

DOI: 10.32347/2412-9933.2026.65.156-162

УДК 004.8:656.1:519.8

Горда Олена ВолодимирівнаORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7380-0533>*Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна*

Кандидатка технічних наук, доцентка, доцентка кафедри інформаційних технологій

Рябчун Юлія ВолодимирівнаORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8320-4038>*Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна*

Докторка філософії, доцентка кафедри інформаційних технологій

Саченко Ілля АнатолійовичORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3716-0249>*Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна*

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій

Історія статті:

Надійшла: 28.01.2026

Прийнята: 25.02.2026

Опублікована: 26.03.2026

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ПРОСТІР ЛОГІСТИЧНИХ ЗАДАЧ МІСЬКОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ БАГАТОВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ ТА ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ

Анотація. Зростання обсягів транспортних потоків у сучасних містах, ускладнення структури міських транспортних мереж та підвищені вимоги до ефективності логістичних процесів зумовлюють необхідність розробки нових підходів до моделювання й оптимізації задач доставки. Традиційні методи аналізу транспортних систем виявляються недостатньо ефективними в умовах високої розмірності даних, динамічності мережі та наявності великої кількості взаємопов'язаних обмежень. Досліджено підхід до формування простору логістичних задач міської транспортної мережі на основі індексації, класифікації та використання методів інтелектуального аналізу даних і глибинного навчання. Запропоновано формалізацію транспортної мережі міста у вигляді багатокомпонентної динамічної системи, що включає вузли, ланки, маршрути та суб'єкти транспортних послуг. Виконано індексацію логістичних задач із урахуванням типів вантажів, часових характеристик, структури попиту та стану транспортної інфраструктури. Показано можливість класифікації та кластеризації задач на основі концептуальних графів і методів еволюційних обчислень. Сформульовано систему критеріїв оптимізації з позицій замовника та перевізника, що дозволяє зменшити транспортні витрати, час доставки та навантаження на міську мережу. Отримані результати створюють передумови для використання методів глибинного навчання з метою інтелектуального керування транспортними потоками на різних наборах даних. Запропонований підхід дозволяє розглядати сукупність логістичних задач міської транспортної мережі як елемент інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень. Зменшення розмірності задач досягається за рахунок районування мережі, спеціалізації транспортних засобів і формалізації типових сценаріїв доставки. Отримані результати можуть бути використані для побудови адаптивних моделей оптимізації маршрутів та прогнозування транспортних процесів у складних міських системах.

Ключові слова: міська транспортна мережа; логістичні задачі; оптимізація маршрутів; інтелектуальні системи; глибинне навчання; математичне моделювання

Вступ

Складність і рівень вирішення нагальної транспортної проблеми залежить від адміністративного значення міста, географічного положення, рельєфу, ґрунтового-геологічних умов. Саме тому в сучасному містобудуванні сформувався

новий напрям у розробленні та оцінці транспортних якостей усього планування міста, який охоплює комплекс транспортних, будівельних і природоохоронних заходів.

Проблема організації вантажних перевезень у містах неминуче загострюється в міру зростання міста, розвитку його промисловості, збільшення

чисельності населення, вузьких вулиць та селітебних зон. Місто й окремі його зони формуються тривалий час, і протягом довгого періоду основні транспортні кореспонденції у них залишаються незмінними.

Мета дослідження

Мета роботи полягає у прив'язці умов міської транспортної мережі до систем багатовимірних транспортних задач з використанням можливості глибокого навчання керуванню потоками на різних датасетах.

Аналіз основних досліджень і публікацій

Питання організації та оптимізації вантажних перевезень у межах міських транспортних мереж уже тривалий час перебувають у центрі уваги науковців і практиків. У більшості досліджень міська логістика розглядається як складна система, що включає велику кількість учасників, різні види транспорту, обмежену пропускну здатність вулично-дорожньої мережі та постійно змінні умови руху. Саме ця складність зумовлює необхідність використання формалізованих моделей для аналізу й оптимізації транспортних процесів [1 – 3].

Значна частина наукових праць присвячена задачам вибору маршрутів доставки в умовах міста. У таких роботах досліджуються варіанти мінімізації відстані, часу перевезення або вартості доставки з урахуванням обмежень на пропускну здатність вулиць, часових вікон, інтенсивності транспортних потоків і нерівномірності попиту. Окрему увагу приділяють задачам, у яких параметри транспортної мережі змінюються з часом або мають випадковий характер, що суттєво ускладнює процес планування перевезень [4 – 6].

У сучасних дослідженнях також зростає інтерес до екологічних аспектів міських вантажних перевезень. Це проявляється у включенні до моделей критеріїв, пов'язаних зі зменшенням пробігу, зниженням витрат пального та скороченням негативного впливу транспорту на міське середовище [7]. Такі підходи дозволяють поєднувати економічну ефективність перевезень із вимогами сталого розвитку міста.

Разом із тим більшість наявних робіт орієнтовані на розв'язання окремих прикладних задач – зокрема маршрутизації, розподілу транспортних засобів або вибору перевізника. При цьому значно менше уваги приділяється системному опису всієї сукупності логістичних задач, які виникають у міській транспортній мережі, та їх взаємозв'язкам між собою.

У низці досліджень транспортні мережі подаються у вигляді графів, де вершини відповідають пунктам відправлення, отримання та

розв'язкам, а ребра – окремим ділянкам шляху. Такий підхід є зручним для формалізації структури мережі та подальшого аналізу маршрутів. На основі графових моделей застосовуються методи кластеризації та групування задач, що дозволяє виділяти типові сценарії перевезень і зменшувати складність задач оптимізації [8].

Окрему групу становлять роботи, у яких для аналізу транспортних задач використовуються еволюційні методи та генетичні алгоритми. Ці підходи добре зарекомендували себе у випадках, коли класичні аналітичні методи є малоефективними через велику кількість обмежень і параметрів. Використання таких методів дозволяє знаходити прийнятні рішення за обмежений час навіть для задач великої розмірності.

Таким чином, аналіз наукових публікацій показує, що існує потреба у підходах, які дозволяють не лише розв'язувати окремі логістичні задачі, а й формувати узагальнений простір задач міської транспортної мережі. Це створює передумови для їх класифікації, індексації та подальшого використання методів інтелектуального аналізу даних і глибокого навчання, що й визначає напрям дослідження, запропонований у даній роботі.

Постановка задачі

Дослідити та здійснити індексацію логістичних задач транспортної мережі міста з метою побудови математичних моделей, які можна представити як елемент інтелектуальної системи. Під індексацією задач будемо розуміти визначення сукупності ознак і характеристик задач, що дозволяє:

- класифікацію задач у рамках транспортної мережі;
- облік задач у рамках класифікації завдань транспортної мережі;
- побудову метрик на сукупності завдань транспортної мережі;
- кластеризацію на сукупності задач в рамках транспортної мережі;
- побудову динамічних рядів на сукупності задач транспортної мережі;
- визначення трендів на сукупності задач транспортної мережі з метою прогнозування;
- визначення ізоморфізму сукупності індексів задач і сукупності задач транспортної мережі.

Методи дослідження

Для розв'язання поставлених задач пропонується використання концептуальних графів, що дозволяє подати логістичні задачі у вигляді структурованих об'єктів. Це, у свою чергу, зводить проблему до ієрархічної кластеризації, де об'єктами групування виступають графові структури.

Для реалізації глобальної кластеризації з урахуванням специфіки таких об'єктів застосовується підхід, оснований на методах еволюційних обчислень. Зокрема, використовуються генетичні алгоритми, які забезпечують ефективне групування концептуальних графів за умов високої розмірності та складності структури задач.

Результати дослідження

Для ефективного функціонування міських транспортно-логістичних систем необхідно розв'язати дві ключові задачі: по-перше, визначити економічно та екологічно доцільну локалізацію вантажних перевезень у межах вулично-дорожньої мережі міста; по-друге, мінімізувати негативний вплив сумісного руху вантажного транспорту та інших видів міського транспорту.

Розміщення вантажоутворювальних і вантажоприймальних об'єктів має забезпечувати можливість перевезення вантажів за найкоротшими маршрутами з урахуванням просторових та функціональних обмежень міського середовища. Характерною особливістю планувальної структури міст є відокремлення житлових територій від промислових і складських зон за допомогою санітарно-захисних зон, лісопаркових масивів і водних просторів, що істотно впливає на формування маршрутів вантажних перевезень.

На практиці для організації руху вантажного транспорту в більшості міст використовуються магістральні вулиці, які виконують функцію основних транспортних коридорів. Тип вантажних магістралей визначається їх функціональним призначенням і місцем у загальній системі міських вулиць і доріг. Залежно від цього розрізняють спеціалізовані вантажні магістралі, ізольовані від житлової забудови, швидкісні міські дороги, а також магістральні вулиці з переважанням вантажного руху.

На проїжджій частині вулично-дорожньої мережі передбачаються смуги руху для переважно легкового та вантажного транспорту, а за необхідності – і для громадського транспорту. Кількість смуг для кожного виду транспортних засобів визначається з урахуванням прогнозованої інтенсивності руху та допустимого рівня завантаження транспортної інфраструктури.

Транспортна мережа міста має динамічний характер і включає такі основні підсистеми: залізничну, водну, повітряну та дорожню транспортну інфраструктуру. У межах кожної транспортної підсистеми виділяються вузли транспортної мережі, до яких належать перехрестя, транспортні розв'язки, а також точки перетинання, примикання та розгалуження транспортних потоків.

Транспортна розв'язка являє собою комплекс інженерних споруд (мостів, шляхопроводів, тунелів і

з'їздів), призначених для мінімізації конфліктних перетинів транспортних потоків та підвищення пропускної спроможності дорожньої мережі. У міських умовах застосовуються як світлофорні розв'язки (у тому числі зі спеціальними смугами для розвороту та лівого повороту), так і безсвітлофорні схеми організації руху.

До основних типів безсвітлофорних транспортних розв'язок для перетину двох магістралей належать: клевероподібні («конюшина»), накопичувальні та клевероподібні накопичувальні, турбінні, гвинтові, кільцеві з виділеними прямими напрямками, багаторівневі кільцеві розв'язки з розділенням потоків по рівнях (у тому числі типу «Кельтський хрест»), ромбоподібні, трубоподібні, Т-подібні, Y-подібні, напівклеверні, дворівневі розв'язки з непрямыми лівими поворотами, а також турбінно-кільцеві комбіновані схеми.

Ланкою транспортної мережі в межах кожної підсистеми вважається відрізок шляху між двома суміжними вузлами. Вузли транспортної мережі міста за функціональним призначенням щодо вантажопотоків поділяються на вузли кінцевої доставки, транзитні вузли та вузли приймання вантажів. Перехідним вузлом є елемент, спільний для кількох транспортних підсистем міста.

Маршрут транспортування визначається як послідовність суміжних ланок транспортної мережі між вузлом відправлення вантажу та вузлом його отримання. Вантажний транспорт у межах міської транспортної мережі охоплює залізничний рухомий склад (включаючи вантажні трамваї), вантажну авіацію та безпілотні літальні апарати, вантажні водні судна та автомобільний вантажний транспорт. Для кожного виду транспорту формується власна транспортна підмережа з характерними параметрами та обмеженнями.

Суб'єкти транспортної мережі міста представлені сукупністю організацій і операторів, що здійснюють вантажні перевезення. Ці суб'єкти відрізняються структурою автопарку, кількістю транспортних засобів, їх спеціалізацією та режимами експлуатації, що змінюються в часі та зумовлюють варіативність тарифів на перевезення. У межах транспортної мережі міста транспортні суб'єкти виконують комплекс операцій з вантажами, зокрема завантаження, розвантаження, перевалку, переадресацію, транспортування (періодичне, неперіодичне, за попереднім замовленням або випадкове), доставку, визначення умов перевезення, а також багатопродуктову доставку різнорідних вантажів заданої номенклатури в умовах міського середовища.

У транспортній мережі міста відправники та одержувачі вантажів не поділяються на окремі

категорії пунктів відправлення та пунктів споживання. Усі вузли мережі розглядаються як рівноправні елементи, функціональна роль яких визначається величиною вантажного балансу. При цьому виробництво вантажу задається додатним значенням, тоді як споживання – від’ємним.

Окрему групу становлять вузли розв’язання, у яких здійснюється зміна напрямків маршрутів руху вантажних потоків. Такі вузли не пов’язані безпосередньо з виробництвом або споживанням вантажу і характеризуються нульовим значенням вантажного балансу. У межах формалізованої моделі транспортної мережі ці вузли відіграють роль транзитних елементів, що забезпечують структурну зв’язність і маршрутизацію вантажних потоків.

Для формалізованого опису транспортної мережі міста вводиться система розмітки вузлів і ланок.

Нехай $\{n_i\}_{i=1, \overline{N}}$ – вузли транспортної мережі міста. Стан кожного вузла n_i визначається вектором $S(n_i): (m_1^i \cdot \text{sign } m_1^i, \dots, m_j^i \cdot \text{sign } m_j^i)$ – стан i -го вузла транспортної мережі, де m_j^i характеризує обсяг j -го виду вантажу у вузлі n_i , а функція $\text{sign}(m_j^i)$ задає роль вузла щодо відповідного вантажу.

Функція $\text{sign}(m_j^i)$ набуває таких значень:

$$\text{sign } m_j^i = \begin{cases} 1, & \text{вантаж отримати,} \\ -1, & \text{вантаж відправити,} \\ 0, & \text{вантаж не потрібен.} \end{cases}$$

Розмітка ланок транспортної мережі міста здійснюється в межах окремих транспортних компонент. Нехай $L^u(n_i, n_j)$ позначає u -ту ланку транспортної мережі між вузлами n_i та n_j , яка відповідає певному виду транспорту або транспортній підсистемі міста.

Дузії графа відповідають ланки транспортної інфраструктури міста, які з’єднують відправників, одержувачів і транспортні розв’язки у межах міської транспортної мережі та відображають відрізки шляхів сполучення між відповідними вузлами.

Стан кожної ланки транспортної мережі $L^u(n_i, n_j)$ відображається у вигляді набору параметрів

$$S(L^u(n_i, n_j)) \rightarrow Pl(n_i, n_j, u) \stackrel{\text{def}}{=} (pl^1(n_i, n_j, u), pl^2(n_i, n_j, u), \dots, pl^p(n_i, n_j, u)),$$

де $S(L^u(n_i, n_j))$ характеризує поточний стан ланки, а $Pl(n_i, n_j, u)$ – вектор параметрів, що відповідають цій ланці та описують її транспортні, технічні й експлуатаційні характеристики.

Математичне моделювання міської транспортної мережі належить до класу складних задач, розв’язання яких не може бути забезпечене

використанням однієї універсальної моделі. Висока розмірність системи, багатокритеріальність, динамічність параметрів і різномірність транспортних компонент зумовлюють доцільність застосування сукупності взаємопов’язаних математичних моделей. Тому ефективне дослідження міської транспортної мережі передбачає розроблення комплексу моделей та методології їх послідовного використання, адаптації й удосконалення залежно від поставлених задач аналізу та оптимізації.

Нехай $\{d_i\}_{i=1, \overline{D}}$ – скінченна множина транспортних засобів, що використовуються для перевезення вантажів у межах міської транспортної мережі. Кожний транспортний засіб d_i характеризується вектором параметрів

$$d_i \rightarrow (d_1^i, \dots, d_R^i),$$

де R – кількість характеристик перевізника, які визначають можливість транспортування різних типів вантажів (вантажопідйомність, спеціалізація, екологічні обмеження тощо).

Для кожного вузла транспортної мережі n_i задається вектор

$$n_i \rightarrow (m_1^i, \dots, m_j^i),$$

де $J < \infty$ – кількість типів вантажів, що обробляються у відповідному вузлі.

Маршрут доставки в умовах міської транспортної мережі визначається як впорядкована за послідовністю проходження сукупність ланок транспортної інфраструктури, що з’єднують відправників, одержувачів і транспортні розв’язки. Формально маршрут доставки між вузлами n_i та n_j задається як

$$\begin{aligned} Road(n_i, n_j) &\stackrel{\text{def}}{=} \\ &\stackrel{\text{def}}{=} \exists \left((n_i, L^u(n_i, n_{i1})) \wedge \dots \wedge (n_i, L^u(n_k, n_j)) \right). \end{aligned}$$

Транспортна мережа вважається зв’язаною, якщо для будь-якої пари вузлів n_i та n_j існує маршрут доставки:

$$\forall n_i, n_j \exists Road(n_i, n_j).$$

Стан транспортної мережі міста у момент часу t визначається як

$$S_{Road}(t) \stackrel{\text{def}}{=} \left\{ \begin{aligned} &\{n_i\}_{i=1, \overline{N}} \cup S(n_i) \cup L^u(n_i, n_j) \cup S(L^u(n_i, n_j)), \\ &\{d_k\}_{k=1, \overline{D}} \cup Ind(d_k \in n_i) \cup Ind(d_k \in S(L^u(n_i, n_j))), t \end{aligned} \right\}$$

де враховуються структура мережі, стани її вузлів і ланок, розміщення транспортних засобів, а також часовий параметр.

Нехай $task_S(t)$ – множина завдань на перевезення вантажів у момент часу t . Тоді завантаженість транспортної мережі міста у момент часу t визначається як

$$Tasr(S_{Road}(t)) \cup task_S(t),$$

де для кожного стану мережі S визначається відповідна множина допустимих маршрутів $Road_S$.

Таким чином, математична модель міської транспортної мережі для оптимізації маршрутів доставки вважається сформованою за умови виконання таких вимог:

- визначені вузли відправлення та отримання вантажів;
- встановлені ланки приєднання цих вузлів до міської транспортної мережі;
- задані типи та характеристики вантажів;
- визначені суб'єкти, що здійснюють транспортні послуги;
- зафіксований стан міської транспортної мережі на момент виконання перевезень.

У межах міської транспортної мережі виділяється низка типових транспортних задач. До них належать однопродуктові та багатопродуктові транспортні задачі, регулярні у часі задачі перевезення, задачі з випадковою часовою структурою, а також транспортні процеси, окремі етапи яких рознесені в часі. Окрему групу становлять задачі вибору суб'єкта здійснення транспортних послуг. Для багатопродуктових задач додатково враховується сумісність або несумісність вантажів щодо спільного транспортування.

Оптимізація маршрутів доставки в умовах міської транспортної мережі традиційно спрямована на розв'язання таких завдань: знаходження оптимальних шляхів доставки за довжиною маршруту; оптимальне управління транспортними потоками; оптимальне управління транспортними засобами, зокрема їх перенаправлення; мінімізація часу доставки вантажів.

Нехай A – пункт відправлення вантажу, B – пункт отримання, t – час здійснення маршруту $A \rightarrow B$ (або $\{A\} \rightarrow \{B\}$), ΔT – квант часу (наприклад, доба), L – довжина маршруту, $Price$ – вартість виконання маршруту, $TRANSPORT_COSTS$ – транспортні витрати перевізника, $mileage\ cost/total\ revenue$ – відношення витрат на пробіг до загального доходу, $Task$ – множина заявок на перевезення у момент часу t .

З точки зору замовника транспортної послуги задачі оптимізації формулюються як мінімізація часу доставки, мінімізація довжини маршруту та мінімізація вартості перевезення за маршрутом $A \rightarrow B$:

1. $\min t \quad A \rightarrow B \quad \{A\} \rightarrow \{B\}$.
2. $\min L \quad A \rightarrow B \quad \{A\} \rightarrow \{B\}$.
3. $\min Price \quad A \rightarrow B \quad \{A\} \rightarrow \{B\}$.

З точки зору суб'єкта здійснення транспортних послуг оптимізаційні задачі включають мінімізацію транспортних витрат, мінімізацію відношення витрат

на пробіг до загального доходу, а також максимізацію кількості виконаних заявок на перевезення за заданий проміжок часу ΔT :

1. $\min TRANSPORT\ COSTS$
 $A \rightarrow B \quad \{A\} \rightarrow \{B\}$.
2. $\min \{mileage\ cost/total\ revenue\}$
 $A \rightarrow B \quad \{A\} \rightarrow \{B\}$.
3. $\max |\{Task\}|$ на ΔT .

Функціонування транспортної мережі міста відбувається за наявності низки обмежень, до яких належать пропускна здатність вузлів і ланок транспортної мережі, час проходження вузлів і ланок, інтенсивність транспортних потоків, структура та обсяг попиту на транспортні послуги, а також рівень транспортних тарифів на перевезення.

Висновки

У роботі досліджено та виконано індексацію логістичних задач міської транспортної мережі з метою формування математичних моделей, які можуть бути використані як елементи інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень. Запропонований підхід дозволяє систематизувати сукупність транспортних задач, що виникають у міському середовищі, та створює основу для їх подальшого аналізу й оптимізації.

Результати дослідження отримано за таких припущень: у межах часового інтервалу ΔT дорожня транспортна інфраструктура міста вважається незмінною; усі замовлення на перевезення ініціюються та завершуються в межах початкового моменту інтервалу ΔT ; час подачі транспортних засобів до пунктів відправлення вантажів не враховується.

Аналіз отриманих результатів показує, що зменшення розмірності задачі оптимізації маршрутів доставки в умовах міської транспортної мережі досягається за рахунок районування мережі на підмережі, спеціалізації транспортних засобів, зведення окремих постановок до задач комплектації з мінімізацією порожнього пробігу, а також фіксації всіх заявок на перевезення до початку відліку інтервалу ΔT .

Наукова новизна роботи полягає у широкій постановці транспортної задачі в межах міської транспортної мережі з можливістю використання методів глибокого навчання для керування транспортними потоками на різних наборах даних. Запропонована модель забезпечує формалізований опис простору логістичних задач та створює підґрунтя для інтелектуальної обробки транспортних процесів.

Практичне значення полягає в можливості використання розробленого підходу як класифікатора задач оптимізації маршрутів доставки в умовах міської транспортної мережі та як базового інструмента для побудови прикладних систем підтримки прийняття рішень у сфері міської логістики.

Конфлікт інтересів. Автори підтверджують відсутність фінансових, особистих чи інших інтересів, що можуть розглядатися як потенційний конфлікт інтересів щодо публікації цієї статті.

Фінансування. Дослідження було проведено без фінансової підтримки.

Доступність даних. Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті рукопису.

Використання штучного інтелекту. Автори підтверджують, що при створенні даної роботи вони не використовували інструментальні засоби штучного інтелекту.

Список використаних джерел

1. Nilesh Ananda, Hans Quaka, Ron van Duina, Lori Tavasszy. City logistics modeling efforts: Trends and gaps - A review. *The Seventh International Conference on City Logistics. Procedia - Social and Behavioral Sciences* 39. 2012. pp. 101–115. URL: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.094>.
2. Francesco Russoa, Antonio Comi. New challenges for city logistics: a unified view of energy and transport systems for addressing sustainability. *Transportation Research Procedia* 79. 2024. pp. 313–320. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.03.042>.
3. R. Mazurenko, B. Yeremenko, V. Morozov. Development of Intelligent Traffic Control System Project. *2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), Nur-Sultan, Kazakhstan, 28–30 Apr. 2022*. Doi: 10.1109/SIST54437.2022.994575.
4. Delembovskyi M., Terenchuk S. Comprehensive Vehicle Safety Diagnostics and Management System. *Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Book Chapter*. 2023. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3_1.
5. Марченко В. М., Шутюк В. В. Логістика: підручник. Київ: Видавничий дім «Артек», 2018. 312 с.
6. Jorge Oyola, Halvard Arntzen, David L. Woodruff. The stochastic vehicle routing problem, a literature review, part I: models. *EURO Journal on Transportation and Logistics*. 2018. Vol. 7, Issue 3. Pages 193–221. URL: <https://doi.org/10.1007/s13676-016-0100-5>.
7. Reza Shahin, Maxim A. Dulebenets. From cost-centering to sustainability: A review of Pollution Routing Problems. *Cleaner Engineering and Technology*. 2025. Vol. 29. 101082. URL: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2025.101082>.
8. Istvan Jonyer, Diane J. Cook, Lawrence B. Holder. Graph-Based Hierarchical Conceptual Clustering. *Journal of Machine Learning Research* 2. 2001. pp. 19–43.
9. Гончаренко Т. А. Кластерний метод формування метаданих багатовимірних інформаційних систем для розв'язання задач генерального планування. *Управління розвитком складних систем*. 2020. № 42. С. 93–101. URL: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.42.93-101>.
10. Гончаренко Т. А. Сучасні інформаційні технології для моделювання міського середовища та розробки цифрових двійників міських об'єктів. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2022. № 51. С. 87–93. URL: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.51.87-93>.

Olena Horda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7380-0533>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technologies

Yuliia Riabchun

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8320-4038>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

PhD (Doctor of Philosophy), Associate Professor of the Department of Information Technologies

Iliia Sachenko

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3716-0249>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technologies

INTELLIGENT SPACE OF LOGISTICS PROBLEMS IN URBAN TRANSPORT NETWORKS BASED ON MULTIDIMENSIONAL MODELS AND DEEP LEARNING

Abstract. *The increasing volume of traffic flows in modern cities, the growing complexity of urban transport network structures, and higher efficiency requirements for logistics processes necessitate the development of new approaches to modeling and optimizing delivery tasks. Traditional methods of transport system analysis prove insufficiently effective under conditions of*

high data dimensionality, network dynamism, and numerous interconnected constraints. An approach to forming a logistics problem space for urban transport networks based on indexing, classification, and the use of data mining and deep learning methods is investigated. A formalization of the urban transport network is proposed as a multi-component dynamic system, including nodes, links, routes, and transport service entities. The indexing of logistics problems is performed considering cargo types, temporal characteristics, demand structure, and transport infrastructure status. The possibility of classifying and clustering problems based on conceptual graphs and evolutionary computation methods is demonstrated. A system of optimization criteria is formulated from the perspectives of both the customer and the carrier, aimed at reducing transport costs, delivery time, and urban network load. The results provide a foundation for using deep learning methods for intelligent traffic management across various datasets. The proposed approach allows considering the set of logistics problems in an urban transport network as an element of an intelligent decision support system. Dimensionality reduction is achieved through network zoning, vehicle specialization, and formalization of typical delivery scenarios. The findings can be used to build adaptive route optimization models and predict transport processes in complex urban systems.

Keywords: urban transport network; logistics problems; route optimization; intelligent systems; deep learning; mathematical modeling

References

1. Ananda, N., Quaka, H., van Duina, R., & Tavasszy, L. (2012). City logistics modeling efforts: Trends and gaps – A review. *The Seventh International Conference on City Logistics. Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 39, 101–115. URL: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.094>
2. Russoa, F., & Comi, A. (2024). New challenges for city logistics: a unified view of energy and transport systems for addressing sustainability. *Transportation Research Procedia*, 79, 313–320. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.03.042>
3. Mazurenko, R., Yeremenko, B., & Morozov, V. (2022). Development of Intelligent Traffic Control System Project. *2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*, 1–6. URL: <https://doi.org/10.1109/SIST54437.2022.994575>
4. Delembovskyi, M., & Terenchuk, S. (2023). Comprehensive Vehicle Safety Diagnostics and Management System. *Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Book Chapter*. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3_1
5. Marchenko, V. M., & Shutiuk, V. V. (2018). Logistics: textbook. Artek, 312 p. [in Ukrainian].
6. Oyola, J., Arntzen, H., & Woodruff, D. L. (2018). The stochastic vehicle routing problem, a literature review, part I: models. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 7(3), 193–221. URL: <https://doi.org/10.1007/s13676-016-0100-5>
7. Shahin, R., & Dulebenets, M. A. (2025). From cost-centering to sustainability: A review of Pollution Routing Problems. *Cleaner Engineering and Technology*, 29, 101082. URL: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2025.101082>
8. Jonyer, I., Cook, D. J., & Holder, L. B. (2001). Graph-Based Hierarchical Conceptual Clustering. *Journal of Machine Learning Research*, 2, 19–43. URL: <https://jmlr.csail.mit.edu/papers/v2/jonyer01a.html>
9. Honcharenko, T. A. (2020). Cluster method of forming metadata of multidimensional information systems for solving general planning problems. *Management of Development of Complex Systems*, (42), 93–101. URL: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.42.93-101> [in Ukrainian].
10. Honcharenko, T. A. (2022). Modern information technologies for modeling the urban environment and developing digital twins of urban objects. *Management of Development of Complex Systems*, (51), 87–93. URL: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.51.87-93> [in Ukrainian].

Посилання на публікацію

- APA Horda, O., Riabchun, Y., & Sachenko, I. (2026). Intelligent space of logistics problems in urban transport networks based on multidimensional models and deep learning. *Management of Development of Complex Systems*, 65, 156–162, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2026.65.156-162.
- ДСТУ Горда О. В., Рябчун Ю. В., Саченко І. А. Інтелектуальний простір логістичних задач міської транспортної мережі на основі багатовимірних моделей та глибинного навчання. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2026. № 65. С. 156 – 162, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2026.65.156-162.