

ПІДХІД ДО ТРАНСПОРТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ВАНТАЖНОГО АВТОТРАНСПОРТУ З УРАХУВАННЯМ ЗОВНІШНІХ (ПРИМІСЬКИХ) РАЙОНІВ ТА ТРАНЗИТНОГО КОМПОНЕНТА

¹Криворізький національний університет

Розглянуто транспортне моделювання попиту на вантажні автоперевезення у зовнішніх районах міської транспортної мережі з використанням програмного забезпечення PTV Visum. Ідентифікація зовнішніх районів базується на адміністративних межах і транспортному районуванні із застосуванням даних OpenStreetMap. Розрахунок транспортного попиту виконується для кожної системи вантажного автотранспорту з урахуванням особливостей руху у зовнішніх і міських районах.

Генерація поїздок у міських районах базується на соціально-економічних показниках та моделі вулично-дорожньої мережі. Витрати на переміщення враховують час проїзду у завантаженої мережі, відстань поїздки, опір руху (шляху) у ненавантаженої мережі. Розподіл поїздок здійснюється за допомогою гравітаційної логіт-моделі, а інтеграція матриць поїздок із зовнішніх і міських районів забезпечує комплексний розрахунок попиту. Модель враховує транзитний рух вантажного транспорту за допомогою параметра ступеня транзиту (користувачський атрибут), що впливає на розподіл кореспонденцій між районами. Перерозподіл транспортних потоків виконується за алгоритмом Bi-conjugate Френка–Вульфа з перевіркою збіжності за критерієм гіпотетичного опору транспортного засобу (GAP).

Запропонований підхід до транспортного моделювання реалізовано на прикладі міста Кривий Ріг. У моделі міста передбачено 238 транспортних районів, серед яких 14 є зовнішніми. Для зон з обмеженнями руху вантажних автомобілів проведено натурні обстеження та застосовано спеціальні атрибути для моделювання функції опору на відповідних відрізках. Транспортний попит розраховано для трьох систем вантажних автомобілів різної вантажопідйомності (FT1, FT2, FT3). Для оцінки впливу транзитного руху FT3 із зовнішніх районів розглянуто два граничні сценарії: без транзиту (ступінь транзиту = 0) та з повним транзитом (ступінь транзиту = 1).

Результати моделювання дозволили визначити найзавантаженіші ділянки вулично-дорожньої мережі м. Кривий Ріг для систем FT1 — FT3, вплив транзитного руху FT3 із зовнішніх районів на перерозподіл транспортних потоків.

Ключові слова: вантажний автотранспорт, транспортна модель міста, транспортний попит, зовнішній район, вулично-дорожня мережа, транзитний рух, PTV Visum.

Вступ

Зовнішні поїздки вантажних автомобілів продовжують відігравати важливу роль у міських та регіональних моделях прогнозування попиту на вантажні перевезення, залишаючись невід’ємним елементом транспортного моделювання [1]. У рамках класичної чотирикрової моделі попиту [2] на першому етапі генерації поїздок для основних (міських, регіональних) транспортних районів враховуються такі дані соціально-економічної статистики районів: кількість робочих місць за видами економічної активності, кількість населення працездатного віку та інші дані. Проте для зовнішніх поїздок, які генеруються за допомогою економічних зв’язків, що виникають поза межами основних транспортних районів, необхідно враховувати вхідні та вихідні потоки вантажного транспорту та можливості транзитного руху. У зв’язку з цим, виникає потреба розвитку методів моделювання попиту на вантажні перевезення, які утворюються та притягуються зовнішніми (кордонними) районами та перерозподіляються між ними (транзитний рух) та основними районами моделі.

Вирішальне значення також відіграє просторове визначення зовнішніх районів. Спосіб терито-

ріального поділу та класифікації області дослідження системи вантажного автотранспорту має суттєвий вплив на результати перерозподілу поїздок по транспортній мережі [3], [4], коли просторові одиниці можуть бути модифіковані теоретично нескінченною кількістю способів за формою, орієнтацією та розміром, що призводить до варіативності у втраті інформації при агрегації [4]. Різне визначення меж транспортних районів змінює такі параметри як площа промислової зони, щільність підприємств, відстань до магістральних доріг, особливості локалізації транспортно-логістичних об'єктів [5], що є факторами генерації потоків вантажного автотранспорту. Спосіб групування підприємств у районі впливає на оцінку просторових ефектів та взаємодії між різними частинами транспортної системи. Локалізація центрів районів та їх репрезентативність для внутрішньорайонної активності безпосередньо впливає на міжрайонні матриці кореспонденцій. Кількість, класифікація та просторове розташування транспортних районів визначає рівень деталізації моделі вантажних перевезень. За таким підходом розрізняють міську, приміську або регіональну модель, які характеризуються, як вже зазначено вище, відокремленими підходами до моделювання транспортного попиту [6]. Нехтування зовнішніми транспортно-економічними зв'язками у процесі розробки транспортних моделей вантажних перевезень на міському та регіональному рівнях призводить до виникнення феномену просторової ізоляції модельованої системи («острівного ефекту»), що зумовлює систематичні похибки в оцінюванні інтенсивності транспортних потоків, особливо у граничних сегментах транспортної мережі [7]. Для класичних чотирикорових моделей міського транспорту до фактору впливу зовнішнього руху вантажного автотранспорту додається така особливість розрахунку попиту як врахування змін у транспортній пропозиції (атрибутів мережі, соціально-економічної системи) лише на етапах розподілу поїздок та перерозподілу потоків [8]. У зв'язку з цим, сучасні підходи до моделювання зовнішніх районів та відповідного транспортного попиту на вантажні автоперевезення потребують аналізу та узагальнення з виявленням їхніх сильних та слабких сторін.

Огляд літературних джерел

Відповідно до типології методів збору первинної інформації про міські та приміські вантажні перевезення [9], загальносистемні дослідження системи вантажного автотранспорту ґрунтуються переважно на національних статистичних обстеженнях транспортних потоків або товарного обігу [5], [7], [8], [10], [11]; дослідження, орієнтовані на учасників ринку базуються головним чином на методах опитування представників логістичних підприємств, вантажовласників або транспортних операторів [10], [11]; технологічно-орієнтовані дослідження передбачають застосування технічних засобів моніторингу, зокрема GPS-систем позиціонування або бортових систем реєстрації параметрів руху вантажних транспортних засобів [6]; просторово-специфічні дослідження концентруються на аналізі характеристик вантажних потоків у межах визначеної географічної території або окремого урбанізованого району [3], [7].

У дослідженні [6] запропоновано модель оцінки кількості вантажних транспортних засобів, які обслуговують комерційні райони у передмістях. Перевагою цього підходу до вивчення кореспонденцій руху вантажного автотранспорту є застосований метод калібрування на основі FCD (floating car data — даних з «плаваючих автомобілів»), що дозволяє частково компенсувати відсутність інтелектуальних транспортних систем у межах приміських територій, які б слугували джерелом необхідної інформації.

Як вихідні дані до моделювання приміських та регіональних потоків комерційного вантажного транспорту використано результати національного обстеження «Рух автотранспорту в Німеччині» (KiD2010) з базою більше 70 тис. транспортних засобів, які здійснювали поїздки у приватних та комерційних цілях, та ресурс OpenStreetMap (OSM) для визначення кількості підприємств, видів їхньої економічної діяльності та оцінки кількості працівників в області дослідження [10]. Залучення даних загальнонаціонального опитування KiD2010, з одного боку, дозволяє виправити нестачу транспортної інформації для приміських територій, з іншого — обмежується їхньою актуальністю, оскільки дані мобільності представлені за 2010 р. Для виявлення цілей поїздок вантажним автотранспортом протягом доби у [10] використано модель дискретного вибору з відповідними функціями корисності.

У роботі [7] запропонована добова модель комерційних поїздок вантажним автотранспортом у межах столичного регіону Мюнхена. Задля інтеграції зовнішнього навантаження в основну модель, виконано моделювання трьох типів транскордонних поїздок: вхідних, вихідних та транзитних. Обсяг транскордонного руху визначався на основі прогнозних даних [11] загальноєвропейсь-

кої матриці зародження-призначення кореспонденцій (OD-матриці). Прийнято, що кількість транспортних засобів у матриці відповідала кількості поїздок. Для ідентифікації поїздок, які проходять через цільовий регіон, всі OD-комбінації маршрутизовані за допомогою бібліотеки GraphHopper, що дозволило визначити траєкторії маршрутів на карті. Подальший просторовий аналіз дозволив виокремити ті маршрути, які перетинають межі регіону.

Для моделювання міської мобільності для приміських територій, зокрема, для подальшого перерозподілу поїздок вантажного автотранспорту, доцільним є застосування багаторівневої структури транспортного районування, як це реалізовано для міста Жиліна (Словаччина) [3] у програмному забезпеченні PTV Visum [12]. Територія моделювання поділена на 108 транспортних районів з урахуванням соціально-економічних даних, структури міської забудови та просторової організації, з яких перші 60 районів охоплюють міську територію Жиліни, решта 37 районів — прилеглі села, що мають прямі зв'язки з містом, ще 6 районів представляють собою зону тяжіння — території без прямого транспортного зв'язку з Жиліною, кордонні 5 районів — «фіктивні» зони, що розміщені на периферії модельної області та використовуються для моделювання зовнішніх регіональних потоків, включно з транзитом, походженням і призначенням поїздок.

Незважаючи на наявні наукові доробки у сфері транспортного моделювання вантажних перевезень, сучасні дослідження все ще недостатньо охоплюють специфіку формування попиту на вантажні автоперевезення у зовнішніх (приміських, кордонних) районах, особливо з урахуванням транзитного характеру руху. Часто транспортні моделі розробляються з фокусом на міські або регіональні транспортні системи, що призводить до ігнорування транзитних потоків, які впливають на загальний розподіл поїздок. Унаслідок цього виникає феномен так званої просторової ізоляції або «острівного ефекту», що спричиняє похибки у прогнозуванні інтенсивності вантажопотоків у зовнішніх районах. Недостатня деталізація транспортного районування, а також обмежене використання актуальних даних щодо транзитних переміщень додатково ускладнюють моделювання попиту з необхідною точністю для таких районів. Вищезазначене свідчить про необхідність подальшого розвитку підходів, які поєднують просторову деталізацію та врахування ступеня транзитності руху для моделювання транспортної системи вантажного транспорту зовнішніх (приміських) територій.

Метою дослідження є розробка методу оцінювання розподілу зовнішніх (приміських) потоків вантажних транспортних засобів з урахуванням їх транзитного проходження через міську територію на основі моделі міської мобільності (транспортної моделі).

Задачі дослідження:

1. Розробити підхід до моделювання попиту на вантажні автоперевезення, які утворюються та притягуються зовнішніми (кордонними) транспортними районами міста, враховуючи ступінь транзитності у відповідних потоках вантажного автотранспорту.
2. Впровадити розроблений підхід на прикладі моделі міської мобільності (транспортної моделі) м. Кривий Ріг.
3. Дослідити вплив транзитного руху вантажних автомобілів із зовнішніх районів на перерозподіл транспортних потоків по вулично-дорожній мережі м. Кривий Ріг.

Методологія досліджень

Транспортне моделювання попиту на вантажні автоперевезення у зовнішніх по відношенню до міста районах, яке проводиться у програмному забезпеченні PTV Visum [12], передбачає ідентифікацію зовнішніх районів для формування моделі транспортної мережі, розробку процедур розрахунку транспортного попиту для кожної взятої системи вантажного автотранспорту з урахуванням транспортного руху у цих районах та взаємодію моделі мережі з моделлю попиту (рис. 1).

Задача територіально-просторового визначення розташування та кількості зовнішніх районів розв'язується на основі врахування адміністративних меж для конкретного міста з урахуванням транспортного районування міських районів за допомогою OSM [13]. За умови, що самі зовнішні райони не обмежені границями.

Процедури розрахунку транспортного попиту на вантажні автоперевезення для зовнішніх транспортних районів є складовою частиною розрахунку попиту для міських районів з певними відмінностями. Розраховані потоки вантажного автотранспорту, які генеруються в основних (міських) районах є внутрішніми кореспонденціями, а в зовнішніх (приміських) районах — зовнішніми кореспонденціями.



Рис. 1. Структурна схема моделювання транспортного попиту

У процедурі моделювання руху вантажного автотранспорту, який генерується та притягується зовнішніми районами, початковими параметрами розрахунку виступають вхідні та вихідні транспортні потоки, ступінь транзитного руху (користувачський атрибут) по кожному з таких районів та модель мережі. Розподіл кореспонденцій виконується у відповідності до виразу

$$F_{ij} = V_i \frac{\mu D_j f(\omega_{ij})}{\sum_{j=1}^k D_j \cdot f(\omega_{ij})}, \quad (1)$$

де F_{ij} — обсяг кореспонденцій з району i в район j ; V_i — обсяг кореспонденцій з району-джерела i ; D_j — обсяг кореспонденцій в район-ціль j ; k — кількість зовнішніх районів; $f(\omega_{ij})$ — оціночна функція витрат; ω_{ij} — опір (витрати) на переміщення між районом i та районом j ; μ — ступінь транзитного руху (задається від 0 до 1).

Для функції оцінки витрат використано логіт-функцію

$$f(U_{ij}) = e^{cU_{ij}}, \quad (2)$$

де U_{ij} — значення корисності поїздки між районами i та j , обумовленої часом у дорозі між цими районами; c — параметр калібрування функції корисності.

Корисність поїздки визначається на основі розрахованих на попередніх кроках витрат (часових), описаних вище, які містяться у відповідних матрицях. Матриці поїздок по основним районам додаються до розрахованих матриць поїздок по зовнішнім районам, забезпечуючи інтеграцію розрахунку попиту. Агреговані матриці використовуються у процедурі перерозподілу потоків вантажного автотранспорту по мережі, який розраховується за алгоритмом Bi-conjugate Френка-Вульфа [2]. Результати перерозподілу перевіряються за таким критерієм збіжності як гіпотетичний опір транспортного засобу (GAP) [2], [12].

Впровадження

Запропонований підхід до моделювання попиту на вантажні автоперевезення з урахуванням зовнішніх районів міста та транзитних потоків реалізовано у моделі міської мобільності (транспортній моделі) м. Кривий Ріг, яка включає також модель пасажирського транспорту (індивідуального та громадського). Транспортна модель розроблена у середовищі PTV Visum. У цій програмі з транспортного моделювання зовнішні райони застосовуються для моделювання територій, що розташовані за межами основної області дослідження, але мають транспортну взаємодію з нею. Вклю-

Для генерації поїздок в межах основних районів в моделі використовуються атрибути цих районів з вихідними даними соціально-економічної статистики, зокрема, кількість робочих місць відповідно до виду економічної діяльності, чисельність працездатного населення і робітників, та модель вулично-дорожньої мережі, яка відтворюється за допомогою таких об'єктів як відрізки, вузли, повороти, зупиночні пункти, зупиночні зони, зупинки, примикання та безпосередньо транспортні райони.

Після генерації поїздок в основних районах розраховуються матриці витрат та визначаються їхні середні значення серед ітерацій розрахунку на основі методу послідовних середніх. Матриці узагальнених витрат для систем вантажного автотранспорту визначаються з урахуванням часу проходження завантаженої мережі, відстані поїздки, опору руху (шляху) у ненавантаженої мережі. У подальшій процедурі розрахунку внутрішніх кореспонденцій поїздки розподіляються по основних районах, що реалізується за допомогою використання гравітаційної логіт-моделі.

чення таких районів у модель дозволяє враховувати поїздки, які починаються або завершуються поза межами детально відображеної мережі, що сприяє підвищенню точності оцінювання транспортного попиту та аналізу руху. Модель мережі м. Кривий Ріг передбачає 238 транспортних районів, з яких 14 районів є зовнішніми. Детальне описання об'єктів мережі подано у роботі [14].

Для врахування ділянок мережі з чинними у місті обмеженнями руху вантажних автомобілів вантажопідйомністю більше 3,5 т проведені натурні обстеження мережі та використана попередньо перевірена схема проїзду транзитного автотранспорту у Центрально-міському районі [15]. Для моделювання ділянок мережі з описаною вище заборонаю проїзду для відповідних відрізків моделі, враховуючи їхній напрям, використано користувацький атрибут, який є складовою функції опору на відрізках. Зв'язок зовнішніх районів з моделлю мережі забезпечений за допомогою примикань для індивідуального транспорту.

Транспортний попит, пов'язаний із зовнішніми районами, визначений у процедурах розрахунку транспортного руху та перерозподілу поїздок (рис. 1), які дозволяють оцінити кількість поїздок, що походять з цих районів і призначені для них. У моделі попиту розбудовано три системи вантажного автотранспорту: FT1 — легкі вантажні автомобілі довжиною від 2,0 до 2,6 м з двома або більше осей вантажопідйомністю до 2 т; FT2 — середні тривісні вантажні автомобілі довжиною більше 2,6 м вантажопідйомністю від 2 до 8 т; FT3 — тривісні самоскиди вантажопідйомністю більше 8 т.

З метою дослідження впливу транзитного руху вантажних автомобілів із зовнішніх районів на транспортні потоки у мережі міста Кривий Ріг розраховано два граничних сценарії: а) всі потоки FT3 із зовнішніх районів залишаються у міській мережі (ступінь транзиту = 0); б) всі потоки FT3 із зовнішніх районів є транзитними та залишають міську мережу (ступінь транзиту = 1).

Результати дослідження

У результаті розрахунків збіжність перерозподілу для системи FT1 за GAP становила $3,69 \cdot 10^{-6}$, для системи FT2 — $9,77 \cdot 10^{-6}$, для системи FT3 — $2,81 \cdot 10^{-6}$ за встановленого порогу $GAP = 10^{-5}$.

Результати моделювання відображені у вигляді картограм (розподілу по мережі) добових потоків вантажних автомобілів у системах FT1—FT3 та 10 найбільших кореспонденцій FT3 із зовнішніх районів (рис. 2). Кореспонденції відображають значення матриць поїздок для системи FT3, оскільки саме для неї виконано розрахунки двох сценаріїв транзитного руху.

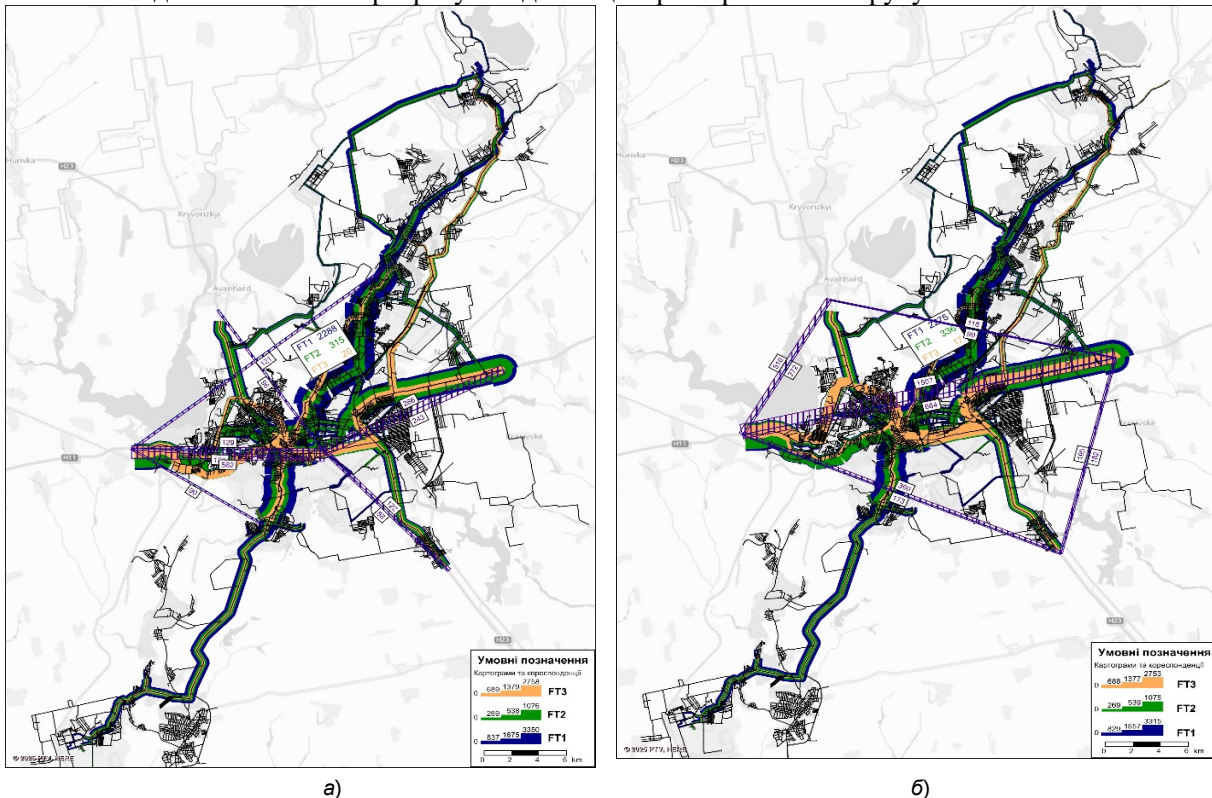


Рис. 2. Картограми потоків FT1—FT3 та 10 найбільших кореспонденцій FT3:

а — для сценарію 1; б — для сценарію 2

Очікується, що у двох розглянутих сценаріях для систем FT1 та FT2 зовнішніх районів найнавантаженишими ділянками мережі міста будуть:

– вул. Ярославська з показниками інтенсивності потоків 2446 та 2357 авт./доба для кожного напрямку, пр. Миру — 1910 — 2095 авт./доба для кожного напрямку, пр. 200-річчя Кривого Рогу — 2794 — 2911 авт./доба для кожного напрямку у системі FT1;

– пр. Миру з показниками інтенсивності потоків 550...1050 авт./доба для кожного напрямку, Дніпровське шосе — 536...690 авт./доба для кожного напрямку, пр. 200-річчя Перемоги — 473...536 авт./доба у системі FT2.

Для граничного сценарію, за якого всі потоки FT3 із зовнішніх районів залишаються у місті, найнавантаженишими ділянками мережі будуть:

вул. Старовокзальна з показниками інтенсивності потоків 2168 авт./доба, Нікопольське шосе — 1841 авт./доба зі сходу на захід та 1346 авт./доба у зворотному напрямку, Дніпровське шосе — 948...1034 авт./доба.

За сценарієм з повністю транзитними потоками FT3 із зовнішніх районів найнавантаженишими ділянками мережі міста для FT3 будуть:

вул. Окружна з показниками інтенсивності потоків 2552 авт./доба, Нікопольське шосе — 2418 авт./доба зі сходу на захід та 1363 авт./доба у зворотному напрямку, Дніпровське шосе — 1036—1869 авт./доба.

Таким чином, збільшення частки транзитного руху призводить до перерозподілу напрямків руху транспортних потоків FT3 з вул. Старовокзальної на вул. Окружну, та збільшення транспортно-го навантаження на Дніпровське шосе.

За повної відсутності транзитного руху основні потоки FT3 проходять між зовнішнім районом «Миколаївське шосе» (автомагістраль Н-11 убік м. Миколаїв) та основним районом із розташуванням металургійного виробництва підприємства ВАТ АрселорМіттал Кривий Ріг з показником 562 авт./доба, а у зворотному напрямку — 249 авт./доба, а також між районом цього підприємства та зовнішнім районом «Дніпровське шосе» (автомагістраль Н-11 убік м. Дніпро) з показником 243 та 266 авт./доба для кожного з напрямків руху. Дирекція потоку FT3 в основному припадає з південного заходу (Миколаївська область) на схід (м. Дніпро), обумовлюючи завантаженість вулиці Старовокзальної та Нікопольського шосе. Центр тяжіння найбільших кореспонденцій FT3 є одним з гірничопромислових районів міста, доступність якого досліджена у роботі [16].

За другого сценарію потоки FT3 спрямовані тільки між зовнішніми районами (рис. 2). У такому разі зовнішнім районом зародження найбільших потоків є «Миколаївське шосе», а призначення — «Дніпровське шосе» з показником 1507 авт./доба.

Висновки

Запропоновано підхід до моделювання розподілу зовнішніх потоків вантажного автотранспорту в транспортній моделі, реалізованій у PTV Visum для міста Кривий Ріг, який забезпечує гнучке врахування транзитного руху, і дозволяє здійснювати розрахунок різних сценаріїв із заданими частками транзиту для кожного приміського району та відповідної системи вантажного транспорту.

На етапі перерозподілу у транспортну модель м. Кривий Ріг закладена інтеграція результатів розрахунків внутрішніх та зовнішніх кореспонденцій вантажного автотранспорту через агрегування відповідних матриць даних, що відповідає реальним умовам розподілу потоків.

У подальшому передбачено запровадження додаткових інструментів аналізу зовнішніх потоків вантажного автотранспорту, які би враховували чутливість змін такого фактора впливу на перерозподіл транспортного попиту як транзитний рух.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] G. Günay “Shipment size and vehicle choice modeling for road freight transport: A geographical perspective,” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 173, 103732, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103732>.
- [2] *Transport Analysis Guidance (TAG) Unit M3.1: Highway Assignment Modelling*. 2024. Department for Transport. [Electronic resource]. Available: <https://www.gov.uk/guidance/transport-analysis-guidance-tag>.
- [3] J. Čelko et al., “The transportation planning process in Slovakia,” *WIT Transactions on The Built Environment*, vol 107, pp. 213-222, 2009. <https://doi.org/10.2495/UT090201>.
- [4] A. Pani et al., “Assessing the extent of modifiable areal unit problem in modelling freight (trip) generation: Relationship between zone design and model estimation results,” *Journal of Transport Geography*, vol. 80, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102524>.
- [5] Y. Wang et al., “Analyzing the impacts of logistics suburbanization on logistics service accessibility: Accessibility modeling

approach for urban freight,” *Transport Policy*, vol. 138, no. 6, pp. 25–44, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.05.001>.

[6] B. Giuseppe et al., “Freight demand distribution in a suburban area: calibration of an acquisition model with floating car data,” *Journal of Advanced Transportation*, pp. 1–15, February. 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/1535090>.

[7] L. Hensel, et al., “Modelling commercial traffic for a metropolitan region,” *European Transport Research Review*, vol. 17, no 16, March. 2025. <https://doi.org/10.1186/s12544-025-00717-w>.

[8] L. Márquez, et al., “Temporal accessibility and freight generation of agricultural products: An empirical study in Colombia,” *Research in Transportation Economics*, vol. 104, no. 3, May. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2024.101426>.

[9] P. Aditjandra, et al., “Evaluating the impacts of urban freight traffic: Application of micro-simulation at a large establishment,” *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, vol. 16, no. 1, November. 2015. <https://doi.org/10.18757/ejtr.2016.16.1.3110>.

[10] A. Reiffer, et al., “Microscopic demand modeling of urban and regional commercial transport,” *Procedia Computer Science*, vol. 130, pp. 667–674, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.118>.

[11] *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2030*, 2024. [Electronic resource]. Available: <https://daten.clearingstelle-verkehr.de/276/>.

[12] *PTV Planung Transport Verkehr GmbH: PTV VISUM user manual*. Karlsruhe, Germany, 2025.

[13] *Open Street Map*, 2025. [Electronic resource]. Available: <https://www.openstreetmap.org/#map=14/47.90753/33.37140>.

[14] V. Sistuk, “Urban mobility modeling in PTV VISUM with various options for bus fare structure,” *Period. Polytech. Transp. Eng.*, vol. 53, no. 2, pp. 135–145, March. 2025. <https://doi.org/10.3311/PPtr.37809>.

[15] *Схема організації дорожнього руху транзитних вантажних транспортних засобів та маршрутного орієнтування на вулицях і дорогах Центрально-Міського району м. Кривого Рогу*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://drive.google.com/file/d/1ycb0xMuurToqUfJodsPQPAB47AKoGalE/view?usp=drive_link.

[16] В. Сістук, «Дослідження транспортної доступності гірничопромислових районів міста з лінійно-розосередженою планувальною структурою», *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, вип. 2 (23), с. 218–228, 2024. <https://doi.org/10.36910/automash.v2i23.154>.

Рекомендована кафедрою автомобілів та транспортного менеджменту БНТУ

Стаття надійшла до редакції 3.07.2025

Сістук Володимир Олександрович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту, e-mail: sistuk@knu.edu.ua.

Криворізький національний університет, Кривий Ріг

V. O. Sistuk¹

Transport Modelling Approach to Freight Motor Vehicle Systems Taking into Account External (Suburban) Areas and Transit Flows

¹Kyryvi Rih National University

The study focuses on transport demand modeling for freight road transportation in the external zones of an urban transport network using PTV Visum software. The identification of external zones is based on administrative boundaries and transport zoning, utilizing OpenStreetMap data. Transport demand calculations are performed separately for each freight vehicle system, considering the specific characteristics of movement in both external and urban areas.

Trip generation in urban zones is based on socio-economic indicators and a detailed street network model. Travel costs include travel time under loaded network conditions, distance, and free-flow impedance. Trip distribution is carried out using a gravity-based logit model, while the integration of trip matrices from both urban and external zones ensures a comprehensive demand assessment. The model accounts for transit freight flows using a user-defined "transit degree" parameter, which influences the distribution of trip correspondences between zones. Traffic assignment is performed using the Bi-conjugate Frank—Wolfe algorithm with convergence control based on the GAP (generalized impedance) criterion.

The proposed modeling approach is implemented for the case of Kyryvi Rih city. The transport model includes 238 transport zones, of which 14 are classified as external. For areas with restrictions on freight traffic, field surveys were conducted, and custom network attributes were applied to represent travel impedance on the corresponding links. Freight demand is calculated for three vehicle classes (FT1, FT2, FT3) based on their carrying capacity. To assess the impact of transit FT3 traffic from external zones on the urban network, two boundary scenarios were analyzed: (a) no transit (transit degree = 0), where all FT3 flows remain within the city network; and (b) full transit (transit degree = 1), where all FT3 flows bypass the city network.

The modelled results made it possible to identify the most congested segments of Kyryvi Rih road network for each vehicle class (FT1—FT3) and to evaluate the influence of FT3 transit flows from external zones on vehicle assignment patterns.

Keywords: freight transport, transport model of the city, transport demand, external zone, street and road network, transit traffic, PTV Visum.

Sistuk Volodymyr O. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Automobile Transport, e-mail: sistuk@knu.edu.ua