

Топологічний аналіз автомобільної транспортної мережі Запорізької області

Олег Байтеряков¹

к. геогр. н., доцент кафедри географії та туризму,

¹ Мелітопольський державний педагогічний університет

імені Богдана Хмельницького, Запоріжжя, Україна,

e-mail: o.baiteriakov@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-7449-693X>;

Валерія Воронова²

² Київський національний лінгвістичний університет, Київ, Україна,

e-mail: vikvoronix@gmail.com,  <https://orcid.org/0009-0005-3551-9659>

Статтю присвячено виявленню особливостей і просторових відмінностей рівня автомобільної транспортної доступності території Запорізької області станом на 2021 р. Побудовано і проаналізовано графи автотранспортних мереж області та її адміністративних районів, до кожного графу складено відповідні матриці із зазначенням найкоротших відстаней. На підставі розрахунків проведено оцінку і порівняльний аналіз рівня автомобільної транспортної доступності адміністративних одиниць Запорізької області за топологічними методами з визначенням таких показників як абсолютний індекс доступності і число Кеніга, а також відносних показників – індекс Бавелаша і індекс Бошама та показників зв'язності мережі – α -, β -, γ -індекси. Аналіз графу транспортно-географічного положення районних центрів Запорізької області за абсолютними і відносними показниками свідчить про достатньо раціональну конфігурацію і зв'язаність автомобільної транспортної мережі. Найкраще положення за доступністю займає не обласний центр, а райцентр м. Василівка. Обласний центр за цими показниками посідає проміжне положення. При аналізі районних автотранспортних мереж виявлено, що мережі Запорізького, Мелітопольського і Пологівського районів відносяться до моноцентричного радіального типу, а Василівського і Бердянського районів мають замкнутий циклічний вигляд; при цьому відносні показники транспортної доступності демонструють деякі протиріччя у розподілі районів за співвідношенням індексів абсолютної транспортної доступності і кількості центрів територіальних громад. Зв'язаність центрів громад районних автотранспортних мереж області коливається від низького до середнього рівня. Найкращі показники зв'язаності характерні для Бердянського району з циклічною конфігурацією мережі. Запропоновано шляхи вдосконалення автомобільної транспортної доступності території адміністративних районів Запорізької області, що передбачають вдосконалення конфігурації районних транспортних мереж і реконструкцію автомобільних доріг.

Ключові слова: транспортна доступність, транспортна мережа, адміністративний район, топологічні методи, абсолютний індекс доступності, число Кеніга, індекс Бавелаша, індекс Бошама.

Як цитувати: Байтеряков Олег. Топологічний аналіз автомобільної транспортної мережі Запорізької області / Олег Байтеряков, Валерія Воронова // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2024. – Вип. 60. – С. 137-158. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-10>

In cites: Baiteriakov Oleg, Voronova Valeria (2024). Topological analysis of the automobile transport network of Zaporizhzhia region. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (60), 137-158. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-10> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Стан транспортного забезпечення та раціональність конфігурації транспортної мережі будь-якого регіону впливають на ступінь доступності населених пунктів території, на доцільність пасажирських і вантажних перевезень і, відповідно, на якість життя населення, на привабливість населених пунктів і на можливості соціально-економічного розвитку території. Після встановлення у 2020 році нового адміністративно-територіального поділу території Запорізької області і розподілу її на 5 нових адміністративних районів виникає потреба у дослідженні і оцінці їх автотранспортної забезпеченості для виявлення ступеню раціональності утворення цих, збільшених районів. Актуальність дослідження підвищується фактом повномасштабної російської агресії і необхідністю чіткого усвідомлення соціально-економічних реалій і проблем окупованих територій, що виникли напередодні війни. Це сприятиме відбудові і по-

дальшому розвитку території у повоєнний час з урахуванням попередніх проблем. Тому постає питання про дослідження автотранспортної мережі Запорізької області та її адміністративних районів як складової загального географічного комплексу регіону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Транспортна мережа є одним з найважливіших чинників соціально-економічного розвитку будь-якої території. В економічному сенсі транспорт продовжує виробничий процес і забезпечує доставку продукції інших галузей від місця виробництва до місця споживання. В соціальному плані транспорт визначає можливість населення дістатись до місця праці, навчання, об'єктів соціальної інфраструктури, медичних, культурних і розважальних закладів та ін. Тобто транспорт визначає ступінь доступності і безпосередньо впливає на рівень комфортності території для населення.

Дослідженням і визначенням понять транспортної мережі, системи і доступності займалися такі фахівці як Н.М. Бондар [4], П.М. Гашук, і С.Ю. Тимошенко [5], О.М. Загурський [9], Н.В. Кудрицька [10], К.В. Мезенцев [12], М.М. Мельничук [13], І.О. Пилипенко [15], Г.П. Підгрушний [16], С.О. Пугач [20], Т.В. Пушкар [21], Г.Ю. Родашук [23], Ю.Ю. Сільченко, Л.Л. Семенюк, А.В. Зарубіна [24], О.М. Ходаківський [26], Плекан У.М., Ляшук О.Л., Рожко Н.Я. і Цьонь О.П. [17] та ін.

Існує багато підходів та методів для дослідження регіональних автомобільних транспортних мереж. Одними з достатньо об'єктивних та інформативних є група топологічних методів до яких звертаються багато закордонних та вітчизняних дослідників. Наприклад, застосування топологічних методів для оцінки і характеристики міських дорожніх мереж висвітлено у працях M.G. Sreelekha, K. Krishnamurthy, M.V.L.R. Anjaneyulu (на прикладі міста Калікут або Кожикод, Індія) [37]; Z. Yang, H. Zhou, P. Gao, H. Chen, N. Zhang [41]; R. Thottolil, U. Kumar (на прикладі м. Бангалор, Індія) [39]; G. Dumedah, E.K. Garsonu (на прикладі міських дорожніх систем Гани) [29]; J. Hong, R. Tamakloe, S. Lee, D. Park (на прикладі Сеулу, Південна Корея) [31]; N.H. Tini, M.Z. Shah (на прикладі м. Абуджі, Нігерія) [40]; B. Jiang, C. Claramunt (на прикладі шведського міста Гавле) [32]. Інші дослідники застосовують топологічні методи як складову комплексного або більш багатогранного дослідження. Так N. Huynh, J. Barthelemy пропонують порівняльне дослідження топологічного аналізу та часового аналізу мережі системи громадського транспорту м. Хошимін у В'єтнамі [34]. Топологічні методи можуть застосовуватись для оцінки транспортних мереж територій різного масштабу, від невеликого району міста до території країни або цілого регіону. Наприклад, T. Tasoroulou, D. Tsiotas, S. Polyzos пропонують дослідження взаємодії між топологією мереж автобусного транспорту та регіональним розвитком у Греції [38].

Чимало досліджень присвячено застосуванню топологічних методів для моделювання, оптимізації та порівняння транспортних мереж. Наприклад, L. Kisgyörgy, G. Vasvari розглядають питання моделювання дорожніх мереж і порівняння їх з існуючими [33]; J. Pung, R.M. D'Souza, D. Ghosal, M. Zhang пропонують алгоритм застосування теорії графів для оптимізації дорожньої мережі [35]; R. Żochowska, P. Soczówka на основі теорії графів оцінюють і порівнюють різні структури транспортної мережі [42]; M. Chen, F. Wu, M. Yin, J. Xu на основі топологічних методів аналізують структуру планування дорожньої мережі на прикладі Китаю [28]; S. Freiria, B. Ribeiro,

A.O. Tavares на підставі застосування топологічних методів пропонують модель оцінки найважливіших доріг у мережі для оптимізації продуктивності транспортної системи у випадку стихійних лих [30]; W. Shang, Y. Chen, C. Song, W.Y. Ochieng аналізують стійкість міських дорожніх мереж з топологічної та експлуатаційної точок зору [36].

У вітчизняних дослідження транспортних мереж використання топологічних методів можна побачити у працях багатьох фахівців, наприклад таких як А.В. Кудряшов і О.О. Мазуренко [11]; Р. Рогальський, Н. Букартик, Г. Русановська [22]; В.С. Грицевич і М.І. Сеньків [5]; М.М. Мельничук і С.І. Ковальчук [13]; Ю.Ю. Сільченко, Л.Л. Семенюк, А.В. Зарубіна [24] та ін. Таким чином виявляється, що дослідженню транспортних мереж різного рангу із застосуванням топологічних методів в Україні і в світі останнім часом приділяється багато уваги.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Дослідженню автомобільної транспортної мережі Запорізької області приділено небагато уваги. Так, працях Н.Г. Фатюхи [25] наведено статистичну оцінку розвитку автомобільного транспорту області. Однак основний акцент у цьому дослідженні зроблено на функціональних питаннях роботи автотранспорту. К.Г. Неліпа в рамках дослідження суспільно-географічної трансформації системи розселення стисло розглядала топологічну схему міст обласного значення і районних центрів Запорізької області [14]. Однак ця схема була побудована до реформи адміністративно-територіального устрою тому нараховує 20 районних центрів. В 2020 р., внаслідок відповідної реформи, на території Запорізької області було створено 5 нових адміністративних районів замість попередніх 20, що суттєво вплинуло на структуру нових районних автотранспортних мереж і змінило доступність їх адміністративних центрів. Тому постає питання про дослідження особливостей автомобільної транспортної мережі і, відповідної, доступності території Запорізької області та її адміністративних районів до початку російської військової агресії.

Мета і завдання дослідження. Мета – виявити стан і просторові відмінності рівня автомобільної транспортної доступності території Запорізької області після реформи адміністративно-територіального устрою та напередодні російської військової агресії. Для досягнення мети дослідження було поставлено такі завдання:

- провести розрахунки і порівняльний аналіз результатів оцінки рівня автомобільної транспортної доступності адміністративних

одиниць Запорізької області за топологічними методами;

- виявити шляхи вдосконалення автомобільної транспортної доступності території адміністративних районів Запорізької області.

Матеріали і методи досліджень. Для дослідження стану і просторових відмінностей рівня автомобільної транспортної доступності території Запорізької області було обрано групу топологічних методів. Топологічні методи оцінки транспортної доступності враховують просторову організацію транспортної мережі території, її конфігурацію, кількість зв'язків між окремими пунктами та дозволяють порівняти отримані результати з показниками інших пунктів та територій. Вони базуються на оцінці доступності не території взагалі, а певних її пунктів, у нашому випадку – районних адміністративних центрів і центрів територіальних громад, що безпосередньо підкреслює практичну спрямованість оцінки. Тобто їх можна вважати у певному ступені антропоцентричними.

Застосування топологічних методів передбачає побудову графу, що відображає сукупність вершин (у нашому випадку райцентрів і центрів громад) і ребр (у нашому випадку автомобільних доріг), які сполучають ці вершини між собою. Граф надає загальне уявлення про розташування основних пунктів, напрямки і кількість зв'язків між ними. Додавання метричних показників щодо довжини зв'язків і якісних характеристик щодо категорії автодоріг підвищує інформативність графу.

На підставі графу будуються матриці, де зазначаються найкоротші відстані (у кількості ребр або в умовних кілометрах за автошляхами) між відповідними вершинами (окремими пунктами транспортної мережі). За даними матриць розраховуються показники ступеню доступності вершин і зв'язності мережі. Основними з них є такі абсолютні показники як абсолютний індекс доступності і число Кеніга та відносні – індекс Бавелаша і індекс Бошама, а також індекси зв'язності мережі (табл. 1).

Абсолютні показники надають уявлення про особливості транспортної мережі та доступність окремих пунктів за допомогою кількості зв'язків (ребр графу) або метричних характеристик (км). При цьому абсолютний індекс доступності характеризує сумарну довжину зв'язків певних пунктів транспортної мережі, а число Кеніга відображає зв'язки пунктів з іншими, найвіддаленішими від них. Крім того, у межах абсолютних показників доцільно виявляти ієрархічний характер зв'язків, тобто найкоротшу відстань від певних пунктів до адміністративних центрів району, області, країни.

Відносні показники дозволяють оцінити певні пункти і їх сукупність за співвідношенням їх основних характеристик, що допомагає їх порівняти.

Відносний індекс Бавелаша дозволяє зіставити і відобразити сумарну протяжність всієї сукупності зв'язків всіх пунктів транспортної мережі з протяжністю зв'язків певного її пункту.

Відносний індекс Бошама відображає відношення кількості пунктів мережі до протяжності зв'язків певного її пункту. Назва цього індексу в різних джерелах подається або «Бошама», або «Бічема», що пов'язано з особливостями перекладу цього французького прізвища. У перекладі безпосередньо з французької воно звучить як Бошам, у перекладі з англійських джерел – як Бічем. Ми вважаємо доречним варіант перекладу з першоджерела, тобто – Бошам.

До показників зв'язності мережі відносяться такі топологічні параметри: α -, β -, γ -індекси. Індекси приймають максимальні значення у випадках насичення мережі контактами.

Таким чином можна побачити, що підходи, показники, одиниці оцінки і методики оцінювання транспортної доступності території дещо відрізняються між собою. Тому для більш повного відображення стану транспортної доступності території Запорізької області і її районів варто скористатись кількома методиками та порівняти отримані результати.

Виклад основного матеріалу. Запорізька область розташована на південному сході України, вона займає переважно лівобережну частину басейну нижньої течії Дніпра. Центр – місто Запоріжжя. Територія області складає 27,18 тис. км², що становить 4,5 % території України. Протяжність із півночі на південь дорівнює 208 км, зі сходу на захід – 235 км. На півночі і північному заході межує з Дніпропетровською, на заході з Херсонською, на сході з Донецькою областями, а на півдні її узбережжя омиває Азовське море [8].

Природні і соціально-економічні умови області: рівнинний рельєф, м'який клімат, природно-рекреаційні ресурси, потужний промисловий потенціал, розвинене сільське господарство, щільна система розселення сприяли формуванню тут розгалуженої автотранспортної мережі.

На території області розташовано 950 населених пунктів з яких 14 міст і 936 населених пунктів сільського типу (згідно з Законом № 3285-ІХ «Про порядок вирішення окремих питань адміністративно-територіального устрою України» 2023 р.). Населення Запорізької області станом на 01.01.2022 р. складало 1 638,5 тис. осіб. Територія області Запорізької області поділяється на 5 адміністративних районів – Запорізький, Василівський, Пологівський, Мелітопольський і Бер-

Показники транспортної доступності за теорією графів /
Indicators of transport availability according to graph theory

Показник	Формула розрахунку	Примітка
Абсолютні показники транспортної доступності		
Абсолютний індекс доступності вершини	$S_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$ <p>S_i – абсолютний індекс доступності вершини a_{ij} – відстань до певної вершини</p>	Це сума найкоротших відстаней від однієї вершини до всіх інших вершин. Центральною є вершина з найменшим значенням індексу (тобто з найменшою сумою відстаней до всіх інших вершин графу)
Число Кеніга вершини i	$K_i = \max\{a_{ij}\}$ <p>K_i – число Кеніга a_{ij} – відстань до певної вершини</p>	Показує відстань від одного об'єкта до іншого, найбільш віддаленого від нього. Центральною є вершина з найменшим значенням індексу
Відносні показники транспортної доступності		
Індекс Бавелаша вершини i	$B_i = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{S_i}$ <p>B_i – індекс Бавелаша S_i – абсолютний індекс доступності вершини n – кількість вершин</p>	Характеризує відношення сумарного абсолютного індексу доступності до його значення для певного пункту транспортної мережі. Центральною є вершина з найбільшим значенням індексу
Індекс Бошама вершини i	$R_i = \frac{n-1}{S_i}$ <p>R_i – індекс Бошама S_i – абсолютний індекс доступності вершини n – кількість вершин</p>	Характеризує співвідношення між протяжністю показника абсолютної транспортної доступності та кількістю центрів транспортної системи. Центральною є вершина з найбільшим значенням індексу
Показники зв'язності графу		
α-індекс	$\alpha = \frac{(m-n+1)}{(2n-5)}$ <p>n – кількість вершин m – кількість ребр</p>	Відоображає надмірність зв'язків у мережі. Являє відношення цикломатичного числа до максимально можливої кількості циклів графу. Значення коливається від 0 до 1.
β-індекс	$\beta = \frac{m}{n}$ <p>n – кількість вершин m – кількість ребр</p>	Являє відношення кількості ребр мережі до кількості її вершин. Чим більше ребр пов'язує одне і те ж число вершин, тим більше циклів в мережі, тим складніше її структура і вище зв'язність. Значення індексу коливаються в межах від 0 до 3.
γ-індекс	$\gamma = \frac{m}{3 \cdot (n-2)}$ <p>n – кількість вершин m – кількість ребр</p>	Являє відношення числа ребр до їх максимально можливої кількості в мережі. Значення коливається від 0 до 1.

(Складено за даними [6; 7; 13])

дяньський, які об'єднали 67 територіальних громад [1; 3; 27].

Для забезпечення надійного пасажирського і вантажного сполучення численних населених пунктів на території області побудовано розгалужену автомобільну транспортну мережу.

Топологічний аналіз автотранспортної доступності території Запорізької області. Мережа автомобільних доріг з твердим покриттям

загального користування в Запорізькій області на 01.01.2021 р. складала 6834,3 км, з них доріг державного значення – 1643,3 км (міжнародних – 400 км, національних – 418,7 км, регіональних – 77,2 км, територіальних – 747,4 км), місцевого значення – 5191 км (обласних – 2424,1 км, районних – 2766,9 км) [18; 19].

Автомобільні шляхи області відрізняються досить строкатою структурою за категоріями.

Попри доволі значну загальну протяжність автомобільної транспортної мережі області автодороги I категорії склали лише 56,2 км або 0,8 %. Значно більша протяжність припадає на дороги II (929,2 км або 13,6 %) та III (1054,2 км або 15,4 %) категорій і найбільшою протяжністю характеризуються дороги IV (4658,7 км або 68,2 %) категорії. В той же час дороги V категорії мають протяжність лише 135,3 км або 2 %. Тобто майже 2/3 автодоріг області належать до мало комфортних за умовами пересування [18; 19].

Для загальної оцінки автомобільної транспо-

ртної доступності території Запорізької області було побудовано граф транспортно-географічного положення її районних центрів, що відображає взаємне розташування адміністративних одиниць та їх сусідство (рис. 1). З липня 2020 р. на території Запорізької області створено 5 адміністративних районів, замість 20, що існували раніше. Адміністративні центри цих районів утворили вершини відповідного графу [2].

Під час оцінки автомобільної транспортної доступності враховувалось не лише кількість і співвідношення ребр графу, але і відстань між

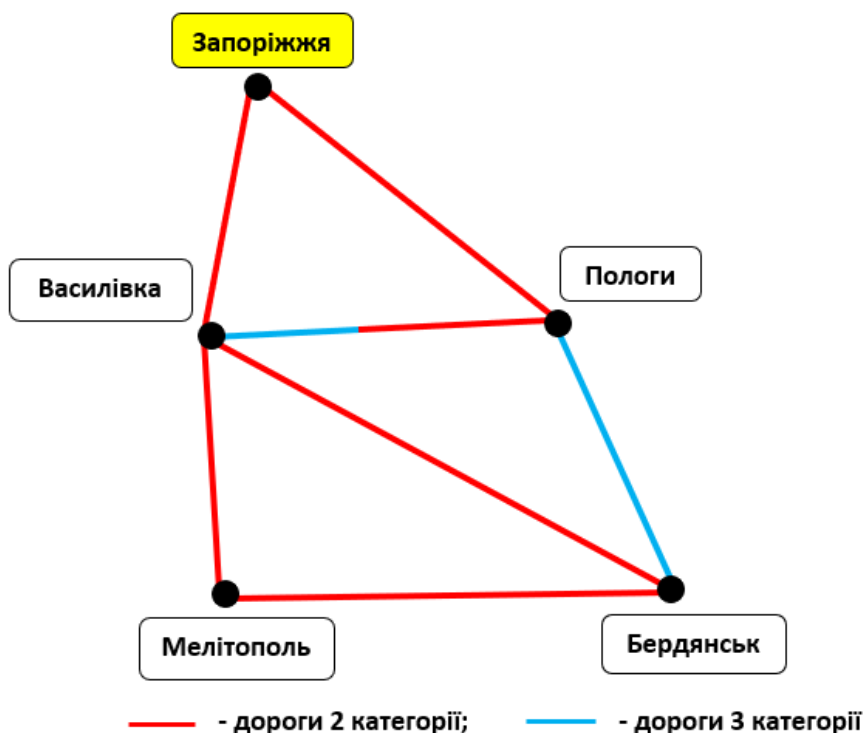


Рис. 1. Граф транспортної доступності Запорізької області /
Fig. 1. Graph of transport accessibility of Zaporizhzhia region

його вершинами. Це, як свідчать результати аналізу, дає більш точний результат. При цьому, відстань між населеними пунктами (вершинами графу) вимірювалась в умовних кілометрах (ум. км), що враховують умови пересування, такі як швидкість, час і комфортність руху. Ці умови залежать від категорії автомобільного шляху – кількості полос для руху, їх ширини та обладнання. Для визначення відстані в ум. км застосувались відповідні коефіцієнти на які помножувалась реальна відстань. Так, для шляхів першої категорії застосовано коефіцієнт 1, для другої категорії – 1,2, для третьої – 1,3, для четвертої – 1,4, для п'ятої – 1,5. Для визначення даних коефіцієнтів було застосовано експертну оцінку за участю професійних автомобільних пасажирських та вантажних перевізників і інструкторів водіння автошкіл.

На підставі графу автомобільного транспор-

тно-географічного положення районних центрів Запорізької області було здійснено розрахунки таких абсолютних і відносних показників, як абсолютний індекс доступності, число Кеніга, індекси центральності Бавелаша і Бошама, що характеризують ступінь доступності вершин графу, та індекси зв'язності вершин (табл. 2) і проаналізовано їх результати.

Абсолютний індекс доступності вершини графу, у даному випадку адміністративного центру району, характеризує суму відстаней до всіх інших районних центрів області. За цим індексом найкраще положення мають центри з найменшим показником. Як свідчать розрахунки, за кількістю ребр найменший абсолютний індекс – 4 – має районний центр Василівка, індекс – 5 встановлено у Бердянська і Пологів, показник інших центрів області дорівнює 6. Однак результати розрахунку цього показника за відстанню

Показники транспортної доступності території Запорізької області /
Indicators of transport accessibility of Zaporizhzhia region territory

Районні центри	Індекс абсолютної транспортної доступності (ум. км)	Число Кеніга (ум. км)	Індекс Бавелаша	Індекс Бошама
Бердянськ	688	239	4,3	0,005
Василівка	451	173	6,5	0,008
Запоріжжя	603	239	4,9	0,006
Мелітополь	623	212	4,7	0,006
Пологи	587	212	5,02	0,006

відрізняються. Найкраще, тобто центральне, положення зберігається за Василівкою з сумою відстаней 451 ум. км, далі з показниками від 587 до 623 ум. км розташовані Пологи, Запоріжжя і Мелітополь, а найгірше положення має Бердянськ (688 ум. км). Тобто можемо побачити чітку різницю у результатах між розрахунками за кількістю ребр і за відстанню.

Число Кеніга відноситься також до абсолютних показників, у нашому випадку воно характеризує найбільшу відстань від певного районного центру до іншого райцентру, найвіддаленішого від нього. Центральними вважаються центри з найменшими показниками. За кількістю ребр число Кеніга для Василівки складає 1 і для всіх інших райцентрів області однаково і дорівнює 2. У розрахунку цього показника за відстанню можна побачити певну диференціацію, кращий показник має Василівка (173 ум. км), середнє значення мають Мелітополь і Пологи (по 212 ум. км) і найбільше значення у Запоріжжя і Бердянська (по 239 ум. км).

Показником транспортної доступності, що враховує ієрархічний ступінь населених пунктів, є їхня доступність до адміністративного центру території, у нашому випадку — до обласного центру. Така доступність забезпечує населення можливістю отримання додаткових медичних, освітніх, соціальних, побутових та інших послуг. Для райцентрів Запорізької області доступність обласного центру коливається від 66 до 239 ум. км. Розбіг цього показника у 3,6 рази пояснюється значною площею області і розташуванням окремих райцентрів на її периферії. Найкраща доступність обласного центру спостерігається у Василівці (66 ум. км), проміжні значення даного показника мають м. Пологи (132 ум. км) та м. Мелітополь (166 ум. км), найвіддаленішим виявляється м. Бердянськ (239 ум. км). Такий розподіл доступності пов'язаний з розташуванням обласного центру на периферії транспортної мережі області.

За абсолютними показниками автомобільної транспортної доступності Запорізької області лі-

дирує Василівка. Значно гірше положення має Запоріжжя і найгірше – Бердянськ.

Відносний індекс Бавелаша показує відношення сумарного показника абсолютного індексу доступності всіх пунктів території до індексу певного пункту. Тобто він дозволяє зіставити протяжність транспортних шляхів від даного пункту з загальною протяжністю шляхів транспортної доступності всіх пунктів. Найбільше значення цього показника свідчить про краще транспортно-географічне положення пункту. Найбільш вигідне транспортно-географічне положення за індексом Бавелаша (у розрахунку за відстанню) з райцентрів Запорізької області має Василівка з показником 6,5, значно відстають від неї з незначним інтервалом між собою Пологи (5), Запоріжжя (4,9) і Мелітополь (4,7), найгірше положення має Бердянськ з показником лише 4,3.

Відносний індекс Бошама демонструє відношення загальної кількості пунктів транспортної мережі до абсолютного індексу доступності певного пункту. Він, на відміну від індексу Бавелаша, дозволяє зіставити протяжність транспортних шляхів від даного пункту не з протяжністю, а з насиченістю транспортної мережі опорними пунктами. Краще транспортне положення пункту визначається за більшим показником цього індексу. Серед райцентрів Запорізької області за індексом Бошама краще розташування належить Василівці (0,008), значно менший показник – 0,006 – мають Запоріжжя, Мелітополь, Пологи та дещо відстає від них Бердянськ (0,005).

Для визначення ефективності транспортної мережі застосовувались показники зв'язності графа – α -, β - і γ -індекси. Вони характеризують конфігурацію і особливості зв'язків в мережі. Для Запорізької області α -індекс, що відображає надмірність зв'язків у мережі шляхом визначення відношення до максимально можливої кількості циклів у графі, складає 0,6. Оскільки його максимальне можливе значення – 1, показник області свідчить про середній рівень ефективності мережі та зв'язаності райцентрів, що пояснюється циклічною конфігурацією автотранспорт-

ної мережі.

Ступінь розвиненості транспортної мережі оцінювалась за допомогою β -індексу, який відображає співвідношення кількості центрів та кількості зв'язків між ними і коливається від 0 до 3. В Запорізькій області даний індекс дорівнює 1,4, що також свідчить про середню зв'язаність її центрів.

Співвідношення реальної кількості зв'язків транспортної мережі з їх максимально можливо характеризує γ -індекс, значення якого для Запорізької області складає 0,77. Цей показник свідчить про достатній ступінь зв'язаності мережі (його максимально можливе значення – 1).

Таким чином, топологічний аналіз графу транспортно-географічного положення районних центрів Запорізької області за абсолютними і відносними показниками свідчить про достатньо раціональну конфігурацію і зв'язаність автомобільної транспортної мережі. Найкраще, тобто центральне, положення за доступністю займає не обласний центр, а райцентр м. Василівка, найгірше належить Бердянську. Обласний центр – м. Запоріжжя – за цими показниками займає проміжне положення, що пояснюється його розташуванням на крайньому північному заході області і, відповідно, значною віддаленістю від інших населених пунктів [2].

Топологічний аналіз автомобільної транспортної доступності адміністративних районів Запорізької області. Оцінка автомобільної транспортної доступності адміністративних районів Запорізької області проводилась на рівні центрів територіальних громад. Для цього було

побудовано відповідні графи (рис. 2-6), визначено конфігурацію транспортних мереж, здійснено розрахунки абсолютного індексу доступності, числа Кеніга, доступності райцентру, індексів центральності Бавелаша і Бошама для всіх центрів територіальних громад, та індексів зв'язності вершин (табл. 3) кожного району.

Аналіз графів показав, що автомобільні транспортні мережі районів області за конфігурацією відрізняються між собою. Так мережі Запорізького, Мелітопольського і Пологи́вського районів відносяться до моноцентричного радіального типу з розташуванням адміністративних центрів районів саме у центрі мережі (рис. 4-6). Таке розташування центрів має забезпечити їх зручну топологічну досяжність від інших населених пунктів. Кількість радіальних промінів, тобто зв'язків адміністративних центрів, в них коливається від п'яти у Пологи́вського до восьми у Запорізького районів. Але більшість пунктів мають лише по два-три зв'язки, а в пунктів, що знаходяться на периферії мережі, взагалі спостерігається по одному зв'язку внаслідок чого в них найменша топологічна доступність. При цьому транспортну мережу Пологи́вського району можна віднести і до радіально-кільцевого типу.

Транспортні мережі Васи́лівського і Бердянського районів мають замкнутий циклічний вигляд, що нагадують прямокутники. У мережі Васи́лівського району є два невеликих відхилення на півночі та заході (рис. 2, рис. 3). Адміністративний центр району знаходиться у північно-східній частині мережі, це дещо віддаляє його від інших пунктів району, але його розташування

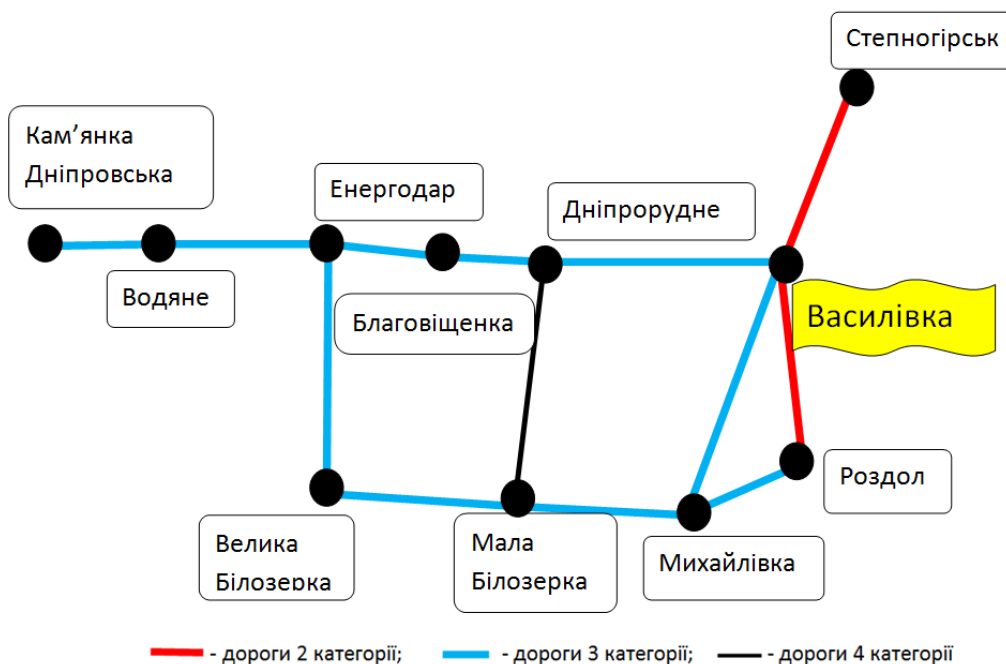


Рис. 2. Граф транспортної доступності Васи́лівського району /
Fig. 2. Graph of transport accessibility of Vasylivsky district

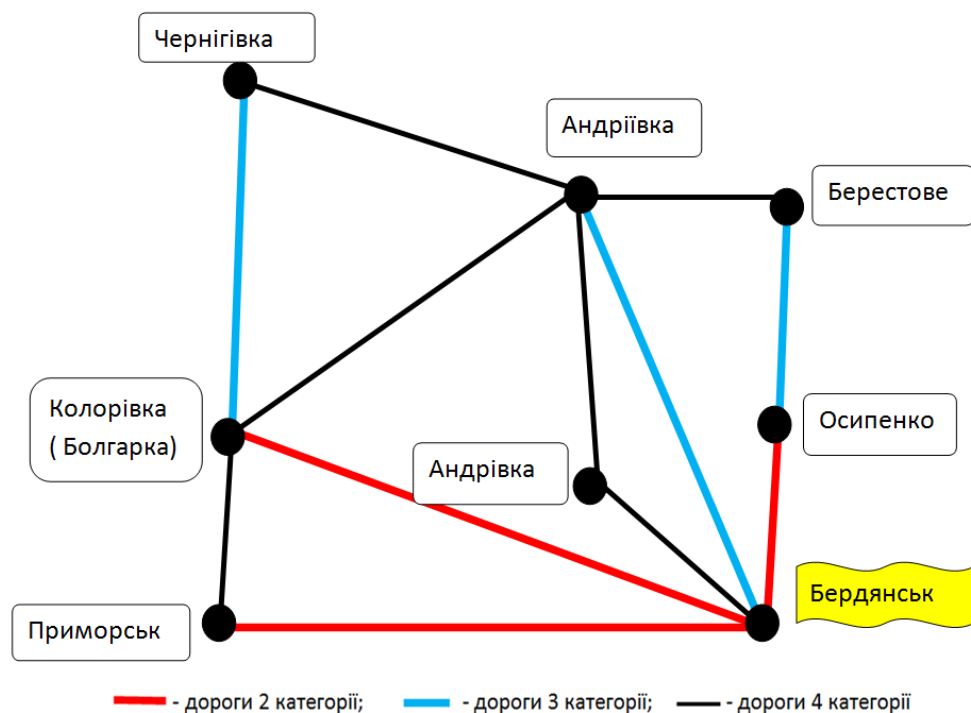


Рис. 3. Граф транспортної доступності Бердянського району /
Fig. 3. Graph of transport accessibility of Berdiansk district

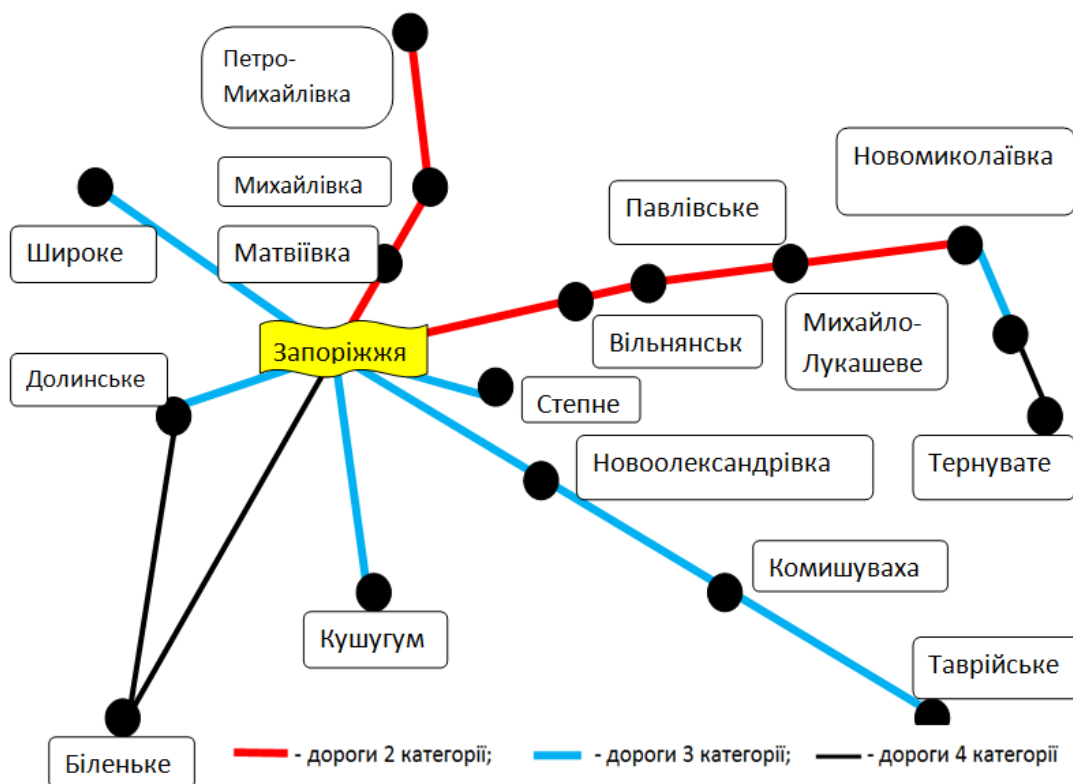


Рис. 4. Граф транспортної доступності Запорізького району /
Fig. 4. Graph of transport accessibility of Zaporizhzhia district

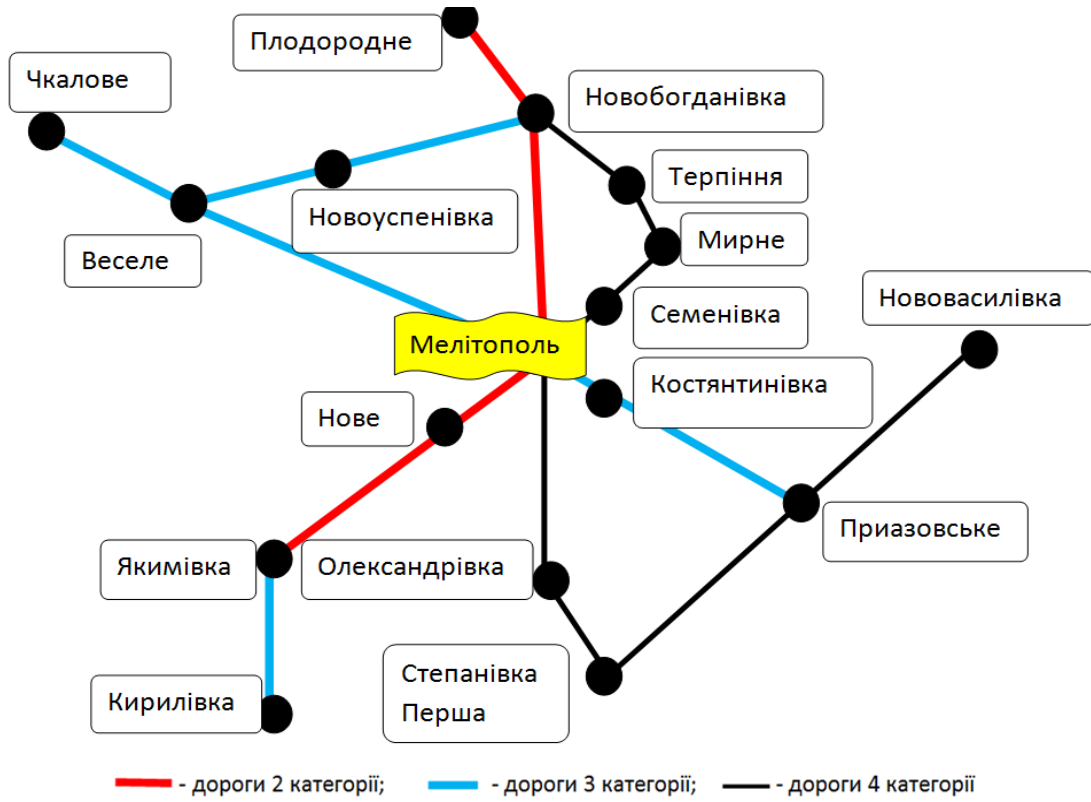


Рис. 5. Граф транспортної доступності Мелітопольського району /
Fig. 5. Graph of transport accessibility of Melitopol district

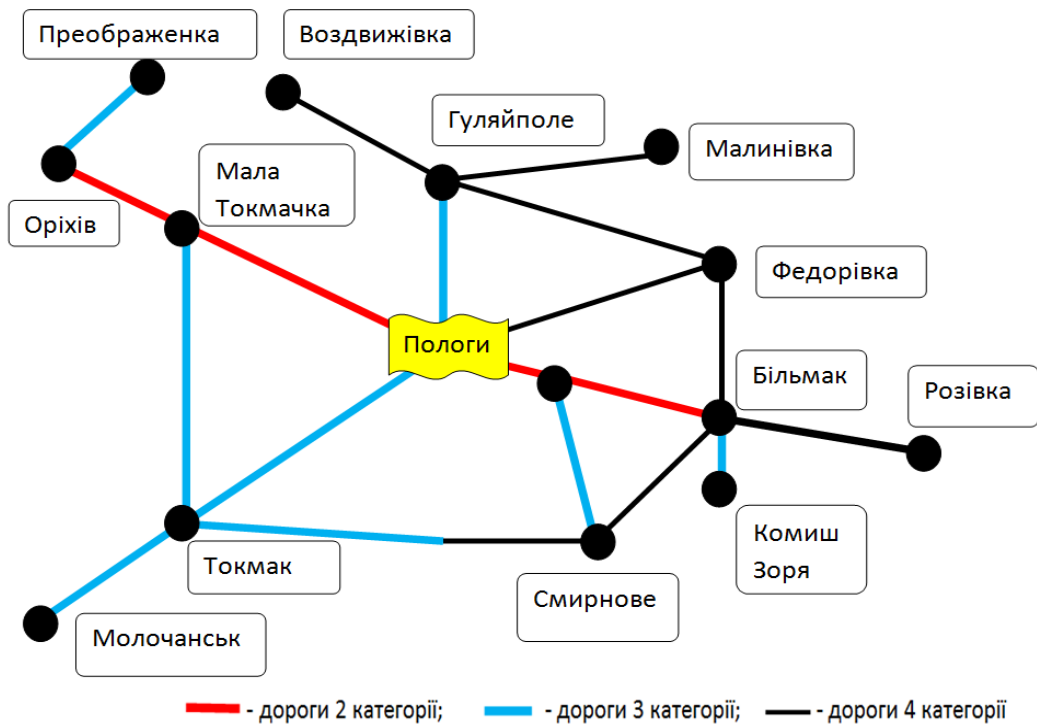


Рис. 6. Граф транспортної доступності Пологівського району /
Fig. 6. Graph of transport accessibility of Polohy district

на автомобільній трасі державного значення забезпечує оптимальну сполученість з обласним центром.

Транспортна мережа Бердянського району має більш складну конфігурацію, крім циклічного прямокутника в ній визначаються зв'язки, що сполучають її пункти за коротшими напрямками (рис. 3). Адміністративний центр району розташований у південно-східній частині мережі, що віддаляє його як від інших пунктів району, так і від адміністративного центру області.

Циклічний характер з проміжними зв'язками транспортних мереж Василівського і Бердянського районів має забезпечити більш оптималь-

ну доступність всередині мережі між її пунктами за рахунок прокладання більш раціональних маршрутів.

Абсолютні індекси транспортної доступності центрів територіальних громад мають значні відмінності за районами області. Так їх середні показники коливаються в широких межах від 443 до 1237 ум. км, тобто відрізняються у 2,9 рази (табл. 3). Цей індекс залежить від площі району, кількості центрів громад, відстані між ним та конфігурації транспортної мережі.

Найкращий середній індекс абсолютної транспортної доступності центрів громад – 443 ум. км спостерігається у Бердянського району, що по-

Таблиця 3 / Table 3

Середні значення абсолютних показників топологічної автомобільної транспортної доступності адміністративних районів Запорізької області /
Average values of absolute indicators of topological road transport accessibility of administrative districts of Zaporizhzhia region

Райони	Абсолютний індекс транспортної доступності (ум. км)	Число Кеніга (ум. км)	Доступність адміністративного центру району (ум. км)
Бердянський	443	98	54
Василівський	737	126	69
Запорізький	1237	149	46
Мелітопольський	1183	153	49
Пологівський	1157	158	61

яснюється відносно невеликою в межах області площею району (16,36 %), найменшою кількістю територіальних громад – 8 – та доволі раціональною циклічною конфігурацією транспортної мережі. Навіть найбільший показник індексу дорівнює лише 541 ум. км, що менше за значення в інших районах.

Найгірший середній абсолютний індекс транспортної доступності – 1237 ум. км – характерний для Запорізького району. На це впливає радіальна конфігурація транспортної мережі і значна кількість територіальних громад (17 громад). Тут спостерігається дуже великий розбіг у значеннях індексу окремих пунктів – від 736 до 2135 ум. км. Найкраще транспортне положення має Запоріжжя у зв'язку з розташуванням у центрі перетину автомобільних шляхів. Найгірші показники індексу в с. Тернуватого (2135 ум. км), с. Таврійського (1604 ум. км) і с. Новомиколаївка (1595 ум. км) внаслідок їхнього розташування на крайній периферії транспортної мережі. Індекс абсолютної доступності більшості центрів громад внаслідок їх розташування ближче до центру системи складає 974-1201 ум. км (табл. 4).

Мелітопольський район займає передостаннє місце за середнім показником абсолютного індексу транспортної доступності, що складає 1183 ум. км. Даний район має найбільшу площу

в області (25,97 %), значну кількість територіальних громад – 16 і радіальну конфігурацію транспортної мережі, що віддаляє окремі центри громад між собою. При цьому найкращий показник – 732 ум. км – належить Мелітополю, розташованому на перетині транспортних шляхів мережі, а найгірший – 2158 ум. км – має с. Кирилівка, яка знаходиться на крайній периферії і має лише один зв'язок. У більшості центрів району індекс абсолютної транспортної доступності складає 1021-1495 ум. км (табл. 5).

Значний показник середнього абсолютного індексу транспортної доступності Пологівського району (1157 ум. км) можна пояснити його значною площею, доволі великою кількістю територіальних громад (15 громад) і радіальною конфігурацією транспортної мережі. Розбіг індексу окремих центрів громад досить значний – від 797 до 1665 ум. км. Найкращий показник має районний центр м. Пологи за рахунок розташування у центрі транспортної мережі. Індекс більшості центрів громад коливається у відносно незначних межах 1037-1240 ум. км (табл. 6).

Абсолютний індекс автомобільної транспортної доступності інших районів має проміжні значення. У Василівського району його середній показник складає 737 ум. км, чому сприяє відносно невелика площа району і циклічна конфігура-

Таблиця 4 / Table 4

Матриця відстаней (ум. км) і індексів доступності автомобільної транспортної мережі Запорізького району /
Matrix of distances (in km) and availability indices of the road transport network of the Zaporizhzhia district

	Біленьке	Вільнянськ	Долинське	Запоріжжя	Комишуваха	Кушугум	Матвіївка	Михайло-Лукашеве	Михайлівка	Новомиколаївка	Новоолександрівка	Павлівське	Петро-Михайлівка	Степне	Таврійське	Тернувате	Широкі	Абсолютний індекс доступності	Число Кеніга	Індекс Бавелаша	Індекс Бошама
Біленьке	0	86	31	52	100	76	72	104	84	137	80	89	105	72	120	173	83	1464	173	14,33	0,0109
Вільнянськ	86	0	65	34	82	58	54	18	66	51	62	3	87	54	102	87	65	974	102	21,52	0,0164
Долинське	31	65	0	31	79	55	51	83	63	116	59	68	84	51	99	152	62	1149	152	18,26	0,0139
Запоріжжя	52	34	31	0	48	24	20	52	32	85	28	37	53	20	68	121	31	736	121	28,51	0,0217
Комишуваха	100	82	79	48	0	72	68	100	80	133	20	85	101	68	20	169	79	1304	169	16,09	0,0122
Кушугум	76	58	55	24	72	0	44	76	56	109	52	61	77	44	92	145	55	1096	145	19,14	0,0145
Матвіївка	72	54	51	20	68	44	0	72	12	105	48	57	73	40	88	141	51	996	141	21,06	0,0160
Михайло-Лукашеве	104	18	83	52	100	76	72	0	84	33	80	15	105	72	120	69	83	1166	120	17,99	0,0137
Михайлівка	84	66	63	32	80	56	12	84	0	117	60	45	21	52	100	153	63	1088	153	19,28	0,0147
Новомиколаївка	137	51	116	85	133	109	105	33	117	0	113	48	138	105	153	36	116	1595	153	13,15	0,0100
Новоолександрівка	80	62	59	28	20	52	48	80	60	113	0	65	81	48	40	149	59	1044	149	20,09	0,0153
Павлівське	89	3	68	37	85	61	57	15	45	48	65	0	90	57	105	84	68	977	105	21,47	0,0163
Петро-Михайлівка	105	87	84	53	101	77	73	105	21	138	81	90	0	73	121	174	84	1467	174	14,30	0,0109
Степне	72	54	51	20	68	44	40	72	52	105	48	57	73	0	88	141	51	1036	141	20,25	0,0154
Таврійське	120	102	99	68	20	92	88	120	100	153	40	105	121	88	0	189	99	1604	189	13,08	0,0099
Тернувате	173	87	152	121	169	145	141	69	153	36	149	84	174	141	189	0	152	2135	189	9,82	0,0074
Широкі	83	65	62	31	79	55	51	83	63	116	59	68	84	51	99	152	0	1201	152	18,21	0,0138
Середні значення				46														1237	149	18,03	0,0137

■ - найкращі показники ■ - найгірші показники ■ - середні показники

Таблиця 5 / Table 5

Матриця відстаней (ум. км) і індексів доступності автомобільної транспортної мережі Мелітопольського району /
Matrix of distances (in km) and availability indices of the road transport network of the Melitopol district

Центри територіальних громад	Веселе	Кирилівка	Костянтинівка	Мелітополь	Мирне	Нове	Новобогданівка	Нововасилівка	Новоуспенівка	Олександрівка	Плодородне	Приазовське	Семенівка	Терпіння	Чкалове	Якимівка	Абсолютний індекс доступності	Число Кеніга	Індекс Бавелаша	Індекс Бошама
Веселе	0	172	75	63	84	79	49	123	15	129	67	103	76	75	34	97	1241	172	16,16	0,0115
Кирилівка	172	0	121	109	134	93	146	169	180	175	164	149	122	143	206	75	2158	206	9,52	0,0068
Костянтинівка	75	121	0	12	37	28	49	48	83	78	67	28	25	46	109	46	852	121	24,03	0,0172
Мелітополь	63	109	12	0	25	16	37	60	71	66	55	40	13	34	97	34	732	109	27,56	0,0197
Мирне	84	134	37	25	0	41	35	85	69	91	53	65	12	9	118	59	917	134	21,89	0,0156
Нове	79	93	28	16	41	0	53	76	87	82	71	56	29	50	113	18	892	113	22,65	0,0162
Новобогданівка	49	146	49	37	35	53	0	97	34	103	18	77	47	26	83	71	925	146	21,47	0,0153
Нововасилівка	123	169	48	60	85	76	97	0	131	83	115	20	73	94	157	94	1425	169	14,95	0,0107
Новоуспенівка	15	180	83	71	69	87	34	131	0	137	52	111	81	60	49	105	1265	180	15,79	0,0113
Олександрівка	129	175	78	66	91	82	103	83	137	0	121	63	79	100	163	100	1570	175	14,12	0,0101
Плодородне	67	164	67	55	53	71	18	115	52	121	0	95	65	44	101	89	1177	164	17,05	0,0122
Приазовське	103	149	28	40	65	56	77	20	111	63	95	0	53	74	137	74	1145	149	18,70	0,0133
Семенівка	76	122	25	13	12	29	47	73	81	79	65	53	0	21	110	47	853	122	23,65	0,0169
Терпіння	75	143	46	34	9	50	26	94	60	100	44	74	21	0	109	68	953	143	20,97	0,0150
Чкалове	34	206	109	97	118	113	83	157	49	163	101	137	110	109	0	131	1717	206	11,80	0,0084
Якимівка	97	75	46	34	59	18	71	94	105	100	89	74	47	68	131	0	1108	131	18,30	0,0131
Середні значення				49													1183	153	18,66	0,0133

■ - найкращі показники ■ - найгірші показники ■ - середні показники

ція транспортної мережі. Окремі центри району мають порівняно невеликий розбіг за цим індексом від 565 до 941 ум. км. Індекс районного центру – м. Василівка – дорівнює лише 689 ум. км

(табл. 7).

Найбільші відміни індексу абсолютної транспортної доступності можна спостерігати в окремих центрах територіальних громад області.

Таблиця 6 / Table 6

Матриця відстаней (ум. км) і індексів доступності автомобільної транспортної мережі Пологівського району /
Matrix of distances (in km) and availability indices of the road transport network of the Polohy district

	Більмак	Воздвижівка	Гуляйполе	Комиш Зоря	Мала Токмачка	Малинівка	Молочанськ	Оріхів	Пологи	Преображенка	Розівка	Смирнове	Токмак	Федорівка	Абсолютний індекс доступності	Число Кьонига	Індекс Бавелаша	Індекс Бошама
Більмак	0	99	66	7	101	95	153	113	63	118	53	31	135	48	1082	153	14,91	0,012
Воздвижівка	99	0	33	106	74	62	129	86	36	91	152	130	111	70	1149	152	14,04	0,011
Гуляйполе	66	33	0	73	41	29	96	53	30	58	119	97	78	37	810	119	20,61	0,016
Комиш Зоря	7	106	73	0	108	102	160	120	70	125	60	38	142	55	1166	160	13,84	0,011
Мала Токмачка	101	74	41	108	0	70	80	12	38	17	154	132	62	83	970	154	16,64	0,013
Малинівка	95	62	29	102	70	0	125	82	32	87	148	126	107	66	1131	148	14,27	0,011
Молочанськ	153	129	93	160	80	125	0	92	93	97	206	122	18	138	1506	206	10,71	0,008
Оріхів	113	86	53	120	12	82	92	0	50	5	166	178	74	95	1126	178	14,33	0,011
Пологи	63	36	30	70	38	32	93	50	0	55	116	94	75	45	797	116	20,96	0,016
Преображенка	118	91	58	125	17	87	97	5	55	0	171	149	79	100	1152	171	14,01	0,011
Розівка	53	152	119	60	154	148	206	166	116	171	0	84	135	101	1665	206	9,69	0,007
Смирнове	31	130	97	38	132	126	122	178	94	149	84	0	104	79	1364	178	11,83	0,009
Токмак	135	111	78	142	62	107	18	74	75	79	135	104	0	120	1240	135	13,01	0,010
Федорівка	48	70	37	55	83	66	138	95	45	100	101	79	120	0	1037	138	15,56	0,012
									61						1157	158	14,60	0,011

■ - найкращі показники ■ - найгірші показники ■ - середні показники

Таблиця 7 / Table 7

Матриця відстаней (ум. км) і індексів доступності автомобільної транспортної мережі Василівського району /
Matrix of distances (in km) and availability indices of the road transport network of the Vasylivsky district




	Благовіщенка	Василівка	Велика Білозерка	Водяне	Дніпрорудне	Енергодар	Кам'янка Дніпровська	Мала Білозерка	Михайлівка	Роздол	Степногірськ	Абсолютний індекс доступності	Число Кеніга	Індекс Бавелаша	Індекс Бошама
Благовіщенка	0	65	72	52	28	30	63	57	92	92	89	640	92	12,66	0,015
Василівка	65	0	93	117	37	95	128	69	34	27	24	689	128	11,76	0,014
Велика Білозерка	72	93	0	64	53	42	75	24	59	82	114	678	114	11,95	0,014
Водяне	52	117	64	0	80	22	11	88	123	146	141	844	146	9,6	0,011
Дніпрорудне	28	37	53	80	0	58	91	29	64	64	61	565	91	14,35	0,017
Енергодар	30	95	42	22	58	0	33	66	101	122	119	688	122	11,78	0,014
Кам'янка Дніпровська	63	128	75	11	91	33	0	99	134	155	152	941	155	8,61	0,010
Мала Білозерка	57	69	24	88	29	66	99	0	35	58	93	618	99	13,11	0,016
Михайлівка	92	34	59	123	64	101	134	35	0	23	58	723	134	11,21	0,013
Роздол	92	27	82	146	64	122	155	58	23	0	51	820	155	9,88	0,012
Степногірськ	89	24	114	141	61	119	152	93	58	51	0	902	152	9,98	0,011
Середні значення		69										737	126	11,35	0,013

■ - найкращі показники ■ - найгірші показники ■ - середні показники

Матриця відстаней (ум. км) і індексів доступності автомобільної транспортної мережі Бердянського району /

Matrix of distances (in km) and availability indices of the road transport network of the Berdiansk district

	Андрівка	Андріївка	Бердянськ	Берестове	Колорівка (Болгарка)	Осіпенко	Приморськ	Чернігівка	Абсолютний індекс доступності	Число Кеніга	Індекс Бавелаша	Індекс Бошама
Андрівка	0	37	38	64	83	64	84	87	457	87	7,75	0,015
Андріївка	37	0	51	27	46	63	83	50	357	83	9,92	0,019
Бердянськ	38	51	0	62	52	26	46	101	376	101	9,42	0,018
Берестове	64	27	62	0	73	36	108	77	447	108	7,92	0,015
Колорівка (Болгарка)	83	46	52	73	0	78	37	38	407	83	8,7	0,017
Осіпенко	64	63	26	36	78	0	72	113	452	113	7,83	0,015
Приморськ	84	83	46	108	37	72	0	75	505	108	7,01	0,013
Чернігівка	87	50	101	77	38	113	75	0	541	113	6,54	0,012
Середні значення			54						443	98	8,13	0,0155

 - найкращі показники  - найгірші показники  - середні показники

Вони коливаються від 357 в с. Андріївка Бердянського району до 2158 ум. км в с. Кирилівка Мелітопольського району, тобто відрізняються у 6 разів (табл. 8; 9).

Число Кеніга, що у нашому випадку характеризує найбільшу відстань між центрами територіальних громад районів, з урахуванням більш комфортних автомобільних доріг в адміністративних районах Запорізької області коливається в середньому від 98 до 158 ум. км, тобто відрізняється між собою в 1,6 рази (табл. 3). За цим показником лідируюче положення зберігає Бердянський район, де найбільші відстані коливаються в межах лише 83-113 ум. км. Проміжне положення за числом Кеніга належить Василівському району з середнім показником 126 ум. км. Однак коливання між окремими пунктами тут більше – 91-155 ум. км. На кращі показники Бердянського і Василівського районів впливає їх відносно невелика площа і циклічний тип транспортної мережі (табл. 7; 8; 9. Рис. 7).

Найбільшими середніми значеннями числа Кеніга відрізняються з невеликою різницею між собою Пологівський (158 ум. км), Мелітопольський (153 ум. км) і Запорізький (149 ум. км) райони. Можна помітити, що і за коливанням абсолютних значень даного показника ці райони досить близькі – 116-206 ум. км в Пологівського, 113-206 ум. км в Мелітопольського, 102-189 ум. км в Запорізького районів. Значні показники числа Кеніга даних районів можна пояснити їх зна-

чною площею і радіальною конфігурацією транспортної мережі (табл. 9).

Аналіз числа Кеніга окремих центрів територіальних громад області свідчить про значно менший розбіг значень порівняно з абсолютним індексом транспортної доступності. Так найкращий показник числа Кеніга – 83 ум. км (с. Андріївка Бердянського району) і найгірший – 206 ум. км (с. Кирилівка Мелітопольського та с. Розівка Пологівського районів) відрізняються лише у 2,5 рази. Ця різниця полягає в тому, що число Кеніга характеризує лише один напрямок зв'язків пунктів тоді як індекс абсолютної транспортної доступності відображає всю їх сукупність (табл. 9).

Порівнюючи показники абсолютного індексу транспортної доступності і числа Кеніга, можна побачити, що для окремих центрів ці показники не завжди співпадають. Наприклад, в Запорізькому районі група пунктів з найгіршими цими показниками залишається без змін, але лідируючі позиції за числом Кеніга відійшли від Запоріжжя, яке лідирувало за абсолютним індексом доступності до Вільнянська і Павлівського, що пояснюється їх розташуванням ближче до середини найбільш довгого променя транспортної мережі району (табл. 4).

Важливим показником транспортної доступності району можна вважати доступність його адміністративного центру. Вона демонструє можливість отримання населенням додаткових медичних, освітніх, соціальних, побутових та інших

Поляризація центрів територіальних громад Запорізької області
за показниками транспортної доступності /
Polarization of the centers of territorial communities of Zaporizhzhia region
according to indicators of transport accessibility

Центри з найкращими показниками		Центри з найгіршими показниками		MAX / MIN
Показники	Центри (райони)	Показники	Центри (райони)	
Індекс абсолютної транспортної доступності (ум. км)				
357	Андріївка (Бердянський)	541	Чернігівка (Бердянський)	6
565	Дніпрорудне (Василівський)	941	Кам'янка-Дніпровська (Василівський)	
736	Запоріжжя (Запорізький)	2135	Тернувате (Запорізький)	
732	Мелітополь (Мелітопольський)	2158	Кирилівка (Мелітопольський)	
797	Пологи (Пологівський)	1665	Розівка (Пологівський)	
Число Кеніга (ум. км)				
83	Андріївка (Бердянський)	113	Чернігівка (Бердянський)	2,5
91	Дніпрорудне (Василівський)	155	Кам'янка-Дніпровська (Василівський)	
102	Вільнянськ (Запорізький)	189	Тернувате (Запорізький)	
109	Мелітополь (Мелітопольський)	206	Кирилівка (Мелітопольський)	
116	Пологи (Пологівський)	206	Розівка (Пологівський)	
Доступність адміністративного центру району (ум. км)				
26	Осипенко	101	Чернігівка	10,6
24	Степногірськ	128	Кам'янка-Дніпровська	
20	Степне	121	Тернувате	
12	Костянтинівка	109	Кирилівка	
30	Гуляйполе	116	Розівка	
Індекс Бавелаша				
9,92	Андріївка (Бердянський)	6,54	Чернігівка (Бердянський)	4,3
14,35	Дніпрорудне (Василівський)	8,61	Кам'янка-Дніпровська (Василівський)	
28,51	Запоріжжя (Запорізький)	9,82	Тернувате (Запорізький)	
27,56	Мелітополь (Мелітопольський)	9,52	Кирилівка (Мелітопольський)	
20,96	Пологи (Пологівський)	9,69	Розівка (Пологівський)	
Індекс Бошама				
0,0190	Андріївка (Бердянський)	0,0120	Чернігівка (Бердянський)	3,2
0,0170	Дніпрорудне (Василівський)	0,0100	Кам'янка-Дніпровська (Василівський)	
0,0217	Запоріжжя (Запорізький)	0,0074	Тернувате (Запорізький)	
0,0197	Мелітополь (Мелітопольський)	0,0068	Кирилівка (Мелітопольський)	
0,0160	Пологи (Пологівський)	0,0070	Розівка (Пологівський)	

РАЙОНИ
Запорізької області

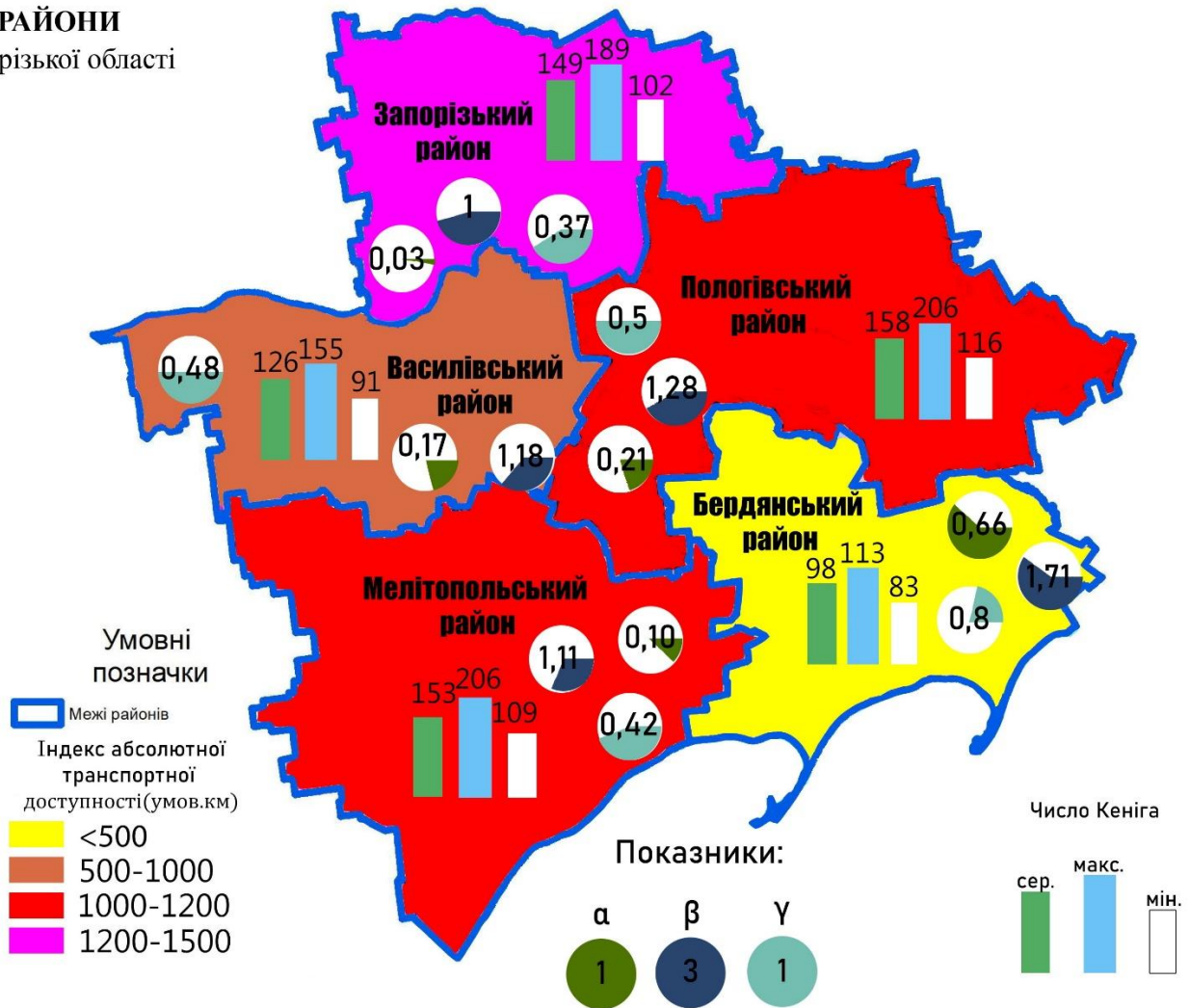


Рис. 7. Характеристика транспортної доступності адміністративних районів Запорізької області / Fig. 7. Characteristics of transport accessibility of administrative districts of Zaporizhzhia region

послуг. Дану доступність можна визначити за відповідною відстанню. Для центрів територіальних громад Запорізької області доступність районного адміністративного центру коливається в межах 12-128 ум. км (табл. 9). Тобто найкращі та найгірші показники відрізняються у десять разів. Такий розбіг показника пояснюється значною площею районів і розташуванням певних центрів на їх периферії.

Порівняння крайніх значень показнику доступності райцентру демонструє, що райони області мало відрізняються між собою. Так, найкраща доступність райцентрів для центрів територіальних громад в усіх районах не перевищує 30 ум. км, що забезпечує їм часову доступність до центру району до 30-40 хвилин. Найвіддаленіші пункти мають показники 101-128 ум. км, тобто їхня часова доступність перевищує одну годину. Віддаленість багатьох центрів територіальних громад області не перевищує 50 ум. км, що відповідає часовій доступності до однієї години.

За середнім показником доступності адміністративного центру група районів-лідерів змінюється (табл. 3), до них відносяться Запорізький (46 ум. км) і Мелітопольський (49 ум. км). Цьому сприяє розташування райцентрів у середині радіальної транспортної мережі. Проміжне положення займає Бердянський район (54 ум. км) і найбільші показники в Пологівського (61 ум. км) і Василівського (69 ум. км) районів з їх значними відстанями центрів громад від райцентру.

Аналізуючи дані доступності райцентрів Запорізької області можна констатувати, що радіальна конфігурація транспортної мережі з розташуванням райцентру всередині збільшує відстані між окремими центрами громад району, але сприяє їх кращій доступності до адміністративного центру району. Відносно незначні розбіжності середніх показників доступності райцентру, що відрізняються лише у 1,5 рази, свідчать про раціональний характер формування нових районів області.

Для визначення ступеню транспортної дос-

тупності території окрім абсолютних застосовують також відносні показники, які дозволяють представити транспортне положення певного пункту або території відносно інших у даній транспортній мережі. До таких показників відносять індекс Бавелаша, індекс Бошама та показники зв'язності графа – α -, β - і γ -індекси.

Відносний індекс Бавелаша, що дозволяє порівняти доступність певних центрів за відношенням до сумарного показника абсолютної доступності всіх пунктів території, для Запорізької області коливається від 6,54 до 28,51, тобто відрізняється у 4,3 рази (табл. 9). Найвищий, тобто найкращий, показник даного індексу – 28,51 — має Запоріжжя, що підтверджує його центральне місце у районній транспортній мережі. До групи лідерів за цим показником з невеликим відривом відноситься м. Мелітополь з індексом 27,56 і дещо більшою різницею м. Пологи з індексом 20,96. Дані пункти мають найкраще транспортне положення у своїх районах, що свідчить про доцільність обрання саме їх райцентрами для формування нових районів.

Найменший індекс Бавелаша в області зафіксовано у таких пунктах як Чернігівка (Бердянський) – 6,54, Кам'янка-Дніпровська (Василівський) – 8,61, Кирилівка (Мелітопольський) – 9,52, Розівка (Пологівський) – 9,69, Тернувате (Запорізький) – 9,82 (табл. 9). Тобто група пунк-

тів з найгіршими показниками залишається незмінною, на що впливає їх периферійне розташування у районних транспортних мережах. Фактично можна спостерігати відповідність ранжирування за даним показником і за індексом абсолютної доступності.

За середніми значеннями індексу Бавелаша в області лідирують Мелітопольський (18,66), Запорізький (18,03) і з певним відривом від них Пологівський (14,60) райони (табл. 10. Рис. 8). Тобто результат виявляється протилежний за показники індексу абсолютної доступності. Це пояснюється значно більшою кількістю центрів територіальних громад у цих районах і відповідно різким зростанням індексу абсолютної доступності. В той же час відносний показник демонструє раціональність транспортного розташування центрів громад цих районів.

Індекс Бошама демонструє співвідношення між протяжністю показника абсолютної транспортної доступності та кількістю центрів транспортної системи. У Запорізькій області його показники для центрів громад відрізняються у 3,2 рази і складають 0,0068-0,0217 (табл. 9). За цим показником зі значним відривом лідирує Запоріжжя (0,0217). Також достатньо високий індекс мають м. Мелітополь (0,0197), с. Андріївка Бердянського району (0,0190), м. Бердянськ (0,0180), м. Дніпрорудне Василівського району (0,0170).

Таблиця 10 / Table 10

Середні значення відносних показників топологічної автомобільної транспортної доступності адміністративних районів Запорізької області /

Average values of relative indicators of topological road transport accessibility of administrative districts of Zaporizhzhia region

Райони	Індекс Бавелаша	Індекс Бошама	α -індекс зв'язності	β -індексу зв'язності	γ -індекс зв'язності
Бердянський	8,13	0,0155	0,45	1,71	0,8
Василівський	11,35	0,0130	0,17	1,18	0,48
Запорізький	18,03	0,0137	0,03	1	0,37
Мелітопольський	18,66	0,0133	0,11	1,11	0,42
Пологівський	14,60	0,0110	0,21	1,28	0,5

Найменші показники індексу Бошама, що менші за 0,01, мають с. Кирилівка Мелітопольського району (0,0068), с. Розівка Пологівського району (0,0070), Тернувате Запорізького району (0,0074). Індекс інших центрів коливається від 0,0122 до 0,0154. Низькі показники цих центрів свідчать про їх відносно складну доступність у межах відповідних транспортних мереж, пов'язану з їх периферійним розташуванням.

За середніми значеннями індексу Бошама в Запорізькій області лідирує Бердянський район з показником 0,0155 (табл. 10). Проміжні показники мають Запорізький (0,0137), Мелітопольський (0,0133) і Василівський (0,0130) райони. Це свід-

чить про відносну подібність у загальному ступені доступності центрів громад цих районів. Низький показник індексу Бошама в Пологівському районі (0,0110) демонструє меншу раціональність у розташуванні центрів громад (рис. 8).

Таким чином, відносні показники транспортної доступності демонструють деякі протиріччя у розподілі районів Запорізької області за співвідношенням індексів абсолютної транспортної доступності і кількості центрів територіальних громад.

Для визначення ефективності транспортної мережі застосовувались показники зв'язності графа – α -, β - і γ -індекси. Вони характеризують

РАЙОНИ

Запорізької області

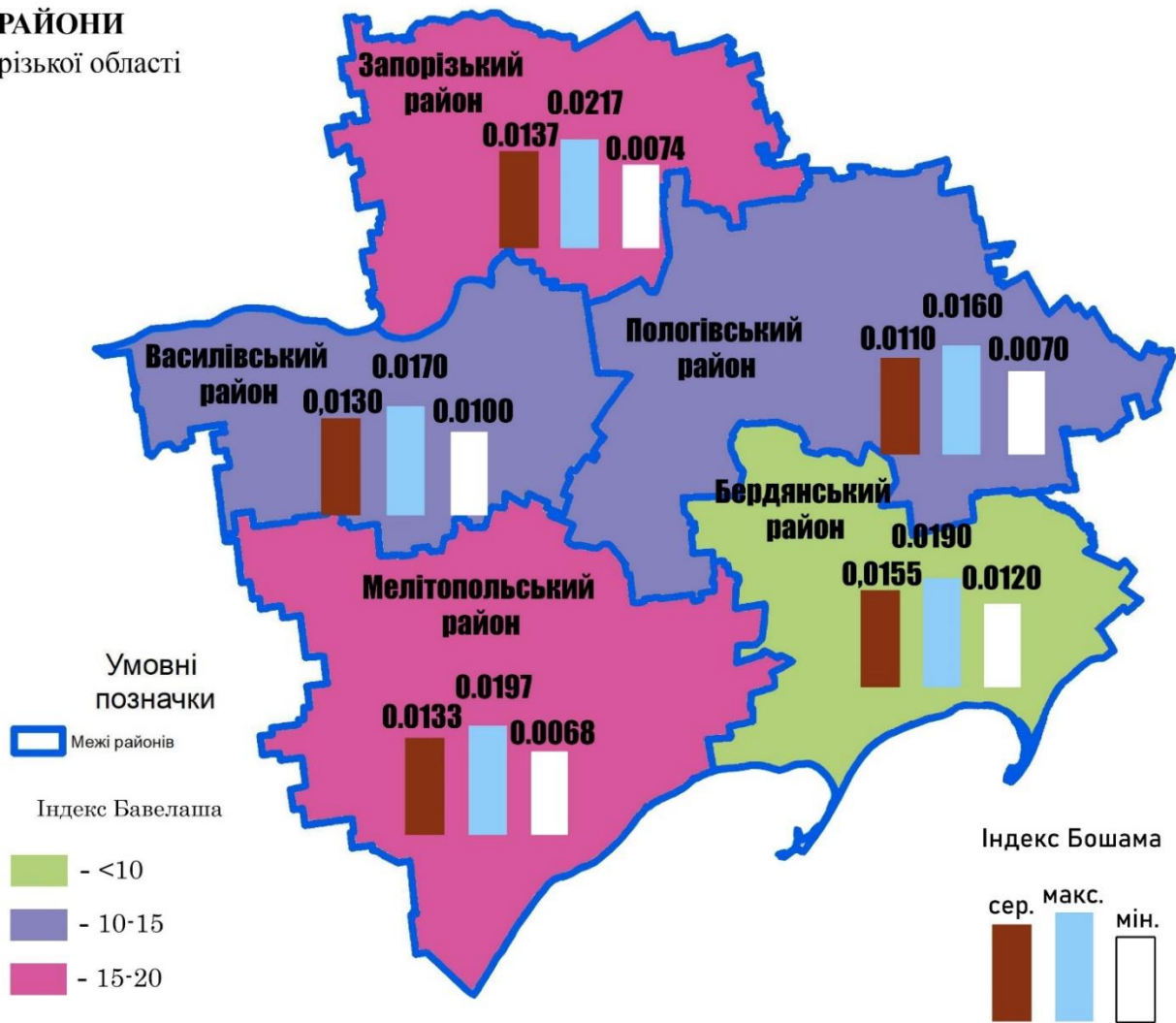


Рис. 8. Характеристика транспортної доступності адміністративних районів Запорізької області за відносними показниками /

Fig. 8. Characteristics of transport accessibility of administrative districts of Zaporizhzhia region by relative indicators

конфігурацію і особливості зв'язків в мережі. Для районів Запорізької області α -індекс, що відображає надмірність зв'язків у мережі, коливається від 0,03 до 0,45 (табл. 10). Оскільки його максимальне можливе значення – 1, показник районів демонструє їх значну відмінність між собою. Мінімальне значення α -індексу має Запорізький район, тобто тут майже немає альтернативних шляхів до більшості центрів громад, що свідчить про низьку ефективність транспортної мережі та зв'язаність центрів громад району, це пояснюється радіальною конфігурацією автотранспортної мережі і відсутністю в неї циклів.

Найбільший показник α -індексу – 0,45, характерний для Бердянського району, де автотранспортна мережа має не лише циклічну конфігурацію, але і багато проміжних зв'язків між центрами громад, що забезпечує наявність альтернативних варіантів маршрутів. Показники α -індексу інших районів мають не дуже великі значення – 0,11-0,21 (табл. 10), це пояснюється ра-

діальною конфігурацією транспортних мереж Мелітопольського і Пологівського районів та наявністю відхилень від циклічної мережі Василівського району (рис. 7).

Ступінь розвиненості транспортної мережі оцінювалася за допомогою β -індексу, який відображає співвідношення кількості центрів та кількості зв'язків між ними, його значення можуть дорівнювати 0-3. В районах Запорізької області даний індекс коливається від 1 до 1,71, що також свідчить про середню та невисоку зв'язаність їх центрів (табл. 10).

Найменший показник β -індексу – 1, притаманний Запорізькому району, де наявна велика кількість центрів громад, але досить невелика кількість варіантів маршрутів між ними. Найбільше значення індексу – 1,71 має Бердянський район через невелику кількість центрів громад та наявність в майже половини з них чотирьох зв'язків. Інші райони мають β -індекс в межах 1,11-1,28, що свідчить про невисокий рівень

зв'язності центрів їх громад, які у більшості випадків мають лише по 2-3 зв'язки.

Співвідношення реальної кількості зв'язків транспортної мережі з їх максимально можливим характеризує γ -індекс, значення якого для Запорізької області складає 0,37-0,50 і лише Бердянський район має значення 0,80 (табл. 10). Цей показник свідчить про середній ступінь зв'язності більшості районних автотранспортних мереж (його максимально можливе значення дорівнює 1).

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведені розрахунки демонструють, що автотранспортні мережі адміністративних районів Запорізької області мають певну просторову диференціацію за основними показниками. Вони відрізняються за конфігурацією мереж, кількістю зв'язків між окремими пунктами, абсолютним індексом доступності, числом Кеніга, індексом Бавелаша, індексом Бошама, а також показниками зв'язності мережі – α -, β -, γ -індексами.

При цьому зв'язаність центрів територіальних громад районних автотранспортних мереж Запорізької області коливається від низького до середнього рівня. На це впливає конфігурація транспортної мережі, яка визначає кількість зв'язків в окремих центрах громад. Найкращі показники зв'язаності характерні для Бердянського району з циклічною конфігурацією мережі,

найнижчими показниками відрізняється Запорізький район з радіальною мережею.

Для підвищення ефективності автотранспортної мережі Запорізької області на підставі проведеного аналізу можна запропонувати такі кроки:

- Доцільна реконструкція автомобільних доріг, що сполучають райцентри між собою і з обласним центром до рівня першої категорії, а доріг між центрами громад до другої категорії.

- Для транспортних мереж Запорізького, Мелітопольського і Пологівського районів доцільно обладнання на належному рівні автомобільних шляхів, що сполучають їх радіальні промені між собою. Тобто формування радіально-кільцевої конфігурації автотранспортної мережі. Це значно підвищить рівень їх зв'язності і ефективність використання.

- Значна частина автомобільних доріг області потребує капітального ремонту дорожнього покриття для забезпечення безпеки пересування, підвищення комфорту і ефективності їх використання. Для цього доцільно залучати інфраструктурні субвенції як на обласному рівні так і на рівні територіальних громад.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з більш глибоким суспільно-географічним аналізом і прогнозом процесів розвитку автотранспортної мережі Запорізької області та її адміністративних районів після російської агресії і деокупації цієї території.

Список використаної літератури

1. Атлас адміністративно-територіального устрою України / [за заг. ред. Остапенка П.] / видання друге, доповнене. Київ, 2021. 441 с.
2. Байтеряков О.З., Воронова В.В. Топологічний аналіз автомобільної транспортної доступності території Запорізької області. Актуальні наукові дослідження в сучасному світі. Журнал. Випуск 12(68). Частина 4. Грудень 2020 р. Переяслав, 2020. С. 6-11.
3. Байтеряков О.З., Арсененко І.А., Донченко Л.М. Просторовий аналіз системи розселення Запорізької області. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2022. Випуск 57. С. 48-67. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-05>
4. Бондар Н.М. Розвиток транспортної інфраструктури України на засадах державо-приватного партнерства: монографія. К.: НТУ, 2014. 336 с.
5. Гацук П.М., Тимошенко С.Ю. Означуваність і зміст поняття транспортної системи. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. № 22, 2020. С. 66-77. DOI: <https://doi.org/10.32447/20784643.22.2020.09>
6. Грицевич В.С., Сеньків М.І. Топологія і метрика автотранспортного простору як чинник транспортно-логістичної діяльності в Західному регіоні України. Геополітика і екогеодинаміка регіонів. Том 10. Випуск 2., 2014. С. 483-488.
7. Гродзинський М.Д. Пізнання ландшафту: місце і простір. К.: ВПЦ Київський університет, 2005. Т. 2. С. 341-393.
8. Запорізька область: Фізична географія Запорізької області: Хрестоматія / Відп. ред. Л.М. Даценко. Мелітополь: Вид-во МДПУ імені Богдана Хмельницького, 2014. 200 с.
9. Загурський О.М. Транспортна доступність сільських територій: методологічні підходи. Автомобільний транспорт. Вип. 43. 2018. С. 65-70. DOI: <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2018.43.0.65>
10. Кудрицька Н.В. Моделювання оцінки рівня транспортної забезпеченості регіонів України з використанням функції Харінгтона. Економіко-математичне моделювання соціально-економічних систем. Зб. Наук. Праць. К., 2015, випуск 20. С. 203-217.
11. Кудряшов А.В., Мазуренко О.О. Аналіз існуючої маршрутної мережі міста Марганець. Транспортні системи та технології перевезень. Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. Вип. 21. 2021р. С. 16-22. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstf2021/237634>

12. Мезенцев К.В. Суспільно-географічне прогнозування регіонального розвитку: Монографія. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. 253 с.
13. Мельничук М.М., Ковальчук С.І. Автомобільна транспортна доступність основних рекреаційних населених пунктів північно-західного регіону України. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*: зб. наук. пр. Луцьк: Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2012. № 9. С. 106-119.
14. Неліпа К. Г. Трансформація системи розселення запорізької області (суспільно-географічне дослідження): автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.02. Київ, 2019. 20 с.
15. Пилипенко І. О. Оцінка зміни периферійності адміністративних одиниць на прикладі Херсонської області. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: Географія*. Вип. 57. 2010. С.31-33. URL: https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=sVNLAD0AAAAJ&citation_for_view=sVNLAD0AAAAJ:edDO8Oi4QzsC
16. Підгрушній Г.П., Нагірна В.П., Фацевський М.І. Інтегральний потенціал території – теоретичні та практичні аспекти дослідження: монографія. Київ: Інститут географії НАН України, 2012. 464 с. URL: <https://igu.org.ua/sites/default/files/igu-files/mono/ipt.pdf>
17. Плекан У.М., Ляшук О.Л., Рожко Н.Я., Цьонь О.П. Удосконалення соціальної функції транспортної галузі України. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 6(37), ч.І. С. 157-166. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.157-166](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.157-166)
18. Про надання інформації щодо довжини автомобільних шляхів по нових районах Запорізької області від 25.10.2021, №79-Б-277-е. *Запорізька обласна державна адміністрація*, 2021. 5 с.
19. Про надання інформації від 22.10.2021, №10/2862. *Служба автомобільних доріг у Запорізькій області*, 2021. 3 с.
20. Пугач С.О., Новосад С.В. Трактуння понять «транспортна доступність» та «стиснення простору» у сучасній науковій літературі. *Актуальні проблеми країнознавчої науки: матеріали III Міжнар. наук. практич. інтернет-конференції (м. Луцьк, 15–16 грудня 2015 р.)*. Луцьк: Вежа-Друк, 2015.
21. Пушкар Т.А., Жовтяк Г.А. Актуальні тенденції та перспективи розвитку автомобільного транспорту східних регіонів України. *Економіка та держава* № 8/2013. С. 56-59.
22. Розальський Р., Букартик Н., Русановська Г. Аналіз методів побудови міських пасажирських транспортних систем. *Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні: тези доповідей III-ої Всеукраїнської науково-практичної конференції, Львів, 22-23 лютого 2018 року*. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. С. 153–156. URL: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/f854caf2-2572-4f9a-829e-f0f803c7855e/content>
23. Родащук Г.Ю. Визначення рівня розвитку транспортної інфраструктури сільських територій. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2014. Вип. 86(2). С. 81-90.
24. Сільченко Ю.Ю., Семенюк Л.Л., Зарубіна А.В. Аналіз впливу транспортної доступності на соціально-економічний розвиток Кіровоградської області. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Географічні науки*. 2017. Вип. 7. С. 81-87.
25. Фатюха Н.Г. Статистична оцінка розвитку автомобільного транспорту Запорізької області. *Ефективна економіка*. № 4, 2016. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4885>
26. Ходаківський О.М. Огляд основних наукових робіт по підвищенню ефективності транспортних систем. *Зб. наук. праць ДонІЗТ. Донецьк: ДонІЗТ УкрДАІТ*. 2013. Вип. 33. С. 34-52.
27. Численність наявного населення України на 1 січня 2022 року. *Статистичний збірник*. Київ: Державна служба статистики України, 2022. 82 с.
28. Chen M., Wu F., Yin M., Xu J. Impact of Road Network Topology on Public Transportation Development. *Wireless Communications and Mobile Computing*. Volume 2021. Article ID 6209592. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/6209592>
29. Dumedah G., Garsonu E.K. Characterising the structural pattern of urban road networks in Ghana using geometric and topological measures. *Geo: Geography and Environment*. Volume 8, Issue 1. 2021. e00095. DOI: <https://doi.org/10.1002/geo2.95>
30. Freiria S., Ribeiro B., Tavares A.O. Understanding road network dynamics: Link-based topological patterns. *Journal of Transport Geography*. Volume 46. June 2015. P. 55-66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.05.002>
31. Hong J., Tamakloe R., Lee S., Park D. Exploring the Topological Characteristics of Complex Public Transportation Networks: Focus on Variations in Both Single and Integrated Systems in the Seoul Metropolitan Area. *Sustainability*, 2019. Volume: 11. Number: 5404. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11195404>
32. Jiang B., Claramunt C. Topological Analysis of Urban Street Networks. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 2004. volume 31. P. 151-162. DOI: <https://doi.org/10.1068/b306>
33. Kisgyörgy L., Vasvari G. Analysis and observation of road network topology. *19th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies*. At: Hong Kong, China, 2014. URL: https://www.researchgate.net/publication/281448739_ANALYSIS_AND_OBSERVATION_OF_ROAD_NETWORK_TOPOLOGY
34. Huynh, N., Barthelemy J. A comparative study of topological analysis and temporal network analysis of a public transport system. *International Journal of Transportation Science and Technology*. 11. 2021. P. 392–405. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2021.05.003>
35. Pung J., D'Souza R.M., Ghosal D., Zhang M. A road network simplification algorithm that preserves topological properties. *Applied Network Science*. volume 7, Article number: 79. 2022. URL: <https://appliednetsci.springeropen.com/articles/10.1007/s41109-022-00521-8>

36. Shang W., Chen Y., Song C., Ochieng W.Y. *Robustness Analysis of Urban Road Networks from Topological and Operational Perspectives*. *Hindawi Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2020, Article ID 5875803. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/5875803>
37. Sreelekha M.G., Krishnamurthy K, Anjaneyulu M.V.L.R. *Assessment of Topological Pattern of Urban Road Transport System of Calicut City*. *Transportation Research Procedia*. Volume 17, 2016, P. 253-262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.089>
38. Tasopoulou T., Tsiotas D., Polyzos S. *Investigating the Interaction Between the Topology of Bus Transport Networks and Regional Development in Greece*. *Regional Science Inquiry, Hellenic Association of Regional Scientists*, vol. 0(2). 2023. P. 25-46. URL: <https://ideas.repec.org/a/hrs/journal/vxvy2023i2p25-46.html>
39. Thottolil R., Kumar U. *Assessment of Topological Pattern of Road Network: A Case Study of Bangalore City*. 2021 *IEEE International India Geoscience and Remote Sensing Symposium (InGARSS)*. Ahmedabad, India, 2021. P. 246-249. DOI: <https://doi.org/10.1109/InGARSS51564.2021.9792069>
40. Tini N.H., Shah M.Z. *Evaluation of Road Network Topological Pattern in Abuja Municipality, Nigeria*. *European International Journal of Science and Technology*. Vol. 7 No. 1, January 2018. P. 53-69. URL: https://www.eijst.org.uk/images/frontImages/articles/Vol.7No.1/5.Evaluation_of_Road_Network_Topological_Pattern.pdf
41. Yang Z., Zhou H., Gao P., Chen H., Zhang N. *The Topological Analysis of Urban Transit System as a Small-World Network*. *International Journal of Computational Intelligence Systems* Vol. 4, No. 6 (December, 2011). P. 1216-1223.
42. Żochowska R., Soczówka P. *Analysis of selected transportation network structures based on graph measures*. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2018. 98. P. 223-233. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2018.98.21>.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

Конфлікт інтересів: автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів.

Topological analysis of the automobile transport network of Zaporizhzhia region

*Oleg Baiteriakov*¹

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Geography and Tourism

¹ Bohdan Khmelnytsky Melitopol state pedagogical university, Zaporizhzhia, Ukraine;

*Valeria Voronova*²

² Kyiv National Linguistic University, Kyiv, Ukraine

ABSTRACT

Formulation of the problem. The feasibility of the study is explained by the need for a clear understanding of socio-economic realities and problems of the occupied territories that arose on the eve of full-scale Russian aggression. This will contribute to the reconstruction and further development of the territory in the post-war period, taking into account the previous problems.

The purpose of the article is to identify the state and spatial differences in the level of automobile transport accessibility of the territory of Zaporizhzhia region after the reform of the administrative-territorial system and on the eve of the Russian military aggression.

Methods. The study used the topological methods of calculating the level of road transport accessibility of the region and its administrative districts, the comparative analysis of assessment results, and the methods of district typification according to the configuration of road networks.

Results. The analysis of graphs and matrix of the shortest distances of the transport networks of Zaporizhzhia Region and its administrative districts as of 2021 was presented. It was revealed that the transport networks of Zaporizhzhia, Melitopol, and Pologiv districts belong to the monocentric radial type, while those of Berdiansk and Vasylivka districts have a cyclical appearance. Based on the calculations, an assessment and comparative analysis of the level of road transport accessibility of administrative units of the Zaporizhzhia region was carried out using topological methods with the determination of the following indicators: absolute accessibility index, Koenig number, Bavelash index, Beauchamp index and indicators of network connectivity (α -, β -, γ -indexes). The analysis of the graph of the transport and geographical position of district centers of the Zaporizhzhia region in terms of absolute and relative indicators testifies to a sufficiently rational configuration and connectivity of the road transport network. The best position in terms of accessibility on the territory of the region is occupied by the regional center of the city of Vasylivka. According to these indicators, the regional center occupies an intermediate position. The connectivity of community centers in the district transport networks of the region varies from low to medium level. The best indicators of connectivity are typical for Berdiansk district with a cyclic network configuration. The ways of improving the road transport accessibility of the territory of the administrative districts of the Zaporizhzhia region were proposed; they involve the improvement of the configuration of district transport networks and reconstruction of roads.

Scientific novelty and practical significance. The assessments of the level of transport accessibility of new administrative districts of Zaporizhzhia region, by the topological methods, were determined; the ways of improving transport accessibility of administrative districts of the region in the post-war period were proposed. The obtained data can be used to optimize the territorial management of the region, to forecast its further development, to develop strategies for socio-economic development.

Keywords: *transport accessibility, transport network, administrative district, topological methods, absolute accessibility index, Koenig number, Bavelash index, Beauchamp index.*

References

1. Ostapenko, P. (Ed.). (2021). *Atlas of administrative-territorial organization of Ukraine. Second edition, supplement-ed.* Kyiv, Ukraine. [in Ukrainian]
2. Baiteriakov, O. Z., & Voronova, V. V. (2020). Topological analysis of road transport accessibility of the territory of Zaporizhzhia region. *Current scientific research in the modern world. International science journal* 12(68). Part 4. 6-11. [in Ukrainian].
3. Baiteriakov, O., Arsenenko, I., & Donchenko, L. (2022). Spatial analysis of the settlement system of Zaporizhzhia region. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, (57), 48-67. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-05> [in Ukrainian]
4. Bondar, N.M. (2014). *Development of transport infrastructure of Ukraine on the basis of public-private partnership: monograph.* K.: NTU. [in Ukrainian]
5. Hashchuk, P., & Tymoshenko, Y. (2020). Definition and Content of the Concept «Transport System». *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, 22, 66–77. <https://doi.org/10.32447/20784643.22.2020.09> [in Ukrainian]
6. Grytsevych, V., & Senkiv, M. (2014). Topology and metrics of motor space as a factor of transport and logistics activity in Western region of Ukraine. *Geopolitics and eco-geodynamics of regions. 10. Issue 2.* 483-488. [in Ukrainian]
7. Grodzynski, M.D. (2005). *Knowledge of the landscape: place and space.* K.: PPC Kyiv University. V. 2. 341–393. [in Ukrainian]
8. Datsenko, L. M. (Ed.). (2014). *Physical geography of Zaporizhzhia region. Melitopol, Ukraine: Bohdan Khmelnytsky Melitopol state pedagogical university.* [in Ukrainian]
9. Zagurskiy, O. M. (2018). Vehicle Access of Village Areas: Methodological Approaches. *Automobile Transport*, (43), 65. <https://doi.org/10.30977/at.2219-8342.2018.43.0.65> [in Ukrainian]
10. Kudrytska, N.V. (2015). Modeling the assessment of the level of transport security of the regions of Ukraine using the Harington function. *Economic and mathematical modeling of socio-economic systems. Coll. Science Working K.*, 20. 203-217. [in Ukrainian]
11. Kudriashov, A., & Mazurenko, A. (2021). Analysis of the Existing Route Network of the City of Marhanets. *Transport systems and transportation technologies*, (21), 16. <https://doi.org/10.15802/tstt2021/237634> [in Ukrainian]
12. Mezentshev, K.V. (2005). *Socio-geographic forecasting of regional development: Monograph.* K.: Kyiv University Publishing and Printing Center. [in Ukrainian]
13. Melnijchuk, M. M., & Kovalchuk, S. I. (2012). Defined Car Transportation Access to Major Populated Area of the North-Western Region of Ukraine. *Nature of the Western Polissia and adjacent territories: collection of scientific papers.* Lutsk: Lesya Ukrainka Volyn National University, 9. 106-119. [in Ukrainian]
14. Nelipa, K. H. (2019). Transformation of the settlement system of Zaporizhzhia region (socio-geographical study) [Extended abstract of PhD dissertation]. Taras Shevchenko National University of Kyiv. [in Ukrainian].
15. Pylypenko, I.O. (2010). Assessment of changes in the peripherality of administrative units on the example of the Kherson region. *Bulletin of Taras Shevchenko Kyiv National University. Series: Geography*, 57. 31-33. [in Ukrainian]
16. Pidgrushnyi, G.P., Nagirna, V.P., & Fashchevskiy, M.I. (2012). Integral potential of the territory - theoretical and practical aspects of the research. *Monograph.* Kyiv. Available at: <https://igu.org.ua/sites/default/files/igu-files/mono/ipt.pdf> [in Ukrainian]
17. Plekan, U., Lyashuk, O., Rozhko, N., & Tson, O. (2022). Improvement of the Social Function of the Transport Industry of Ukraine. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 1(6(37)), 157–166. [https://doi.org/10.32515/2664-262x.2022.6\(37\).1.157-166](https://doi.org/10.32515/2664-262x.2022.6(37).1.157-166) [in Ukrainian]
18. On providing information on the length of highways in new districts of the Zaporizhzhia region dated 10.25.2021, No. 79-B-277-e. (2021). Zaporizhzhia Regional State Administration. [in Ukrainian]
19. On providing information dated 10/22/2021, No. 10/2862. (2021). Service of highways in the Zaporizhzhia region. [in Ukrainian]
20. Puhach, S., & Novosad, S. (2015). The Interpretation of Concepts "Transport Accessibility" and "Space Compression" in Modern Scientific Literature. *Actual problems of country studies: materials of the 3rd International scientific and practical Internet conference.* Lutsk: Vezha-Druk. [in Ukrainian]
21. Pushkar, T., & Zhovtyak, G. (2013). Actual Tendencies and Prospects of Development of Motor Transport of East Regions of Ukraine. *Economy and state*, 8. 56-59. [in Ukrainian]
22. Rogalskiy, R., Bukartyk, N., & Rusanovska, G. (2018). Analysis of Construction Methods of Urban Passenger Transport Systems. *Bus construction and passenger transportation in Ukraine: abstracts of reports of the III All-Ukrainian Scientific and Practical Conference.* Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House. 153–156. Available at: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/f854caf2-2572-4f9a-829e-f0f803c7855e/content> [in Ukrainian]

23. Rodashchuk, G. Yu. (2014). Determination of the transport infrastructure level of development in rural areas. *Collection of scientific works of the Uman National University of Horticulture. Issue 86 (2)*, 81-90. [in Ukrainian]
24. Silchenko, Yu. Yu., Semeniuk, L. L., & Zarubina, A. V. (2017). Analysis of the impact of transport accessibility on the socio-economic development of Kirovograd region. *Scientific Bulletin of Kherson State University. Series: Geographical sciences*, 7, 81-87. [in Ukrainian]
25. Fatiukha, N.G. (2016). *Statistical Estimation of Development Automobile Transport in Zaporizhzhya Area. Efficient economy*, 4. Available at: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4885> [in Ukrainian]
26. Khodakivskiy, O.M. (2013). Review of the main scientific works on the transport systems efficiency increasing. *Coll. of science works of Donetsk Railway Transport Institute*, 33. Donetsk: DonRTI UkrSURT. 34-52. [in Ukrainian].
27. Number of Present Population of Ukraine, as of January 1. (2022). Kyiv, Ukraine. State Statistics Service of Ukraine Available at: https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2022/zb/05/zb_Nas.pdf [in Ukrainian]
28. Chen, M., Wu, F., Yin, M., & Xu, J. (2021). Impact of Road Network Topology on Public Transportation Development. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2021, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2021/6209592>.
29. Dumedah, G., & Garsonu, E. K. (2021). Characterising the structural pattern of urban road networks in Ghana using geometric and topological measures. *Geo: Geography and Environment*, 8(1). <https://doi.org/10.1002/geo2.95>.
30. Freiria, S., Ribeiro, B., & Tavares, A. O. (2015). Understanding road network dynamics: Link-based topological patterns. *Journal of Transport Geography*, 46, 55–66. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.05.002>.
31. Hong, J., Tamakloe, R., Lee, S., & Park, D. (2019). Exploring the Topological Characteristics of Complex Public Transportation Networks: Focus on Variations in Both Single and Integrated Systems in the Seoul Metropolitan Area. *Sustainability*, 11(19), 5404. <https://doi.org/10.3390/su11195404>.
32. Jiang, B., & Claramunt, C. (2004). Topological Analysis of Urban Street Networks. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31(1), 151–162. <https://doi.org/10.1068/b306>.
33. Kisgyörgy, L., & Vasvari, G. (2014). Analysis and observation of road network topology. 19th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies. At: Hong Kong, China. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/281448739_ANALYSIS_AND_OBSERVATION_OF_ROAD_NETWORK_TOPOLOGY.
34. Huynh, N., & Barthelemy, J. (2021). A comparative study of topological analysis and temporal network analysis of a public transport system. *International Journal of Transportation Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2021.05.003>.
35. Pung, J., D'Souza, R.M., Ghosal, D., & Zhang, M. A. (2022). road network simplification algorithm that preserves topological properties. *Applied Network Science*. volume 7, Article number: 79. Retrieved from <https://appliednetsci.springeropen.com/articles/10.1007/s41109-022-00521-8>.
36. Shang, W.-L., Chen, Y., Song, C., & Ochieng, W. Y. (2020). Robustness Analysis of Urban Road Networks from Topological and Operational Perspectives. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2020/5875803>.
37. Sreelekha, M. G., Krishnamurthy, K., & Anjaneyulu, M. V. L. R. (2016). Assessment of Topological Pattern of Urban Road Transport System of Calicut City. *Transportation Research Procedia*, 17, 253–262. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.089>.
38. Tasopoulou, T., Tsiotas, D., & Polyzos, S. (2023). Investigating the Interaction Between the Topology of Bus Transport Networks and Regional Development in Greece. *Regional Science Inquiry, Hellenic Association of Regional Scientists*, vol. 0(2), 25-46. Available at: <https://ideas.repec.org/a/hrs/journal/vxyv2023i2p25-46.html>.
39. Thottolil, R., & Kumar, U. (2021). Assessment of Topological Pattern of Road Network: A Case Study of Bangalore City. 2021 IEEE International India Geoscience and Remote Sensing Symposium (InGARSS). Ahmedabad, India, 246-249. <https://doi.org/10.1109/InGARSS51564.2021.9792069>.
40. Tini, N.H., & Shah, M.Z. (2018). Evaluation of Road Network Topological Pattern in Abuja Municipality, Nigeria. *European International Journal of Science and Technology*. 7 (1), January 2018. 53-69. Available at: https://www.eijst.org.uk/images/frontImages/articles/Vol.7No.1/5.Evaluation_of_Road_Network_Topological_Pattern.pdf.
41. Yang, Z., Zhou, H., Gao, P., Chen, H., & Zhang N. (2011). The Topological Analysis of Urban Transit System as a Small-World Network. *International Journal of Computational Intelligence Systems* Vol. 4, No. 6 (December, 2011). 1216-1223.
42. Żochowska, R., & Soczówka, P. (2018). Analysis of selected transportation network structures based on graph measures. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 98, 223–233. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2018.98.21>.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest

Received 29 February 2024

Accepted 2 April 2024