління дорожнього руху (УДР) з метою безпеки дорожнього руху (БДР) за допомогою використання сучасних телекомунікаційних та інформаційних технологій, а також автоматизації у транспортній інфраструктурі [1–4, 7, 15, 20]. При цьому, через використання різних методів УДР, вирішується велике коло завдань БДР.

Слід додати, що безпека транспортних систем полягає як у створенні безпечного транспорту, так і у створенні сучасних систем УДР на засадах нових технологій. Найбільш

ефективним способом якісного вирішення цих завдань є залучення до УДР інтелектуальних транспортних систем (ІТС) [7, 13, 14, 23–26].

Аналіз закордонного досвіду розвитку ІТС та їх інтеграція в транспортний процес дозволяє зробити висновок про доцільність моделювання УДР за допомогою ІТС в транспортному процесі. З іншого боку, розглядаючи УДР з'ясовано, що при плануванні поїздок користувачі обирають оптимальний маршрут дорожнього руху за трьома критеріями: якістю інформаційного забезпечення вулично-дорожньої мережі, найкоротшою відстанню та мінімальним часом поїздки.

Відомо, що при моделюванні БДР необхідно дотримання наступних вимог: всеосяжність; чітке встановлення критеріїв маршруту; проходження маршруту минаючи транспортні пробки; систематизований аналіз даних під час створення оптимального маршруту; враховувати тимчасові зупинки; особливості різних типів рухомого складу та варіанти розвитку ситуацій тощо. Тобто БДР міста обумовлена тим, що практично всі завдання УДР міста пов'язані з визначенням розташування транспортних засобів (ТЗ). Це можливе при моделюванні УДР міста за допомогою ІТС із застосуванням моделей руху транспортних потоків у транспортному процесі..

Аналіз останніх досягнень та публікацій.

У наукових джерелах завдання щодо БДР розглядається через моделювання УДР у різних аспектах. При цьому, до рішення завдань щодо ефективності та безпеки УДР взяли на себе ІТС. Вони набувають широкого поширення і спрямовані на підвищення ефективності та безпеки роботи транспортних систем [9, 12–14, 17]. Зазначимо, що питанням УДР та ІТС у своїх різнопланових працях розглядали: Л. С. Абрамова [5], О. О. Бакуліч [6], Е. В. Гаврилов [8], П. Ф. Горбачов [10], Ю. О. Давідіч [11], В. А. Кашканов [15], О. О. Лобашов [16], В. Д. Мигаль [17], В. П. Поліщук [19], Є. В. Нагорний [18], О. В. Степанов [21], Б. М. Четвертухин [22] й ін. Ними показано, що реалізація проектів розвитку ІТС здійснюється на різних рівнях. У своїх працях науковці доводять, що за своєю структурою УДР та ІТС розподіляються в залежності від призначення, складу та розташування елементів для реалізації функцій управління.

На думку вчених, системи УДР мають певні недоліки та обмеження при функціонуванні. Попри достатньої кількості наукових досліджень у галузі УДР, деякі аспекти розвитку УДР потребують удосконалення. Зокрема, виникають питання щодо удосконалення моделювання УДР та виявлення конкурентних маршрутів за допомогою ІТС, як інтеграцію сучасних інформаційно-комунікаційних технологій та засобів автоматизації з транспортною інфраструктурою, що спрямована на підвищення ефективності та безпеки функціонування транспортних систем, що є актуальним питанням сьогодення.

Мета та постановка задачі дослідження.

Розглянути концепцію моделювання управління дорожнім рухом міста та виявлення конкурентних маршрутів за допомогою інтелектуальних транспортних систем.

Для досягнення поставленої мети розробити методіку перерозподілу транспортних потоків для виявлення конкурентних маршрутів у транспортних коридорах та алгоритм виявлення конкурентних маршрутів, згідно з яким користувачі вибирають оптимальний маршрут.

Основний матеріал та результати дослідження.

Моделювання дорожнього руху в транспортних потоках, що враховують поведінку кожного окремого ТЗ, забезпечує найбільш певні результати моделювання конкретних перехресть. За умови їхнього достатнього впровадження, моделі з найбільшим ефектом використовуються в режимі реального часу для реалізації адаптивного УДР міста. Наприклад, оптимальний маршрут у транспортному коридорі приваблює користувачів, що призводить до проблематичного зростання щільності й інтенсивності транспортного потоку та підвищення часу проходження маршруту.

Для розв'язання цієї проблеми необхідно розробити алгоритм, згідно з яким користувачі вибирають оптимальний (можливо і коротший) маршрут. Розглянемо перерозподіл

транспортних потоків для виявлення конкурентних маршрутів у транспортних коридорах. Для цього скористаємося показниками кореляції та коваріантності.

Коваріантність та кореляція дозволяють виміряти співвідношення між двома випадковими величинами. Вони надають інформацію про можливі зміни при взаємодії двох величин.

Розглянемо дві випадкові величини X та Y з відповідними значеннями $E(X) = \mu_x$ і $E(Y) = \mu_y$ та дисперсією (відхиленням від середнього) $Var(X) = \sigma_x^2$ та $Var(Y) = \sigma_y^2$.

Коваріантність X і Y обчислюється наступним чином:

$$Cov(X, Y) = E[(X - \mu_x) \cdot (Y - \mu_y)] \quad (1)$$

Ця формула дійсна і $Cov(X, Y)$ буде кінцевою за умови, що $\sigma_x^2 < \infty$ та $\sigma_y^2 < \infty$. $Cov(X, Y)$ може бути позитивною, негативною та рівною нулю. При великих значеннях X і Y , так само як і при невеликих значеннях обох показників, підступність буде позитивною. При великих значеннях X та маленьких Y та навпаки – підступність матиме негативний показник.

Якщо $0 < \sigma_x^2 < \infty$ і $0 < \sigma_y^2 < \infty$, то кореляція виглядатиме наступним чином:

$$\rho(X, Y) = \frac{Cov(X, Y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (2)$$

Важливо, якщо X і Y незалежні випадкові величини з $0 < \sigma_x^2 < \infty$ та $0 < \sigma_y^2 < \infty$ відповідно, то $Cov(X, Y) = \rho(X, Y) = 0$.

Значення $\rho(X, Y)$ дає показник ступеня зв'язку показників X та Y . При n кількості спостережень значень X та Y , простий кореляційний коефіцієнт можна розрахувати за формулою:

$$\rho(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{(n-1) S_x S_y} \quad (3)$$

де S_x та S_y стандартне відхилення X та Y відповідно.

Далі розглянемо вплив значень випадкових величин на показники маршруту та його попит. Наприклад, візьмемо показник Z ($Z \sim N(0, 1)$), показник $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, який можна подати у вигляді формули: $X = \mu + \sigma Z$. У деяких випадках, наприклад, при різних рівнях попиту, необхідна побудова вектора показників $X = (X_1, X_2, X_3 \dots X_n)^T$ при нормальному розподілі, де всі компоненти можуть бути не взаємопов'язані між собою. Просторовий вектор нормального розподілу з головним вектором $\mu = (\mu_1, \mu_2, \mu_3 \dots \mu_n)^T$ і матрицею коваріантності $M_{(i,j)}$, де $\mu_{ij} = \mu_{ji} = Cov(X_i, X_j)$, може бути представлений у вигляді функції:

$$f(X) = (2\pi)^{-\frac{n}{2}} |M|^{-\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{(X - \mu)^T M^{-1} (X - \mu)}{2}\right) \quad (4)$$

Важливо, що матриця коваріантності M симетрична, тобто $M^T = M$, а її елементи по діагоналі мають значення більше нуля (тобто $\mu_{ij} > 0$).

Наступний алгоритм може бути використаний для визначення необхідного вектора нормального розподілу $X = (X_1, X_2, X_3 \dots X_p)^T$.

Спочатку припустимо значення $Z_1, Z_2, Z_3 \dots Z_p$, що належать $N(0, 1)$. Ці значення можуть бути представлені у вигляді вектора $Z = (Z_1, Z_2, Z_3 \dots Z_p)^T$.

Далі обчислимо $X = \mu + CZ$, де C – матриця розміром $(p \times p)$, рівень якої є нижчою ніж $M = CC^T$.

Елементи C можна розрахувати наступним чином:

$$C_{ij} = \sqrt{(\sigma_{ij} - M_{m=1}^{i-1} C_{im}^2)}, \quad (5)$$

$$C_{ij} = \frac{(\sigma_{ij} - M_{m=1}^{i-1} C_{im}^2 \cdot C_{jm})}{C_{ii}} (j \geq i) \quad (6)$$

Далі визначимо конкурентні маршрути, виходячи з наступних двох параметрів:

1. На вході:

- транспортна мережа та її характеристики (різні показники маршрутів, час поїздки тощо);
- матриці кореспонденцій;
- маршрути, що становлять інтерес (i);
- показники параметра N для характеристики маршруту;
- варіанти зміни попиту.

2. На виході:

- показники безпосередньо конкурентних маршрутів.

Ця методологія будується на статистичному взаємозв'язку між показниками маршрутів i й іншими маршрутами k , допомагає найбільш точно розрахувати попит на впровадження і вдосконалення транспортної мережі та наступні зміни в її роботі. Конкурентні маршрути виявляються в три етапи.

Розглянемо їх детальніше.

1. На першому етапі складаємо кореляційні таблиці. Спочатку складаємо матриці кореспонденцій, з яких буде видно загальну кількість можливих маршрутів. Потім із цієї матриці вибираються маршрути, що мають однакові тимчасові та вартісні витрати. Далі складається вектор показників L маршрутів транспортної мережі:

$$V^* = [v_1^{(j)}, v_2^{(j)}, \dots, v_L^{(j)}]^T \quad (7)$$

Відмітимо, що: $V_i^j \geq 0 (i = 1, \dots, L)$.

Отримуємо прямий позитивний вектор потоків маршруту ($V^{+*(j)}$), який подальшому застосуємо для аналізу найважливіших відрізків транспортного потоку. Зазначимо, що цей вектор ($V^{+*(j)}$) включає лише ті маршрути, які мають показник $v_l^{(j)} > 0$, які позначаються $v_l^{+(j)}$.

Складається матриця $V^{+*(j)} = \Delta^{(j)} \times h^j$, де $\Delta^{(j)}$ – матриця $m^{(j)} \times n^{(j)}$, де $n^{(j)}$ кількість маршрутів та h^j – вектор $n^{(j)} \times 1$ транспортних потоків (кількість маршрутів \times кількість потоків). Будується матриця кореспонденцій тих ділянок транспортної мережі, що показують відсоткове співвідношення попиту B^j , $T = B^j \times h^j$, де T – вектор $p \times 1$, який показує пари матриць кореспонденцій та B^j – матриця $p \times n^{(j)}$. Далі визначається найбільш ефективний маршрут $h^{*(j)}$ за допомогою алгоритму рівноваги.

На завершення першого етапу виявляється залежність між можливостями одного маршруту i та показниками іншого маршруту k , а також залежність між можливостями маршруту i та найбільш ефективної ділянки транспортної мережі q .

2. На другому етапі аналізуємо залежності різних транспортних маршрутів. Для кожної ділянки транспортної ВДМ q визначаємо можливі показники попиту W .

Отримаємо $Max_{w=1, \dots, W} [(P^{(W)} - \text{залежність між маршрутом } i \text{ та } q)]$ та $Min_{w=1, \dots, W} [(P^{(W)} - \text{залежність між маршрутом } i \text{ та } q)]$. Тобто ми маємо максимальну та мінімальну ступінь залежності показників маршруту i від ефективної ділянки транспортної мережі M q .

Обчислимо відсоткове співвідношення між сценаріями, де було знайдено показник $P^{(W)}$ – залежність між маршрутом i та q і який виявився: по-перше, невизначеним; по-друге, в інтервалі $(-1; -0,5)$; по-третє, в інтервалі $(-0,5; 0,5)$; по-четверте, в інтервалі $(0,5; 1)$.

Обчислимо кореляційний коефіцієнт Z для показника залежності між маршрутом i та q :

$$Z_{P^{(W)} \text{ залежність між маршрутом } i \text{ та } q} = \frac{\sum_{w=1}^W g_w * P(W)}{W} \quad (8)$$

де $g_w = \begin{cases} 1 & \text{якщо } P(W) \text{ визначено для сценарію } w \\ 0 & \text{у всіх інших випадках} \end{cases}$

Для кожного маршруту k , який є в прогнозуванні попиту W визначаємо такі показники:

- максимальний та мінімальний ступінь залежності маршруту i від показників маршруту k ;

- обчислюємо відсоткове співвідношення між сценаріями, де було знайдено показник $P^{(W)}$
- залежність між маршрутом i та k і який виявився: по-перше, невизначеним; по-друге, в інтервалі $(-1; -0,5)$; по-третє, в інтервалі $(-0,5; 0,5)$; по-четверте, в інтервалі $(0,5; 1)$;
- визначаємо кореляційний коефіцієнт Z для залежності показників i від k :

$$Z_{P^{(W)} \text{ залежність між маршрутом } i \text{ та } k} = \frac{\sum_{W=1}^W y_W * P(W)}{W} \quad (9)$$

де $y_W = \begin{cases} 1 & \text{якщо } P(W) \text{ визначено для сценарію } w \\ 0 & \text{у всіх інших випадках} \end{cases}$

3. На третьому етапі визначаємо конкуруючі маршрути транспортної мережі. До конкуруючих маршрутів відносяться ті маршрути транспортної мережі, що належать відріzkу $-1 \leq P^{(W)} \leq -0,5$, тобто мають суттєвий негативний вплив на розподіл транспортних потоків між ними. Розроблений алгоритм виявлення конкуруючих маршрутів зображено на рис. 1.

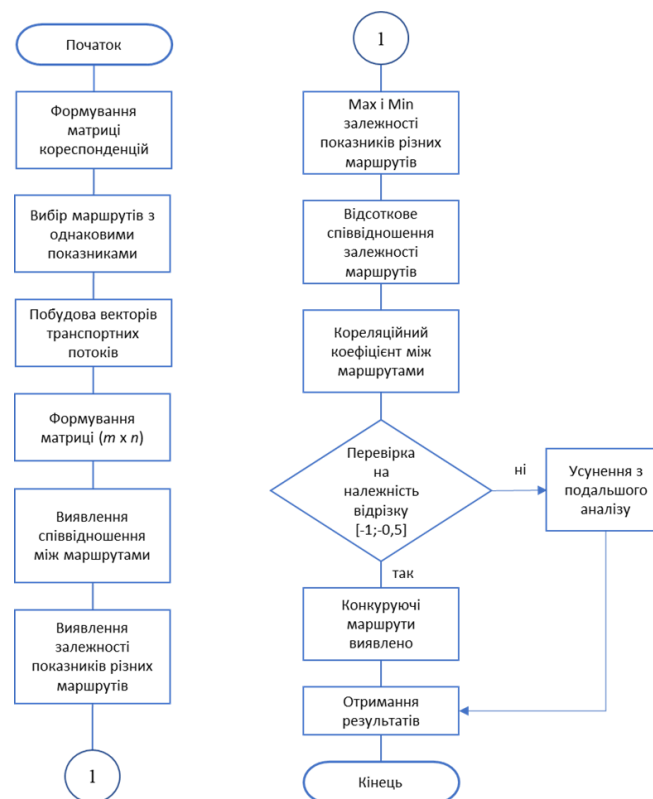


Рис. 1 – Алгоритм виявлення конкуруючих маршрутів

Базовими елементами алгоритму виявлення конкурентних маршрутів є: модель розподілу інтервалів між ТЗ; модель руху ТЗ на вуличній мережі; модель управління світлофорною сигналізацією; модель взаємодії з системою УДР при постійному визначенні розташування ТЗ на вуличній мережі. Формалізація всіх елементів моделювання має відбуватися в такий спосіб, щоб у комплексі ці моделі могли вирішувати завдання УДР з урахуванням БДР.

Для опису процесів, що відбуваються в транспортному коридорі, найважливіше значення має вірогідність опису розподілу інтервалів між ТЗ, що входять до мережі. Типовим розподілом, що застосовується для цих цілей, є експонентний розподіл.

Відомо, що на розподіл інтервалів між ТЗ впливають такі фактори, як інтенсивність руху ТЗ та наявність світлофорних об'єктів. При моделюванні для обліку цих факторів застосовується тип розподілу, що враховує частку пов'язаних і вільних ТЗ у потоці та фактор не випадковості розподілу інтервалів між ТЗ.

Цими властивостями володіє закон розподілу [25]. Щільність ймовірності закону розподілу інтервалів між ТЗ має наступний вигляд:

$$f(h \geq t) = a_1 e^{-\frac{t-\delta_1}{\gamma_1-\delta_1}} + a_2 e^{-\frac{K(t-\delta_2)}{\gamma_2-\delta_2}} \sum_{x=0}^{K-1} K \frac{(t-\delta_2)^x}{x}, \quad (10)$$

$$K = \frac{t_{cp}^2}{\sigma_t^2}, \quad (11.)$$

де t – поточний інтервал між ТЗ; t_{cp} – середній інтервал між ТЗ; σ_t^2 – дисперсія інтервалів; σ_1 – мінімальний інтервал між ТЗ, що вільно рухаються; γ_1 – середній інтервал між ТЗ, що вільно рухаються; σ_2 – мінімальний інтервал між пов'язаними ТЗ; γ_2 – середній інтервал між пов'язаними ТЗ; a_1 – частка ТЗ, що вільно рухаються в транспортному потоці; a_2 – частка пов'язаних ТЗ у транспортному потоці; K – коефіцієнт не випадковості.

Зміна форми цього розподілу забезпечується не лише внаслідок параметрів, що враховують особливості розподілу інтервалів для вільно рухомих та пов'язаних ТЗ. На властивості цього розподілу особливий вплив має коефіцієнт не випадковості K . Для невеликої інтенсивності руху K дорівнює одиниці, що означає зміну інтервалів як випадковий процес. Значення $K = 1$ зберігається за наявності в потоці щонайменше 65 % ТЗ, що вільно рухаються. При збільшенні інтенсивності руху ТЗ та впливу інших негативних факторів значення K зростає.

Висновки.

Досвід використання ІТС доводить, що ІТС виконують широкий спектр завдань щодо підвищення ефективності УДР транспортної системи. Зокрема, моделювання УДР міста та виявлення конкурентних маршрутів за допомогою ІТС.

Модель для розрахунку режимів руху ТЗ повинна відповідати тим вимогам, які необхідні для вирішення завдання моделювання УДР міста та виявлення конкурентних маршрутів за допомогою ІТС. Для цих умов характерні значні коливання режимів руху ТЗ, зупинки на регульованих перетинах і в заторах, зміна смуги та траєкторії руху, що значно впливає на алгоритм знаходження конкурентного маршруту в транспортному коридорі.

Список літератури:

1. Закону України «Про дорожній рух» від 30.06.1993 р. № 3353-ХІІ;
2. Про Правила дорожнього руху. Постанова Кабінету Міністрів України від 10 жовтня 2001 р. № 1306 м. Київ (із змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ)
3. Про схвалення Стратегії підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2024 року. Розпорядження КМУ від 21 жовтня 2020 р. № 1360-р.
4. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року [Електронний ресурс] : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р., № 430-р.
5. Абрамова Л. С. Елементи теорії штучного інтелекту в управлінні дорожнім рухом. *Вісник ХНАДУ*. 2013. Вип. 61 – 62. С. 32 – 36.
6. Бакуліч О. О., Дзюба О. П., Єресов В. І. та ін. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник. За заг. ред. В.П. Поліщука. Київ: Знання України, 2012. 467 с.
7. Н. О. Біліченко С. В. Цимбал Я. Ю. Крупський. Світовий досвід розвитку інтелектуальних транспортних систем, Вінницький національний технічний університет, 2009.
8. Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін. Системологія на транспорті. Підручник: у 5 кн. Під заг. ред. Дмитриченка М. Ф. Кн. 4: Організація дорожнього руху. Київ: Знання України, 2012. 452 с.
9. Горяїнов О. М. Стандарти ISO в сфері інтелектуальних транспортних систем (технічний комітет iso/tc 204) Міжнародна конференція: Інтелектуальні технології управління транспортними процесами, 17 – 18 листопада 2020 : Харків: ХНАДУ, 2020 р. <https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/handle/123456789/3387>
10. Горбачов П. Ф., Макарічев О. В., Шевченко. В. В. Оцінка затримок руху на регульованих перехрестях міських вулиць із трифазним циклом регулювання. *Автомобільний транспорт*. Збірник науков. праць 2019. № 44. С. 30 – 39.

11. Давідич Ю. О. Проектування автотранспортних технологічних процесів з урахуванням психофізіології водіїв. Харків: ХНАДУ, 2006. 292 с.
12. Дорогою до розвитку інтелектуальних транспортних систем. URL: <https://repositorio-aberto.up.pt/bITScream/10216/217/2/25531.pdf>
13. Інтелектуальні транспортні системи в Україні / А. Р. Гайков, О. П. Євсєєва, О. В. Баранов, В. Ю. Баранов. *Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»* : зб. наук. пр. Темат. вип. : Автомобіле- та тракторобудування. Харків : НТУ «ХПІ». 2014. № 9 (1052). С. 106-112.
14. Інтелектуальна транспортна система Сполучених Штатів Америки URL: <http://www.itsa.org>
15. Кашканов, В. А. Інформаційні системи і технології на автомобільному транспорті: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2020. 104 с.
16. Лобашов О. О. Розумний транспорт і логістика для міст : навчальний посібник. Житомир : «Житомирська політехніка», 2021. 612 с.
17. Мигаль В. Д. Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів: монографія. Х.: Майдан, 2018. 262 с.
18. Нагорний Є. В., Абрамова Л. С. Концептуальний підхід до проектування систем управління дорожнім рухом. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. 2017. Вип. 12. С. 94 – 100.
19. Поліщук В. П. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник / за заг. ред. В. П. Поліщука; О. О. Бакуліч, О. П. Дзюба, В. І. Єресов та ін. К.: Знання України, 2011. 467 с
20. Степанов О. В. Безпека автотранспорту в транспортному процесі [моногр.] / О. В. Степанов. 2-ге вид., доп. Харків : Вид-во «Раритети України», 2018. 728 с.
21. Степанов О. В. Концепція безпеки автомобільних транспортних засобів у транспортному процесі з урахуванням закономірностей впливу фактора людини : дис. д-ра техн.наук : 05.22.01. Харків, 2019. 477 с.
22. Четверухин Б. М., Єресов В. І. Спектрально-кореляційна теорія транспортних потоків. *Автомобільні дороги та дорожнє будівництво*. 1983. № 33. С. 29 – 35.
23. URL: <http://www.its.dot.gov/>
24. ITC Strategy in Japan. Report of the ITC Strategy Committee ITC Japan. Summary version. ITC Strategy Committee, 2003.
25. ITS Japan organization.
26. URL: http://www.its-jp.org/english/what_its_e/its-japan-organization.
27. ITS Standardization Activities of ISO/TC 204 (2019) URL: https://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/8846111/8847151/8847160/ITS_Standardization_Activities_of_ISO_TC_204.pdf?nodeid=1996416_9&vernum
28. Gerlough D., Hueber M. Traffic flow theory – A Monograph. Transportation Research Board. Special Report 165, Washington D. C 220 p.

References (transliterated):

1. Zakonu Ukrainy «Pro dorozhnii rukh» vid 30.06.1993 r. № 3353-XII;
2. Pro Pravyla dorozhnoho rukhu. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 10 zhovtnia 2001 r. № 1306 m. Kyiv (iz zminamy, vnesenymy zghidno z Postanovamy KM)
3. Pro skhvalennia Stratehii pidvyshchennia rivnia bezpeky dorozhnoho rukhu v Ukraini na period do 2024 roku. Rozporiadzhennia KMU vid 21 zhovtnia 2020 r. № 1360-r.
4. Pro skhvalennia Natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku [Elektronnyi resurs] : Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30 travnia 2018 r., № 430-r.
5. Abramova L. S. Elementy teorii shtuchnoho intelektu v upravlinni dorozhnim rukhom. *Visnyk KhNADU*. 2013. Vyp. 61 – 62. S. 32 – 36.
6. Bakulich O. O., Dziuba O. P., Yeresov V. I. ta in. Orhanizatsiia ta rehuliuвання dorozhnoho rukhu: pidruchnyk. Za zah. red. V.P. Polishchuka. Kyev: Znannia Ukrainy, 2012. 467 s.
7. N. O. Bilichenko S. V. Tsymbal Ya. Yu. Krupskiy. Svitoviy dosvid rozvytku intelektualnykh transportnykh system, Vinnytskyi natsionalnyi tekhnichniy universytet, 2009.
8. Havrylov E. V., Dmytrychenko M. F., Dolia V. K. ta in. Systemolohiia na transporti. Pidruchnyk: u 5 kn. Pid zah. red. Dmytrychenka M. F. Kn. 4: Orhanizatsiia dorozhnoho rukhu. Kyiv: Znannia Ukrainy, 2012. 452 s.
9. Horiainov O. M. Standarty ISO v sferi intelektualnykh transportnykh system (tekhnichniy komitet iso/tc 204) Mizhnarodna konferentsiia: Intelektualni tekhnolohii upravlinnia transportnymy protsesamy, 17 – 18 lystopada 2020 : Kharkov: KhNADU, 2020 r. <https://dSPACE.khadi.kharkov.ua/dSPACE/handle/123456789/3387>
10. Horbachov P. F., Makarichev O. V., Shevchenko. V. V. Otsinka zatrymok rukhu na rehulovanykh perekhrestyakh miskykh vulyts iz tryfaznym tsyklom rehuliuвання. *Avtomobilnyi transport. Zbirnyk naukov. prats* 2019. № 44. S. 30 – 39.
11. Davidich Yu. O. Proektuvannia avtotransportnykh tekhnolohichnykh protsesiv z urakhuvanniam psykhoфизиології водіїв. Kharkiv: KhNADU, 2006. 292 s.
12. Dorohoiu do rozvytku intelektualnykh transportnykh system. URL: <https://repositorio-aberto.up.pt/bITScream/10216/217/2/25531.pdf>

13. Intelektualni transportni systemy v Ukraini / A. R. Haikov, O. P. Yevsieieva, O. V. Baranov, V. Yu. Baranov. Visnyk Nats. tekhn. un-tu «KhPI» : zb. nauk. pr. Temat. vyp. : Avtomobile- ta traktorobuduvannia. Kharkiv : NTU «KhPI», 2014. № 9 (1052). S. 106-112.
14. Intelektualna transportna systema Spoluchenykh Shtativ Ameryky URL: <http://www.itsa.org>
15. Kashkanov, V. A. Informatsiini systemy i tekhnolohii na avtomobilnomu transporti: navchalnyi posibnyk. Vinnytsia : VNTU, 2020. 104 s.
16. Lobashov O. O. Rozumnyi transport i lohystyka dlia mist : navchalnyi posibnyk. Zhytomyr : «Zhytomyrska politekhnika», 2021. 612 s.
17. Myhal V. D. Intelektualni systemy v tekhnichnii ekspluatatsii avtomobiliv: monohrafiia. Kh.: Maidan, 2018. 262 s.
18. Nahorni Ye. V., Abramova L. S. Kontseptualnyi pidkhid do proektuvannia system upravlinnia dorozhnim rukhom. Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohii. 2017. Vyp. 12. S. 94 – 100.
19. Polishchuk V. P. Orhanizatsiia ta rehuliuвання dorozhnoho rukhu: pidruchnyk / za zah. red. V. P. Polishchuka; O. O. Bakulich, O. P. Dziuba, V. I. Yeresov ta in. K.: Znannia Ukrainy, 2011. 467 s
20. Stepanov O. V. Bezpeka avtotransportu v transportnomu protsesi [monohr.] / O. V. Stepanov. 2-he vyd., dop. Kharkiv : Vyd-vo «Rarytety Ukrainy», 2018. 728 s.
21. Stepanov O. V. Kontseptsiiia bezpeky avtomobilnykh transportnykh zasobiv u transportnomu protsesi z urakhuvanniam zakonomirnostei vplyvu faktora liudyny : dys. d-ra tekhn.nauk : 05.22.01. Kharkiv, 2019. 477 s.
22. Chetverukhyn B. M., Yeresov V. I. Spektralno-koreliatsiina teoriia transportnykh potokiv. Avtomobilni dorohy ta dorozhnie budivnytstvo. 1983. № 33. S. 29 – 35.
23. URL: <http://www.its.dot.gov/>
24. ITS Strategy in Japan. Report of the ITS Strategy Committee ITS Japan. Summary version. ITS Strategy Committee, 2003.
25. ITS Japan organization.
26. URL: http://www.its-jp.org/english/what_its_e/its-japan-organization.
27. ITS Standardization Activities of ISO/TC 204 (2019) URL: https://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/8846111/8847151/8847160/ITS_Standardization_Activities_of_ISO_TC_204.pdf?nodeid=1996416_9&vernum
28. Gerlough D., Hueber M. Traffic flow theory – A Monograph. Transportation Research Board. Special Report 165, Washington D. S 220 p.

Надійшла (received) 18.12.2023 р.

Відомості про авторів / About the Authors

Венгер Альбіна Сергіївна (Venger Albina) – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, аспірантка каф. організації та безпеки дорожнього руху, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9285-4801>; e-mail: venger91@ukr.net