УДК 656.13:711.4 DOI: 10.30977/VEIT.2024.26.0.4

Аналіз доступності громадського транспорту для гірничопромислових районів міста Кривий Ріг

Сістук В. О.

Криворізький національний університет

Надійшла: 05.09.2024. Прийнято: 23.11.2024. Опубліковано: 12.12.2024. Відкритий доступ: CC BY 4.0.

Анотація. *Робота присвячена аналізу доступності громадського транспорту (ДГТ), який обслуговує гірничопромислові райони міста із лінійною планувальною структурою. Дослідження ґрунтується на транспортному моделюванні в PTV Visum та зборі даних для оцінки змін у транспортному попиті у місті Кривий Ріг за період 2021–2024 років. У моделі виокремлено п'ять транспортних районів з найбільшою кількістю робочих місць за КВЕД В як основних гірничопромислових районів. ДГТ оцінювалася за часом у дорозі, з аналізом отриманих ізохрон доступності для кожного з гірничопромислових районів та зупинок ГТ, які їх обслуговують. Для аналізу пішохідної доступності відповідних зупинок враховано довжину примикань ГТ та площу району. Запропоновано практичні заходи для підвищення ефективності ГТ у Кривому Розі.*

Ключові слова: *транспортна доступність, пішохідна доступність, громадський транспорт, транспортне моделювання, гірничопромисловий район, PTV Visum, ізохрона доступність.*

Вступ

Місто Кривий Ріг має поліцентричну та лінійну забудову, де районні центри набувають більшого значення; ділова активність концентрується переважно в гірничодобувній, металургійній та переробній промисловості, підприємства якої розташовані вздовж магістральних транспортних осей (автодороги та залізничній колії швидкісного трамваю), які проходить з півдня на північ. Таким чином, довжина селітибної зони міста перевищує 60 км, тоді як її ширина на окремих ділянках становить менше 5 км.

Лінійна планувальна структура для міст, в яких економічна діяльність розподілена вздовж транспортної осі, спрямована на забезпечення найвищого рівня доступності для населення прилеглих районів і сільської місцевості. Водночас, повздовжні транспорті зв'язки суттєво збільшуються, погіршується доступність віддалених від центру районів. Тому лінійна структура просторового розвитку одночасно вимагає впровадження швидкісного транспорту. В якості такої системи транспорту для Кривого Рогу виступає швидкісний трамвай. Крім того, деякі маршрути комунальних автобусів функціонують для забезпечення швидкого сполучення між віддаленими районами міста, зупиняючись лише на зупинках громадського транспорту (ГТ), які характеризуються великим пасажирообміном.

Масовий пасажирський транспорт відіграє значну роль у забезпеченні переміщення великої кількості людей до місць прикладання праці у місті з лінійною планувальною структурою.

Гірничозбагачувальні та металургійні підприємства є основними місцями цілі та зародження робочих поїздок у Кривому Розі. Доступність ГТ та зупинок, які обслуговують дані промислові райони є вкрай важливою. Розташування у планувальній структурі міста, рівень забезпеченості маршрутами ГТ, ритмічність роботи ГТ, рівень завантаженості зупинок ГТ, пішохідний доступ до таких зупинок, – всі перелічені фактори формують доступність гірничопромислових районів та у сукупності впливають на можливість працівників гірничо-металургійного комплексу здійснювати робочі поїздки на ГТ.

Доступність громадського транспорту (ДГТ) є одним із ключових показників роботи

міської транспортної системи при оцінці ефективності надання транспортних послуг населенню [1].

Аналіз публікацій

Проблематика ДГТ є предметом значної уваги в науковій літературі. Відповідно до [1], ДГТ поділяється на три типи: доступ до зупинок (станцій), мереж і заходів. Дослідники виявили кілька впливів і взаємозв'язків між ДГТ, навколишнім середовищем і повсякденним життям, які можуть визначати, наприклад, здоров'я та інші аспекти життя людей. Крім того, підкреслюється зв'язок між ДГТ та можливостями працевлаштування [2]. Дослідження [1] оцінює доступ до послуг ГТ на станціях, враховуючи час пішохідного руху до станцій та час очікування. Автори також розглядають конфігурацію системи транспорту та навколишнє середовище станцій. Для визначення важливості станцій в інтегрованій системі представлений індекс центральності станцій (ІЦС), що є комбінацією гравітаційної моделі та індексу центральності складних мереж.

Автори [3] розробили концептуальну основу та якісну методологію для аналізу доступності, зосередивши увагу на зв'язку між щоденним досвідом людей та ДГТ.

У статті [4] адаптовано модель просторово-часової доступності STA (space-time accessibility) для ГТ - PT-STA (public transport space-time accessibility), щоб враховувати порогові значення часу в дорозі.

У роботі [5] було розроблено метод оцінки ДГТ, що охоплює різні рівні аналізу — від окремих елементів, таких як зупинки, до комплексного аналізу мережі, з використанням географічної інформаційної системи (ГІС).

Результати дослідження [6] свідчать, що оптимальною кількістю кластерів для аналізу індексу ДГТ у великих містах є шість кластерів при використанні алгоритмів кластеризації.

У [7] виконано дослідження системи ДГТ, приділивши особливу увагу швидкісному автобусному сполученню. Оцінка проводилася з використанням концепції міста 5, 10 і 15 хвилин і спиралася на відкриті просторові дані.

У роботі [8] виконано аналіз ДГТ для людей з особливими фізичним потребами шляхом вимірювання показника індексу доступності (ІД), який розраховується на основі загального часу доступу (ЗЧД) та еквівалентної частоти відвідувань (ЕЧД).

У дослідженні [9] ДГТ розглядається як сукупність трьох основних компонентів: (1) охоплення поїздки – ГТ вважається доступним, якщо він забезпечує можливість досягти місця відправлення або прибуття; (2) просторове охоплення – транспорт є доступним, коли він знаходиться в межах раціональної фізичної близькості до місця проживання чи призначення; та (3) часове охоплення – послуга вважається доступною, якщо вона надається в той період, коли людина бажає здійснити поїздку.

Показник ДГТ, що вирізняється врахуванням наявності та якості пішохідних маршрутів, які сполучені із зупинками ГТ, є індикатором рівня обслуговування ГТ TLOS (transit level of service) [10]. Метод також інтегрує щільність населення та робочих місць з просторовими та часовими параметрами для оцінки ДГТ. Особливістю TLOS є можливість виявлення взаємозв'язку між безпекою й комфортом пішохідних маршрутів до зупинок ГТ.

У керівництві [11] надано додаткову інформацію щодо оцінки ДГТ на рівні зупинок, зокрема, доступу велосипедистів до ГТ. Запроваджено додатковий показник надійності перевезень на ГТ – надлишковий час очікування. Доступність зупинок ГТ також досліджувалась у роботах [12-13].

Незважаючи на велику кількість наукових праць, присвячених дослідженню ДГТ, вивчення доступності ГТ, що обслуговує гірничопромислові райони міста з лінійно-розосередженою планувальною структурою, не здійснювалося.

Таким чином, аналіз ДГТ, який обслуговує, у тому числі, гірничопромислові райони міста з лінійно-розосередженою структурою є актуальним науково-практичним завданням.

Мета та постановка задачі

Метою роботи є проведення комплексного аналізу доступності громадського транспорту (ДГТ) як показника транспортної пропозиції для гірничопромислових районів міста з лінійно-розосередженою забудовою.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

– визначити закономірності зміни транспортної пропозиції та попиту на ГТ у місті Кривий Ріг за період 2021 – 2024 р.;

– визначити показники транспортної доступності основних гірничопромислових районів міста Кривий Ріг;

– провести аналіз транспортної доступності зупиночних зон ГТ, які обслуговують основні гірничопромислові райони міста Кривий Ріг;

– визначити показники пішохідної доступності зупинок ГТ, які обслуговують основні гірничопромислові райони міста Кривий Ріг;

– розробити рекомендації з покращення ДГТ, який використовується для обслуговування основних гірничопромислових районів міста Кривий Ріг.

Методика дослідження

Методологія комплексного аналізу ДГТ як індикатора транспортної пропозиції для гірничопромислових районів міста Кривий Ріг ґрунтується на транспортному моделюванні у програмному забезпеченні PTV Visum [14].

Модель пасажирського транспорту міста Кривий Ріг включає модель мережі, чотирикрокову модель попиту на перевезення та модель їхньої взаємодії. Модель пропозиції ГТ включає 3013 примикань для громадського транспорту, 534 зупинки, 1165 зупиночних зон, 1190 зупиночних пунктів, 130 маршрутів та 218 маршрутних напрямків. Відповідно до пар цілей поїздок сформовано 14 сегментів попиту. Детальне описання транспортної моделі представлено у роботі [15].

Для врахування змін, які відбулись на ГТ за період 2021 – 2024 р., оновлені показники добових обсягів перевезень на всіх маршрутах ГТ відповідно до звітів з електронних транспортних карток пасажирів та розклади руху на маршрутах, де відбулись зміни у розкладі. Також враховано питання запровадження нового маршруту та виключення з мережі окремих маршрутів.

Підприємства видобувної промисловості та розробці кар'єрів розосереджені по всій території міста. Показники ДГТ є особливо актуальними для тих транспортних районів, в яких кількість робочих місць у гірничовидобувному комплексі є найвищою серед інших районів (для Кривого Рогу – понад 7 тисяч робочих місць). У транспортній моделі Кривого Рогу виявлено п'ять таких районів, у подальшому будемо застосовувати до них означення «основні гірничопромислові райони». Як видно із рис.1, дані райони розосереджені по транспортній мережі міста.

ДГТ основних гірничопромислових районів та зупинок ГТ, які обслуговують дані райони, визначалась на основі показника, який враховує місцезнаходження об'єкту. Подібні показники широко використовуються в дослідженнях ДГТ завдяки їхній зрозумілості, теоретичній обґрунтованості та доступності вихідних даних [16] та включають такі компоненти: місце походження, доступні можливості або привабливість пунктів призначення певного типу в потенційних локаціях, а також вартість поїздки між пунктами.

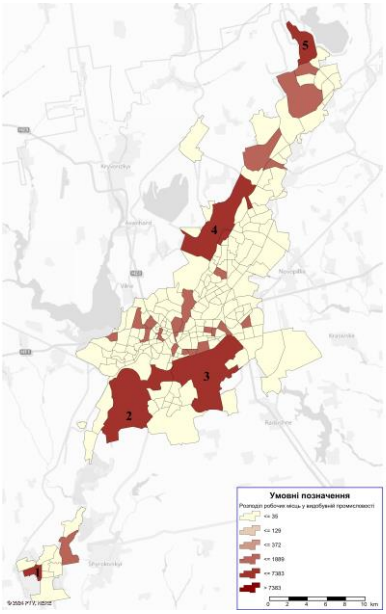

Рис. 1. Основні гірничопромислові райони міста Кривий Ріг відповідно до розподілу кількості робочих місць у видобувній промисловості та розробці кар'єрів

Пропонується відображати вартість поїздки між об'єктами не через мережеву відстань або відстань по повітряній лінії між ними, а через час у дорозі [16]:

$$A_{in} = \sum_{j=1}^{m} g(W_{jn}) \cdot c_{ij} \qquad (1)$$

де i – номер локації зародження поїздки (зупинка ГТ, транспортний район); j– номер локації потенційного призначення поїздки (зупинка ГТ, транспортний район); m – кількість зв'язків зародження-призначення; n – кількість локацій у системі; W – ваговий коефіцієнт можливості поїздки; c_{ij} – вартість поїздки між локаціями i та j.

Доступність A_{in} визначається як сума добутків двох функцій, одна з яких відповідає можливостям, а інша – вартості поїздки.

Остання представляє собою функцію просторового спаду й називається функцією опору.

Вартість проїзду c_{ij} розраховується на основі модельного перерозподілу попиту на ГТ у програмі PTV Visum.

Основною процедурою перерозподілу попиту на ГТ у місті Кривий Ріг є процедура на основі інтервалів (*Headway-based*). Це пояснюється тим, що до 65% обсягу пасажирських перевезень у місті приходиться на приватні автобусні маршруті, які працюють з інтервалами руху до 30 хв.

Функція повного опору при використанні перерозподілу ГТ за інтервалами включає час поїздки *PJT* (perceived journey time), та компонент, що враховує тариф за проїзд або долю контрольних пунктів оплати за проїзд:

$$IMP = \alpha \cdot PJT + \beta \cdot FP \qquad (2)$$

де *IMP* – показник повного опору, *PJT* – сприйнятий час поїзки, α, β – коефіцієнти, *FP* – тариф за проїзд.

Функція повного опору розраховується відповідно до рівняння:

$$IMP = \lambda_1 \cdot IVT + \lambda_2 \cdot RIT + \lambda_3 \cdot ACT + \\ + \lambda_4 \cdot EGT + \lambda_5 \cdot WKT + \lambda_6 \cdot OWT + \\ + \lambda_7 \cdot TWT + \lambda_8 \cdot NTR, \qquad (3)$$

де *IVT* – час, проведений у транспортному засобі, *RIT* – час у дорозі між початковою та кінцевою зупинками, *ACT* – час пішохідного руху до початкової зупинки, *EGT* – час руху пішки від зупинки до останнього місця призначення, *WKT* – загальний час руху пішки, *OWT* – час очікування на першій зупинці, *TWT* – час очікування пересадки, *NTR* – кількість пересадок, λ_1–λ_8 – коефіцієнти функції загального опору.

Значення коефіцієнтів λ_1–λ_8 функції загального опору, які були використані у моделі Кривого Рогу, наведено у роботі [15].

У Кривому Розі на маршрутах приватних перевізників діє фіксований тариф, а на маршрутах комунального транспорту з 2021 року запроваджено безоплатну систему проїзду для резидентів міста.

PTV Visum не передбачає процедури «прямого» моделювання фіксованих тарифів. У зв'язку з цим, був розроблений метод моделювання фіксованого тарифу для транспортної моделі Кривого Рогу у програмному забезпеченні PTV Visum, а саме, рішення через зональну матрицю From-To Zone Matrix. Ідея останнього методу полягає у тому, що створюється одна тарифна зона, яка використовується для позначення всіх зупинок (за допомогою відповідного атрибуту), а також матриця тарифів, що складається лише з одного елемента. Ціна проїзду вказується при налаштуванні типу білету з урахуванням зональної матриці From-To Zone Matrix (рис.2).

Рис. 2. Конфігурація типу білету

Результати розрахунку функції повного опору зберігаються у матрицях витрат ГТ (skim matrices of time) для кожного з 14 шарів попиту, які охоплюють всі транспортні райони.

Більш детальне описання процедур моделювання перерозподілу попиту на ГТ на основі інтервалів у транспортній моделі Кривого Рогу представлено у роботі [15].

Для аналізу та графічного відображення доступності гірничопромислових районів, зупинок ГТ, зупиночних пунктів у межах заданого часового інтервалу застосовані відповідні ізохрони доступності ГТ.

Транспортна ДГТ визначається на основі пошуку сполучень за розкладом, який може здійснюватися за інтервалом часу відправлення або прибуття [14].

У першому випадку аналізуються всі сполучення, що відправляються з обраного об'єкта мережі протягом заданого періоду, з урахуванням додаткового часового проміжку, який вказується після вибору періоду відправлення та стосується часу, за який сполучення повинно досягти пункту призначення.

У другому випадку розглядаються всі сполучення, які прибувають до вибраного об'єкта мережі протягом певного періоду, із зазначенням часу випередження – це проміжок часу, який передує визначеному періоду прибуття, протягом якого сполучення має залишити початкову точку [14].

Аналіз доступності та розташування зупинок транспорту допомагає виявити проблемні зони, такі як невдале розташування, нестача зупинок чи незручний доступ. На основі цього можна створити плани вдосконалення мережі для поліпшення зручності та обслуговування пасажирів.

Доступність зупинок у мережі можливо оцінити за довжиною примикань ГТ у моделі,

оскільки довжина примикання визначається доступом до зупинки по повітряній лінії як відстань між геометричним центром транспортних районів і тими вузлами мережі, які пов'язані із зупинками.

У п.10.4.9 ДБН [17] вказано, що у промислових зонах нормативна відстань підходу пасажирів до зупинки ГТ становить 400 м від прохідних підприємств. Даний норматив не можна застосовувати для оцінки доступності зупинок ГТ, які обслуговують гірничопромислові райони, зважаючи на їх великі площі, тому з цією метою пропонується новий показник – «коефіцієнт обмеженості доступності зупинки» C_s як відношення:

$$C_{si} = l_{cputmax}/S_{zi}$$
$$0 < C_{si} < 1, \quad (4)$$

де $l_{cputmax}$ – максимальна довжина примикання ГТ у i-тому транспортному районі; S_{zi} – площа i-го транспортного району.

Чим менше значення C_s, тим ефективніше розміщення зупинки ГТ та простіше доступ до неї з гірничопромислового району.

Закономірності зміни транспортної пропозиції та попиту

Протягом 2022 – 2024 років цивільна інфраструктура міста Кривий Ріг зазнала значних пошкоджень через обстріли. Проте, стан доріг і зупинок ГТ покращився після ремонтів. Безпека рухомого складу залишилась на довоєнному рівні, але доступність транспорту у вечірню пору доби погіршилась.

За період 2021 – 2024 років на маршрутах ГТ виникли такі основні зміни:

– введено безоплатний проїзд на комунальному транспорті (2021 р.) для резидентів міста;

– введено нові розклади руху на громадському транспорті (для комунального транспорту) та інтервали руху (для приватних перевізників);

– введено в експлуатацію новий маршрут автобусу №8;

– виключені з маршрутної мережі пасажирського транспорту маршрути, які не користуються попитом;

– запроваджено цифрову платформу та мобільний додаток «Зручний маршрут» [18], що забезпечує планування поїздок і інформацію про розклад і затримки.

Також було проведено тестування додатку «Зручний маршрут» для оцінки можливостей покращення ДГТ. Попри значні переваги додатку, які дозволяють підвищити інформованість користувачів ГТ, оперативність інформації, що надається, можливість відслідкувати зміни у розкладі ГТ, врахувати варіанти поїздки з пересадками, тестування показало основні проблеми, які виникають при роботі з додатком: не завжди коректно відображаються зупинки ГТ, іноді відсутній ярлик для позначення зупинки на карті та виникають помилки у геолокації при відсутності руху.

Для оцінки змін у попиті на ГТ проведено аналіз даних про пасажиропотоки на маршрутах ГТ, отриманих на основі обробки щоденних звітів про транзакції з системи «Картка криворіжця» (Центр електронних сервісів, комунальне підприємство Криворізької міської ради) за кожен день роботи рухомого складу на маршруті [19]. Звіти охоплювали період з 6 листопада 2023 року по 12 листопада 2023 року (листопад та березень є найбільш репрезентативними місяцями для транспортних досліджень [20]). Також отримано вичерпні дані про пасажиропотоки для системи ГТ, включно з електротранспортом, за грудень 2023 року. Ці дані стосуються таких міських транспортних систем, як автобуси, швидкісний трамвай, трамваї, тролейбуси та маршрутки.

Встановлено, що у порівнянні з 2021 р., на комунальних автобусних маршрутах обсяги перевезених пасажирів збільшились на 240%, тролейбусних маршрутах – 102%, трамваю – 101%. Пасажиропотоки на маршрутах швидкісного трамваю зменшились на 58%, маршрутного таксі – на 28%.

Закономірності зміни транспортної пропозиції були враховані у транспортній моделі Кривого Рогу при її оновленні, а транспортного попиту – при калібруванні пасажиропотоків на ГТ у моделі.

Показники транспортної доступності основних гірничопромислових районів

Критерієм ДГТ у даному випадку є показник часу у дорозі для прибуття до кожного з визначених гірничопромислових районів за період часу з 06:00 до 23:00 години доби.

Ізохрони доступності ГТ представлені на рис. 3 – рис. 7. Максимальна кількість пересадок при пошуку шляху – 5.

Найменшою ДГТ за показником часу у дорозі характеризується гірничопромисловий

район 1 на ж/м Інгулець (рис.3). Дістатись даного району на ГТ з інших районів міста можливо за період часу у дорозі не менше 1 год. 20 хв., що не відповідає нормативному значенню витрат часу для міст від 500 до 800 тис. осіб у 40 хв. [17].

Гірничопромисловий район 3 має найбільшу ДГТ: з центральних районів міста до нього можна дістатися за час, що не перевищує 30 хв. (рис.5).

Район 2 характеризується низьким рівнем ДГТ: час прибуття з центральних районів міста громадським транспортом становить понад 1 годину 10 хв., що свідчить про недостатню ефективність транспортного сполучення, зважаючи на близькість до району 3 (рис.4).

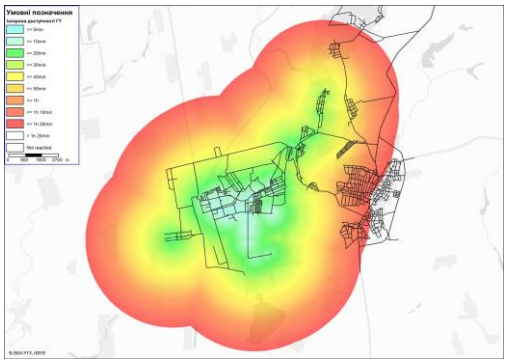

Рис. 3. Ізохрона ДГТ для обслуговування гірничопромислового району 1

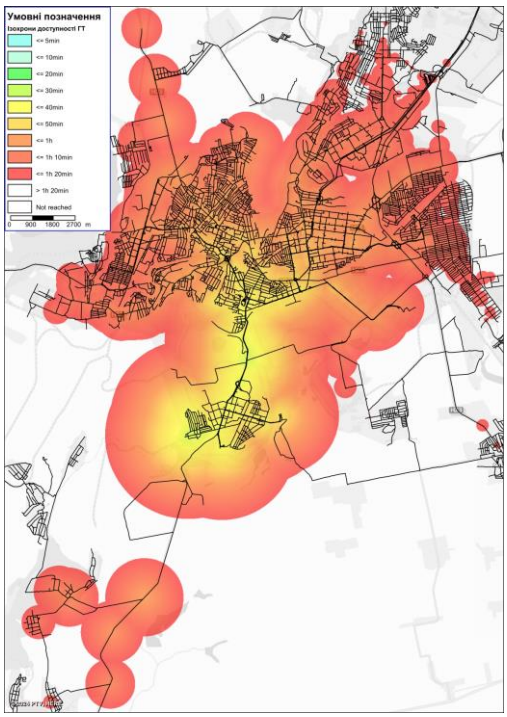

Рис. 4. Ізохрона ДГТ для обслуговування гірничопромислового району 2

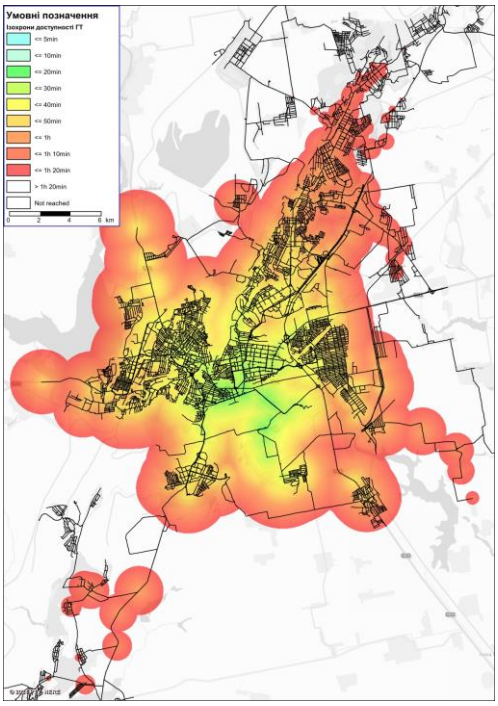

Рис. 5. Ізохрона ДГТ для обслуговування гірничопромислового району 3

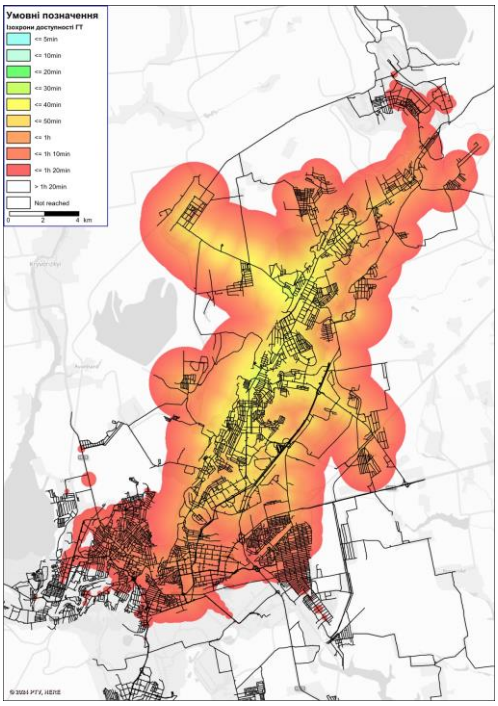

Рис. 6. Ізохрона ДГТ для обслуговування гірничопромислового району 4

Порівняно з іншими гірничопромисловими районами міста, район 4 має відносно високу транспортну доступність, оскільки зона ДГТ для нього покривається часом прибуття з найбільш віддалених частин міста в межах 1 год. 20 хв. Водночас мінімальний час у дорозі для прибуття до цього району з цент-

ральних частин міста досить значний й становить 40 хв. (рис. 6).

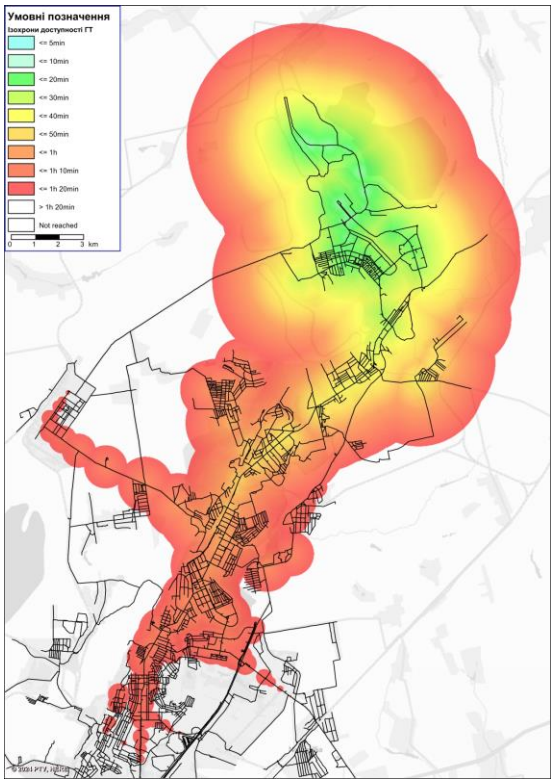

Рис. 7. Ізохрона ДГТ для обслуговування гірничопромислового району 5

У межах гірничопромислового району 5 рівень ДГТ є високим – до 20 хв. Проте для сполучення з іншими районами міста, зокрема з сусіднім Покровським адміністративним районом, цей показник значно гірший і складає до 1 год. 20 хв. що також не відповідає [17] (рис.7).

На основі аналізу отриманих ізохрони ДГТ стає очевидним, що лінійно-розосереджена форма плану міста значно впливає на доступність його гірничопромислових районів. Найбільш віддалені райони навіть при прямому сполученні з іншими районами міста не мають показника ДГТ на рівні нижче 1 год. 20 хв. Велику роль відіграє швидкісний трамвай, що дозволяє мешканцям міста дістатись з багатьох частин міста до гірничопромислового району 3 за менше ніж 30 хв.

Показники транспортної доступності зупинок ГТ основних гірничопромислових районів

Для визначення часу прибуття до зупиночної зони відповідного гірничопромислового району за період часу з 06:00 до 23:00 години доби з інших зупиночних зон також був використаний інструмент графічного аналізу PTV Visum у вигляді ізохрон доступності зон зупинок ГТ.

Результати порівняльного аналізу ізохрон доступності районів (рис. 3 – рис. 7) та зупиночних зон засвідчили, що рівень ДГТ для даних зон в межах цих самих районів є значно вищим, ніж безпосередньо для самих районів. Для прикладу на рис.8 показана ізохрона доступності зони зупинки «станція Кривий Ріг» (гірничопромисловий район 3).

Показники ДГТ для районів та зупиночних зон від інших частин міста представлені у таблиці 1.

Таблиця 1. ДГТ до гірничопромислових районів та зупинок ГТ

Номер гірничопромислового району	Назва основної зупиночної зони	Час прибуття з центральних частин міста у район	Час прибуття з центральних частин міста у зону зупинки
1	вул. Рудна	більше 1 год. 20 хв.	більше 1 год. 20 хв.
2	вул. Польова	1 год. 10 хв.	40 хв.
3	станція Кривий Ріг	30 хв.	10 – 20 хв.
4	ЦГЗК ЦТЗТ	40 хв.	30 хв.
5	УКК ПівнГЗК	1 год. 20 хв.	1 год.

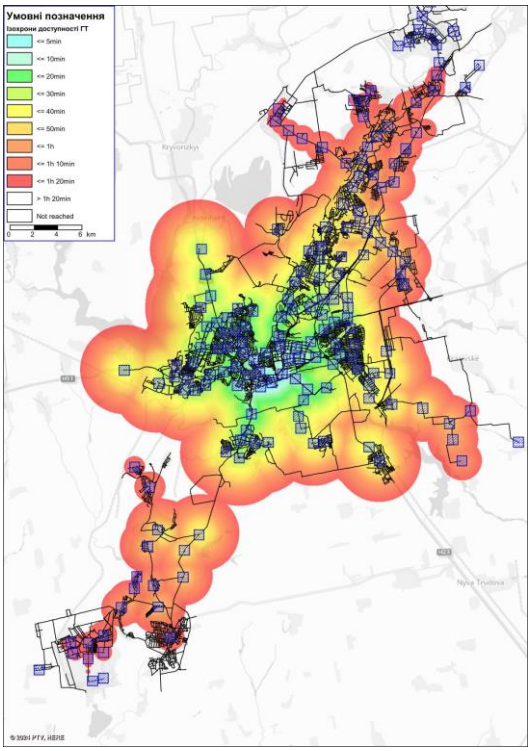

Рис. 8. Ізохрона ДГТ для зони зупинки «станція Кривий Ріг» у гірничопромисловому районі 3

Показники пішохідної доступності зупинок ГТ

Вулично-дорожня мережа Кривого Рогу характеризується слабкою доступністю зупинок ГТ. Лише 25% від всіх відстаней до зупинок від центрів районів мають нормативну довжину до 400 м, що визначено на основі аналізу довжини примикань ГТ.

Пішохідна доступність зупинок ГТ, які обслуговують основні гірничопромислові райони визначалась шляхом: 1) оцінки довжини примикань ГТ від конкретного транспортного (гірничопромислового) району до відповідної зупинки та 2) визначення коефіцієнту обмеженості доступності за формулою (4). У розробленій моделі примикання підключаються лише до вузлів, які також є вузлами доступу до зупинок. У такому випадку кожен маршрут починається і закінчується пішохідним відрізком на примиканнях, а в межах зупинки прямує до її початкової точки, без використання відрізків транспортної мережі.

Для кожного з гірничопромислових районів визначені зупинки (табл. 2), для яких довжина примикання ГТ буде максимальною.

Таблиця 2. Пішохідна доступність зупинок ГТ гірничопромислових районів

Номер гірничопромислового району	Найбільш віддалені від центру району зупинки	Максимальна відстань до зупинки, км	Площа району	Обмеженість доступності зупинок
1	вул. М. Міхновського	0,97	2,0	0,485
2	вул. Руднична	4,80	29	0,165
3	Станція Кривий Ріг	2,68	30	0,090
4	СУ 453	5,42	21	0,258
5	РЗФ-2	1,90	7,0	0,271

У відповідності до значеннь довжини примикань ГТ та площі відповідних гірничопромислових районів визначені коефіцієнти обмеженості доступності зупинок (табл. 2).

Серед розглянутих гірничопромислових районів мінімальна відстань до зупинки ГТ спостерігається для району 1 (житловий масив «Інгулець»), однак одночасно площа даного району є найменшою серед усіх інших гірничопромислових районів, відповідно, значення обмеженості доступності зупинок – найбільшим. Максимальна відстань до зупинки ГТ – у районі 2, в той час як мінімальна обмеженість доступності зупинки – у районі 3 (ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»).

Обговорення та рекомендації

ГТ у Кривому Розі зазнає численних викликів, пов'язаних з умовами воєнного часу, зокрема, через нестачу водіїв, що обмежує можливість ущільнення графіків руху. Зазначені виклики спричиняють значний вплив на можливості покращення ДГТ.

Для підвищення ефективності ГТ у частині його доступності, що обслуговує основні гірничопромислові райони міста Кривий Ріг, доцільно розглянути такі заходи:

1. Збільшення швидкості сполучення на маршруті автобусу 302 для зменшення часу поїздки до житлового масиву Інгульця;

2. Можливість розробки додаткового маршруту ГТ до ж/м Південний ГЗК для підвищення рівня ДГТ до гірничопромислового району 2;

3. Перегляд місцерозташування зупинок ГТ у районах Інгульця та у Тернівському районі (Даманський та ПрАТ Північний ГЗК);

4. Перегляд розкладів руху тролейбусів для усунення ущільнення інтервалів проходження зупиночних пунктів маршрутами тролейбусу на їх спільних ділянках, яке призводить до співпадіння або малий інтервал між часом прибуття на зупиночний пункт або/та відправлення із зупиночного пункту рухомого складу різних маршрутів тролейбусів та, відповідно, практично одночасне проходження ними дублюючої ділянки, а також призводить до порушення інтервалу проходження між контрольними зупиночними пунктами для різних графіків на одному маршруті.

Висновки

У роботі проведено аналіз доступності ДГТ як показника транспортної пропозиції для гірничопромислових районів міста Кривий Ріг з лінійно-розосередженою забудовою із урахування змін у роботі його ГТ за період 2021–2024 р.р.

За даний період для покращення транспортного обслуговування в Кривому Розі запроваджено безоплатний проїзд для мешканців, нові розклади та маршрути, усунуто малопопулярні напрямки, а також створено цифрову платформу «Зручний маршрут».

Результати транспортного моделювання у програмному забезпеченні PTV Visum показали, що лінійно-розосереджена структура міста Кривий Ріг суттєво впливає на доступність його гірничопромислових районів, і навіть при прямому сполученні з іншими районами час поїздки ГТ не зменшується нижче 1 год. 20 хв. для найбільш віддалених районів.

Аналіз отриманих ізохрон доступності підтвердив, що рівень ДГТ та площа доступності у межах заданого часового діапазону для зупиночних зон районів більші, ніж для самих районів.

Для оцінки пішохідної доступності гірничопромислових районів вперше запропоновано коефіцієнт обмеженості доступності зупинки, який враховує відстань до зупинки від центру відповідного транспортного району та площу даного району. Відповідно до розрахунків, найбільше значення даного коефіцієнту отримано для гірничопромислового району 1, найменше – для району 3, що означає найвищу доступність зупинок ГТ в районі 3 серед усіх гірничопромислових районів міста, якщо враховувати площу даних районів.

Для підвищення ефективності громадського транспорту в гірничопромислових районах Кривого Рогу пропонується:

1. Збільшити швидкість сполучення автобуса 302 до житлового масиву Інгулець.

2. Розробити додатковий маршрут до житлового масиву Південний ГЗК для покращення доступності району 2.

3. Переглянути розташування зупинок у районах Інгульця, Даманський, ПрАТ Північний ГЗК.

4. Оптимізувати розклади руху тролейбусів для усунення ущільнення інтервалів на спільних ділянках маршрутів.

Подальші дослідження будуть спрямовані на удосконалення маршрутної мережі пасажирського транспорту міста Кривий Ріг з урахуванням дослідженої специфіки доступності гірничопромислових районів, зупинок ГТ даних районів та пішохідної доступності зупинок у даних районах.

Конфлікт інтересів

Автор заявляє, що немає конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

Література

1. Yang, R., Liu, Y., Liu, H., & Gan, W. (2019). Comprehensive public transport service accessibility index– a new approach based on degree centrality and gravity model. *Sustainability*, *11(20):5634*. https://doi.org/10.3390/su11205634
2. Saif, M. A., Zefreh, M. M., & Torok, A. (2019). Public transport accessibility: a literature review. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 47(1)*, 36–43. https://doi.org/10.3311/PPtr.12072
3. Tiznado-Aitken, I., Lucas, K., Muñoz, J.C., & Hurtubia, R. (2020). Understanding accessibility through public transport users' experiences: A mixed methods approach. *Journal of Transport Geography*, *88, 102857.*
4. Dianin, A., Gidam, M., & Hauger, G. (2024). Measuring public transport accessibility to

fixed activities and discretionary opportunities: a space–time approach. *European Transport Research Review, 16, 9*. https://doi.org/10.1186/s12544-024-00636-2

5. Moridpour, S., Pour, A. T., & Saghapour, T. (2019). Big data analytics in traffic and transportation engineering: emerging research and opportunities. https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7943-4
6. Su, H., Li, M., Zhong, X., Zhang, K., & Wang, J. (2023). Estimating public transportation accessibility in metropolitan areas: a case study and comparative analysis. *Sustainability, 15(17):12873*. https://doi.org/10.3390/su151712873
7. Hardi, A. Z., Hardi, A. Z. & Murad, A. A. (2023). Spatial analysis of accessibility for public transportation, a case study in Jakarta, bus rapid transit system (Transjakarta), Indonesia. *Journal of Computer Science, 19(10)*, 1190-1202. https://doi.org/10.3844/jcssp.2023.1190.1202
8. Verseckienė, A., Meškauskas, V., & Batarlienė, N. (2016). Urban public transport accessibility for people with movement disorders: the case study of Vilnius. *Procedia Engineering*, *134*, 48-56. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.038
9. Mamun, S., & Lownes, N. (2011). A composite index of public transit accessibility. *Journal of Public Transportation 14(2)*, 69-87.
10. Ryus, P., Ausman, J., Teaf, D., Cooper, M., & Knoblauch, M. (2000). Development of Florida's transit level-of-service indicator. *Transportation Research Record*, *1731*, 123-129.
11. Ryus, P., Danaher, A., Walker, M., Foster, N., Carter, B., Ellis, E., Cherrington, L., & Bruzzone, A. (2013). *Transit capacity and quality of service manual*, *3rd ed.* Transportation Research Board. https://doi.org/10.17226/24766
12. Corazza, M. V., & Favaretto, N. (2019). A Methodology to Evaluate accessibility to bus stops as a contribution to improve sustainability in urban mobility. *Sustainability. 11. 803.*
13. Kaszczyszyn, P., & Sypion, N. (2019). Walking access to public transportation stops for city residents. A comparison of methods. *Sustainability. 11. 13.*
14. PTV VISUM user manual. (2023). Karlsruhe: PTV Planung Transport Verkehr GmbH, 2694.
15. Sistuk, V. (2024). A comparative study of headway-based and transport system-based assignments of public transport in Visum: the city of Kryvyi Rih case. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, *124*, 173-184. https://doi.org/10.20858/sjsutst.2024.124.12
16. Verduzco, T., J.R., & McArthur, D.P. (2024). Public transport accessibility indicators to urban and regional services in Great Britain. *Scientific Data, 11, 53*. https://doi.org/10.1038/s41597-023-02890-w
17. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. (2019). *Український державний науково-дослідний інститут проектування міст «Діпромісто» імені Ю.М.Білоконя*. DBN B.2.2-12:2019. Planuvannia ta zabudova terytorii. (2019). *Ukrainskyi derzhavnyi naukovo-doslidnyi instytut proektuvannia mist «Dipromisto» imeni Yu.M.Bilokonia*. [DBN B.2.2-12:2019. Planning and development of territories. (2019). *Ukrainian State Research Institute of Urban Design "Dipromisto" named after Yurii Bilokon*]. [in Ukrainian].
18. *Портал Криворіжця*. (30.10.2024). *Portal Kryvorizhtsia* (30 October 2024). [Portal of Kryvyi Rih resident]. https://kpcep.dp.ua/mobilnyj-dodatok [in Ukrainian].
19. *Центр адміністративних послуг "Віза" ("Центр Дії")*. (30.10.2024). *Tsentr administratyvnykh posluh "Viza" ("Tsentr Dii")*. (30 October 2024). [Center for administrative services "Viza" ("Center Diia")]. https://viza.kr.gov.ua/#/ [in Ukrainian].
20. Методичні рекомендації з моделювання транспортних потоків під час оцінювання ефективності проєктних рішень щодо дорожньої інфраструктури. (2023). *ДП «НІРІ»)*. Metodychni rekomendatsii z modeliuvannia transportnykh potokiv pid chas otsiniuvannia efektyvnosti proiektnykh rishen shchodo dorozhnoi infrastruktury. (2023). *DP «NIRI»*. [Methodological recommendations for modeling traffic flows in assessing the effectiveness of design solutions for road infrastructure. (2023). *State*

Enterprise "National Institute of Infrastructure Development" (SE "NIID")]. [in Ukrainian].

Сістук Володимир Олександрович[1], к.т.н., доцент кафедри автомобільного транспорту, sistuk@knu.edu.ua, тел. +38 0987-614-099, ORCID: 0000-0003-4907-4265

[1]Криворізький національний університет, 50027, Україна, м. Кривий Ріг, вул. Віталія Матусевича, 11.

Analysis of public transport accessibility for mining districts of Kryvyi Rih

Abstract. Problem. *Mining and processing plants, along with a metallurgical plant, serve as the primary destinations and origins for work trips in Kryvyi Rih. The transport and pedestrian accessibility of public transport (PT) and its stops in these industrial areas are crucial, particularly given the city's linear planning structure characterized by scattered mining districts and economic activities concentrated along the main transport axis. Despite the extensive body of literature focused on PT accessibility, there has yet to be a study specifically examining the accessibility of PT for mining districts within a city that features a linear and dispersed planning structure.* ***Goal.*** *The aim of this study is to perform a comprehensive analysis of public transport accessibility (PTA) as an indicator of transport supply for the mining districts (zones) within the city's linearly dispersed urban structure.* ***Methodology.*** *The methodology for this comprehensive analysis of PTA relies on transport modeling using PTV Visum software, along with the collection of baseline data to evaluate shifts in transport demand in Kryvyi Rih from 2021 to 2024. Five zones with the highest job concentrations, as defined by Ukrainian Classification of Economic Activities B, were identified. PTA indicators were calculated for both the zones and their serving stops, with travel time set as the primary accessibility criterion, analysed through a comparison of accessibility isochrones. Given the large spatial extent of the mining zones, pedestrian accessibility to these stops is proposed to be evaluated based on the length of PT connectors and the area of each zone within the model.* ***Originality.*** *The study introduces, for the first time, the "limited accessibility of stops" indicator, defined as the ratio of the length of PT connectors to the area of the corresponding zones within the model. This indicator aims to account for the pedestrian accessibility of mining district's stops.* ***Practical value.*** *Proposed practical measures aim to enhance PT efficiency in terms of accessibility within a city characterized by a linearly dispersed planning structure.*

Key words: *transport accessibility, pedestrian accessibility, public transport, transport modeling, mining district, PTV Visum, accessibility isochrones*

Sistuk Volodymyr[1], Associate Professor, Ph.D, Automoble Transport Department,
sistuk@knu.edu.ua, tel. +38 0987-614-099,
ORCID: 0000-0003-4907-4265,

[1]Kryvyi Rih National University, 11, Vitaly Matusevich str., Kryvyi Rih, 50027, Ukraine.