

Mykhailo Krystopchuk, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

Analysis of Indicators of Sustainable Development Urban Passenger Transport System

Establishing the main attributes of population mobility is one of the most important indicators of urban development, which has been studied by domestic and foreign scientists for use in the practice of urban transport planning and the development of sustainable transport systems. Mobility characteristics are also an important source and result for the development of changes in the city master plan and the creation of new management decisions in the operation and operation of the route network of urban passenger transport.

However, at the present stage of implementation of transport studies of urban population movement requires consideration of indicators of sustainable development of urban transport systems. In this regard, a study of the functioning of the passenger transport system of public transport in the city of Rivne in terms of the development of the principles of sustainable urban mobility. The use of the system of indicators of sustainable development of urban passenger transport system allows to assess the current situation in the city and outline promising areas for improving the public transport system in conjunction with the spatial development of urban areas to ensure comfortable movement of residents to meet labor and cultural movements.

The questionnaire "Study of mobility of the population in the city of Rivne" was used as initial data for definition of indicative indicators of functioning of passenger transport system of public transport of the city of Rivne, in the context of its sustainable development. Three indicative parameters are taken into account, namely: the indicator of access to mobility services, the indicator of the possibility of active mobility and the indicator of the level of satisfaction with public transport. Based on the calculated values of indicative indicators, it can be argued that some indicators of sustainable urban mobility for the city of Rivne are of mediocre importance. This indicates the need to develop strategic measures to improve the city's public passenger transport system in conjunction with its spatial development to increase the comfort of movement of residents of all groups.

urban passenger transport, transport system, sustainable development, indicative indicators, matrix of passenger correspondence, efficiency

Одержано (Received) 18.03.2021

Прорецензовано (Reviewed) 30.03.2021

Прийнято до друку (Approved) 26.04.2021

УДК 656.025

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4\(35\).221-231](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4(35).221-231)

О. В. Россолов, доц., канд. техн. наук, **С. Е. Лифенко**

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна

e-mail: rossolovalex@gmail.com

Оцінка сценаріїв сталого розвитку транспортних систем міст з автомобіле-орієнтованою мобільністю

В статті представлено результати експериментальних досліджень з розробки сценаріїв сталого транспортного обслуговування населення міст. Зроблено акцент на автомобіле-орієнтовану мобільність, яка є небажаною з точки зору плану сталої мобільності. Розроблено модель транспортної пропозиції, яка враховує пропускну спроможність вуличної дорожньої мережі міста Бровари. Поряд з цим проведено моделювання попиту на транспортне обслуговування з імплементацією процедури агрегування площі жилої забудови міста. Проведено оцінку альтернативних сценаріїв транспортного обслуговування, які відрізняються рівнем жорсткості заходів щодо обмежень на пересування в центральній частині міста.

автомобіле-орієнтована мобільність, модель транспортного попиту, модель транспортної пропозиції, екологічний ефект

Постановка проблеми. В умовах зростання рівня автомобілізації, що спостерігається в Україні в останні роки, реалізація сталого розвитку міст стає складною задачею. Орієнтація на індивідуальні засоби пересування, серед яких найбільшого поширення набули моторизовані транспортні засоби, є одним з ключових аспектів зниження ефективності впровадження сценаріїв сталої мобільності в містах України. Негативна епідеміологічна ситуація, яка спричинена стрімким розповсюдженням вірусу SARS-CoV-2 (COVID-19), лише підштовхує населення міст активно застосовувати індивідуальні транспортні засоби, навіть нехтуючи негативними економічними та екологічними наслідками цього процесу. За таких умов необхідна розробка сталих сценаріїв розвитку транспортних систем з врахуванням активного застосування мешканцями міст приватних транспортних засобів. Безумовно, це вносить деякі протиріччя в саму концепцію сталого розвитку міст, яка базується на активному застосуванні мешканцями міст «зелених» видів транспорту та орієнтацію на міський громадський транспорт. Незважаючи на це, вочевидь транспортні системи міст України потребують розробки адаптивних заходів щодо нівелювання негативного впливу стрімкого розвитку автомобілізації та формування парадигми «м'якого» переходу до сталої міської мобільності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. «Стала міська мобільність» це розвиток транспортної системи, який сприяє формуванню безпечного, рівного і справедливого доступу людей до місць задоволення своїх потреб [1]. В результаті зростаючого інтересу до цього питання, на рівні Європейського Союзу було розроблено кілька проектів і ініціатив (CH4ALLENGE, CIVITAS, ELTIS), в рамках яких були опрацьовані керівні принципи сталого розвитку міської мобільності. Одним з таких документів є розробка плану сталої міської мобільності (SUMP), що передбачає собою функціональну стратегію, яка розроблена для задоволення потреб мешканців і бізнесу в місті і його околицях [1]. В рамках розробки SUMP ключовим завданням є кардинальне зниження рівня застосування приватних автомобілів для реалізації поїздок мешканцями міст [2]. Але, як зазначається в [3] навіть при розбудові нових житлових районів з компактним проектуванням ця задача є важко досяжною. Одним з шляхів вирішення даної проблеми згідно з С. Curtis [4] є ефективне формування системи громадського транспорту, яка повинна забезпечувати однаково високу транспортну доступність для мешканців різних районів міста [5]. В таких умовах транспортна доступність формується як інтегральний показник, в який вагомий вклад вносить пішохідна доступність елементів транспортної інфраструктури [6]. В контексті громадського транспорту в рамках SUMP перевага повинна надаватися «зеленим» видам транспорту, серед яких метро відіграє ключову роль в великих містах [7]. За відсутності розвиненої інфраструктури даного магістрального виду транспорту трамвай повинен виступати у якості базового для розбудови сталої міської мобільності [8].

В рамках концепції сталого розвитку міської мобільності необхідним елементом є оптимізація дорожньої мережі за рахунок підвищення рівня адміністративного управління дорогами. Такий підхід особливо важливий для законодавчого органу країни, що розвиваються, оскільки, як показує досвід, стрімкий ріст населення в містах пригнічує поліпшення доріг. Аналіз попиту на пересування на основі відображення конфігурації дороги є головним етапом для подальшої оптимізації [9]. При розробці SUMP слід брати до уваги тип вуличної дорожньої мережі (ВДМ) та саму планувальну структуру міста. Так в роботі [10] показано, що місто являє собою загальне середовище, яке повинне забезпечувати продуктивне проживання мешканців міст з можливістю реалізації великого спектру соціально-економічних потреб. Особливу

увагу в рамках території міста заслуговує його центральна частина, яка характеризується високою концентрацією ділової та культурної активності людей, що супроводжується високим рівнем мобільності [11]. Негативний вплив автомобільного транспорту саме в центральній частині міста повинен бути нівельований шляхом розробки комплексу заходів щодо організації руху та формування обмежень для транзитних переміщень на приватному автомобільному транспорті [12].

Постановка завдання. Метою даної роботи є розробка альтернативних сценаріїв розвитку транспортних систем міст при активному використанні автомобільного транспорту мешканцями міст. Об'єктом дослідження є процес пересування на приватному автомобільному транспорті. Предметом дослідження є вплив параметрів транспортної мережі на соціально-екологічні характеристики пересувань.

Виклад основного матеріалу. Розробка моделі реалізації сценаріїв сталого розвитку транспортної системи передбачає виконання комплексу робіт, які повинні бути взаємозв'язані між собою. В рамках даної роботи розглядаються трудові переміщення жителів міста в ранковий час пік з використанням індивідуальних автомобілів. Тому для вирішення поставленої задачі формалізовано у виді структурно-логічну схеми основні етапи роботи, які включають в себе: збір статистичних даних, побудову транспортних моделей пропозиції та попиту, аналіз поточного стану транспортної мережі міста (приклад дослідження), імітаційне моделювання альтернативних сценаріїв, проведення порівняльної оцінки та вибір перспективного сценарію розвитку міста. В якості взаємозв'язків між різними етапами впровадження виступають стандартні і уніфіковані моделі, які в сукупності дозволяють легко генерувати декілька сценаріїв та порівнювати кожен з них за різними показниками. На рис. 1 зображена структурно-логічна схема, яка включає в себе усі необхідні кроки досягнення реалізації сценарію.

Отже, формуванню сценаріїв розвитку транспортних систем передують розробка моделей транспортного попиту та пропозиції (рис. 1). Моделювання транспортної пропозиції пропонується виконувати в PTV Visum, який дозволяє описати просторові характеристики транспортної мережі у вигляді двох вимірної моделі. Для виконання даної процедури на першому кроці необхідно обрати об'єкт моделювання – місто. Так як дане дослідження носить пошуковий характер, пропонується обрати невелике місто, що дозволить сконцентрувати зусилля на процедурі розробки сценаріїв та мінімізує трудомісткість розробки моделі транспортної пропозиції. Для дослідження обрано місто Бровари в якості об'єкту розробки комплексу заходів щодо сталого розвитку. Характеристика моделі транспортної пропозиції для м. Бровари представлена в табл. 1.

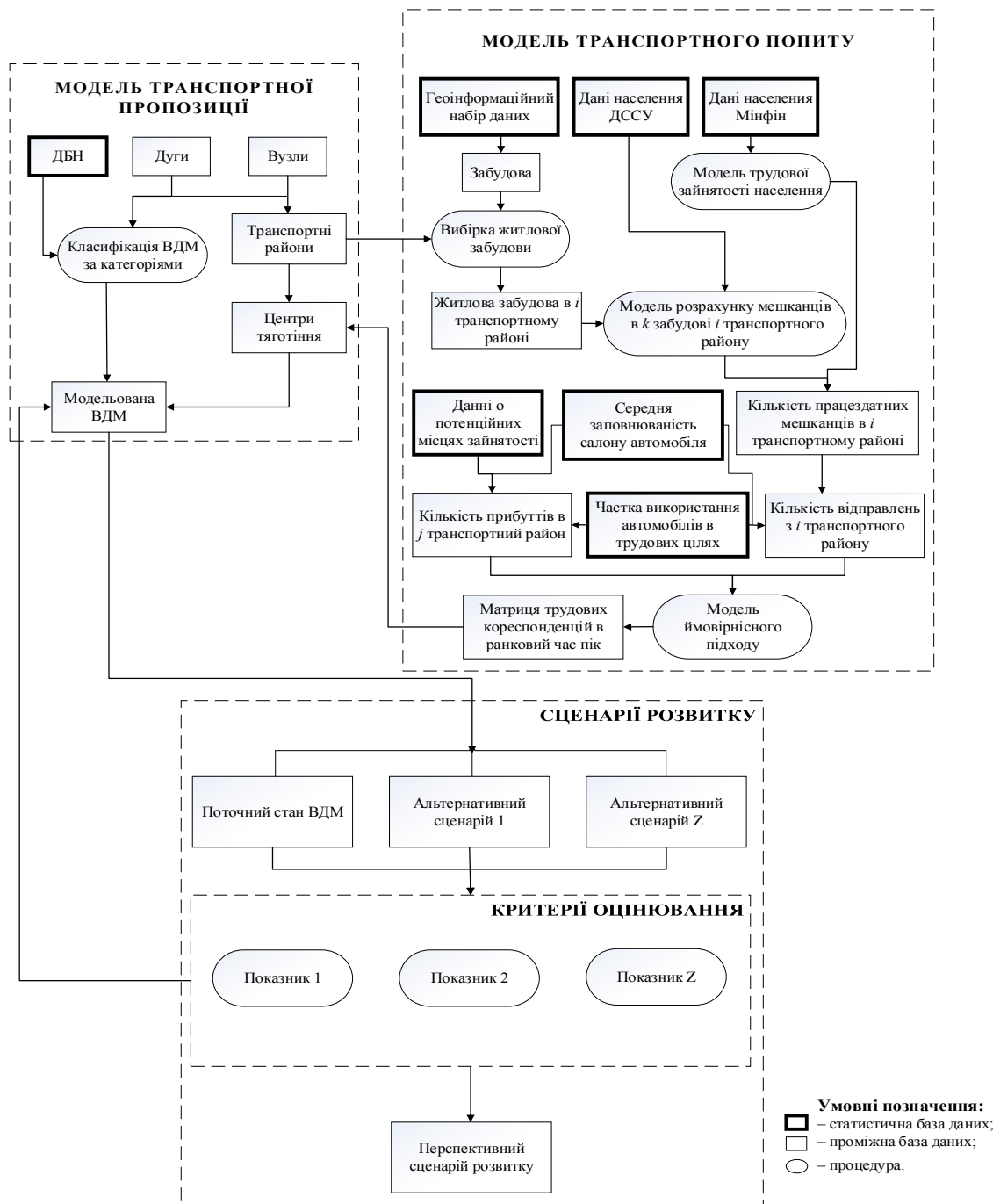


Рисунок 1 – Структурно-логічна схема формування альтернативних сценаріїв сталого розвитку транспортної системи

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 1 – Загальна характеристика ВДМ м. Бровари

Характеристика ВДМ	Значення					
Категорія дороги	I-a	I-b	I-c	II	III	IV
Кількість смуг руху, од.	4	4	6	2	2	2
Ширина смуги руху, м.	3,75	3,75	3,75	3,75	3,50	3
Пропускна здатність, авт./год	3000	3000	4500	1500	1500	1200
Максимально допустима швидкість пересування, км/год	90	50	50	50	50	50
Загальна протяжність кожної категорії, км.	9,55	14,55	1,41	23,26	2,91	100,79
Кількість вузлів, од.	499					
Загальна протяжність ВДМ, км.	153,50					
Кількість дуг, усього:	1444					
одностороннього руху	29					
двостороннього руху	1415					
Кількість транспортних районів	29					
Загальна площа транспортних районів, км ²	36,21					
Кількість примикань, од.	138					

В свою чергу моделювання транспортного попиту виконується згідно методики [13]. В якості методу розрахунку матриці транспортних кореспонденцій обрано рівно ймовірнісний підхід, який не враховує вплив відстані на формування пар кореспонденцій. Це є актуальним в контексті моделювання пересувань на індивідуальних транспортних засобах, так як для таких кореспонденцій відстань не є жорстко детермінуючою складовою. Місткості транспортних районів по відправленню запропоновано формалізувати як наступну функцію:

$$O_i = f(S_{жб}^i, \rho_{нас}, k_{тз}, \bar{q}), \quad (1)$$

де O_i – місткість i -го транспортного району по відправленню, авт.;

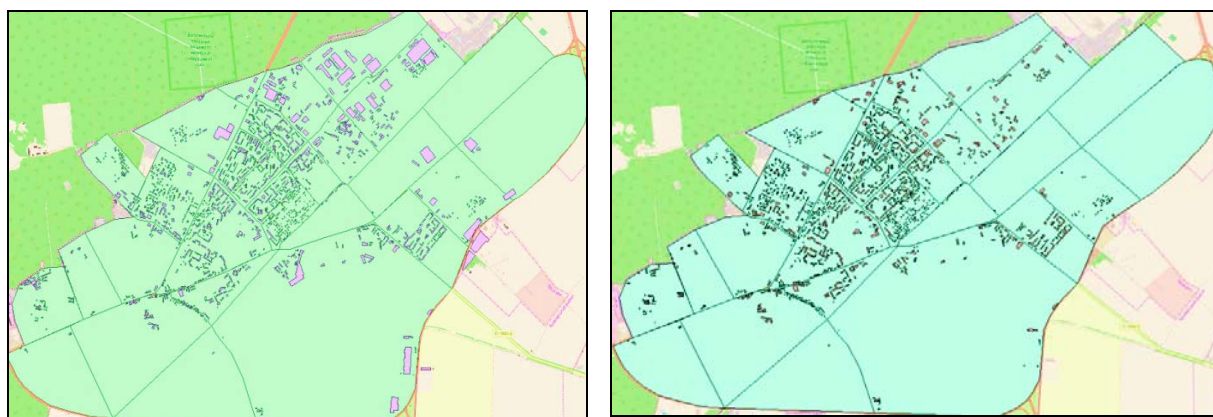
$S_{жб}^i$ – площа житлової забудови з урахуванням поверховості, км²;

$\rho_{нас}$ – щільність населення, ос./км²;

$k_{тз}$ – коефіцієнт трудової зайнятості;

$\bar{q}$ – середнє заповнення одного транспортного засобу, ос./од.

Ключовим компонентом O_i є складова $S_{жб}^i$, яка формує рівень масштабу відправлень з транспортного району. Для визначення цього показника для сформованих транспортних районах застосовано ArcGIS. Результати формування даних щодо площі забудови по ділянках міста Бровари наведено на рис. 2. Фрагменти атрибутивної інформації по цифрових шарах міської забудови та житлових будинках представлено в табл. 2 та 3. Для формування даних по $S_{жб}^i$ на першому кроці проведено формування шарів будівель в місті Бровари (рис. 2а та табл. 2).



а) б)
Рисунок 2 – Результати формування цифрових шарів міської забудови (а) та безпосередньо житлової забудови (б) в місті Бровари

Таблиця 2 – Фрагмент атрибутивної інформації цифрового шару міської забудови

№ з/п	Тип забудови	Призначення	Поверховість	Площа першого поверху, м ²
1	garages	-	1	24
2	build	школа № 3	3	3417,63
3	build	РУВД	2	5158,08
4	build	сільпо	1	4925,05
5	garages	-	1	32
6	apartment	ЖК «Лісовий Кварт»	24	2659,56
7	build	прокуратура	2	459,11
....				
1722	apartment	житловий будинок	9	1623,72

Таблиця 3 – Фрагмент атрибутивної інформації житлової забудови

№ з/п	Тип забудови	Призначення	Поверховість	Площа першого поверху, м ²
1	house	житловий будинок	17	2470,51
2	apartments	житловий будинок	5	898,83
3	build	житловий будинок	5	926,38
4	apartments	житловий будинок	9	1338,07
5	build	житловий будинок	5	1473,30
6	apartment	житловий будинок	9	1927,72
7	build	житловий будинок	5	592,24
....				
1548	build	житловий будинок	12	704,50

Після цього проведено «очищення» шарів з метою виділення лише житлової забудови, яка виступає в якості базису для формування місткості по відправленню транспортних районів. Інформація щодо житлової площі з урахуванням поверховості була агрегована за транспортними районами, що в результаті дозволило отримати масив $S_{жб}^i$.

Формування місткості транспортних районів по прибуттю виконано на основі методики представленої в [13] з попередньою оцінкою дислокації місць прикладання праці по території міста. Остаточною умовою формування місткостей транспортних районів по відправленню та прибуттю є:

$$Q = \sum_{i=1}^R O_i = \sum_{j=1}^R D_j, \quad (2)$$

де Q – обсяг пересувань, авт.;

D_j – місткість транспортного району по прибуттю, авт.;

R – кількість сформованих транспортних районів, од.

Розробка сценаріїв сталого розвитку транспортної системи міста повинна передувати етап «діагностики» поточного стану. Виходячи з того, що в роботі приділена увага сталим заходам з транспортного обслуговування населення на індивідуальному транспорті етап аналізу поточного стану системи виконується з акцентом на даний спосіб пересувань. Ключовим аспектом при аналізі поїздок на приватних автомобілях є рівень заповнення ВДМ транспортними засобами. Небажаним є граничне заповнення міських вулиць, при якому інтенсивність потоку наближається або перевищує пропускну здатність ділянки ВДМ. Результат моделювання пересувань при поточному стані транспортної мережі міста Бровари наведено на рис. 3.

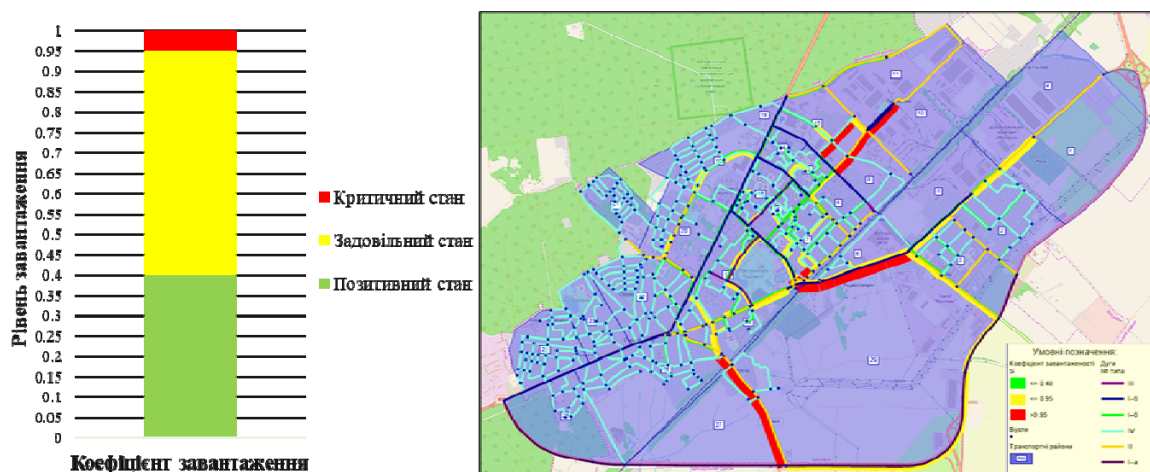


Рисунок 3 – Результат оцінки поточного стану транспортного обслуговування населення на індивідуальних транспортних засобах

Результати моделювання дозволили виявити низку ділянок ВДМ, на яких в поточний час якість транспортного обслуговування є незадовільною. Наявність заторів на ряді вулиць формує негативні наслідки соціального та екологічного характеру для мешканців досліджуваного міста. На основі діагностичних заходів щодо поточного стану транспортної мережі необхідно виконати розробку альтернативних сценаріїв розвитку. Слід брати до уваги, що при розробці сценаріїв не розглядаються варіанти розширення ділянок ВДМ для підвищення їх пропускну здатності. Це обумовлено тим, що згідно парадоксу Бреса [14] це може призвести до погіршення транспортного обслуговування в порівнянні з «базовим» варіантом. Поряд з цим імплементація сценаріїв не повинна супроводжуватись зі значними капітальними вкладками.

Керуючись вище позначеними правилами розроблено два альтернативні сценарії функціонування транспортної мережі. Перший сценарій передбачає впровадження жорстких мір щодо заборони руху в центральній частині міста. Другий сценарій

передбачає дозвіл пересувань на приватних автомобілях в центральній частині, але з обмеженням швидкості руху до 30 км/год. Поряд з цим кожен з сценаріїв передбачає низку заходів з реорганізації дорожнього руху в місті, серед яких в якості ключового є реверсивний рух по ділянках ВДМ. Це дозволяє врахувати нерівномірність транспортних потоків по напрямках руху в залежності від годин доби.

В якості критеріїв оцінювання сценаріїв впровадження сталого транспортного обслуговування застосовано соціальні та екологічні характеристики, які представлені наступними показниками:

$$t_a^{\text{день}} = \left(\frac{\Delta t_a}{60} \right) \cdot \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^R h_{ij}, \quad (3)$$

де $t_a^{\text{день}}$ – сукупна економія часу на пересування транспортних засобів, хв.;

Δt_a – економія часу пересування одного автомобіля, хв.;

h_{ij} – кореспонденція між i -м та j -м транспортними районами міста, авт.

$$E_{CO_2} = \frac{\sum_{k=1}^K \left(4 + \frac{472}{V_{c(k)}} \right) \cdot L_k \cdot Volume_k}{1000000}, \quad (4)$$

де $V_{c(k)}$ – швидкість транспортного потоку на k -й ділянці ВДМ, км/год;

L_k – довжина k -ї ділянки ВДМ, км;

$Volume_k$ – розмір транспортного потоку на k -й ділянці ВДМ, авт.

Безпосередньо масштабування добових значень (3) та (4) по кількості днів в році дозволяє виконати перехід до середньорічних показників. Для монетарної оцінки соціального ефекту враховується вартість одного часу для кожної особи, що виконує пересування в транспортній системі міста. Результати оцінки показників за альтернативними сценаріями наведено на рис. 4 та 5.

ОЦІНКА ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ					
Показники оцінювання	Базовий стан мережі	Сценарій 1	Сценарій 2		
Середня швидкість автомобіля по мережі, км/год.	36,79	38,82	39,01		Позитивний ефект
Середній час пересування автомобіля по мережі, хв.	8,67	8,07	7,78		Негативний ефект
Середня дальність поїздки автомобіля, км.	5,05	5,10	5,02		

Рисунок 4 – Результати моделювання базових атрибутів оцінки альтернативних сценаріїв

Аналіз показників транспортного обслуговування за Сценарієм 1 дозволив виявити зростання середньої швидкості руху та, як наслідок, скорочення часу пересування. Але заборона руху в центральній частині призвела до зростання середньої дальності пересування, що суперечить принципам SUMP. В свою чергу Сценарій 2 по усіх вище позначених показниках є кращим за поточний стан транспортної системи та Сценарій 1.

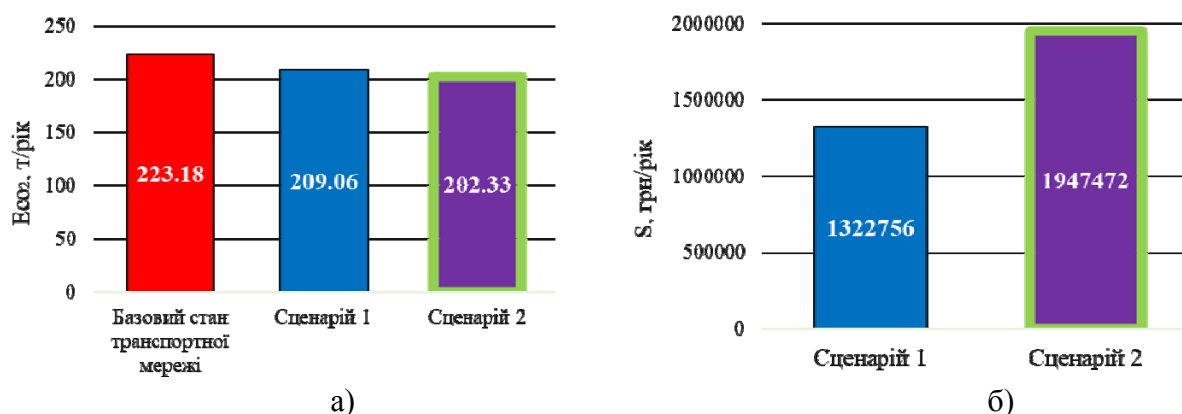


Рисунок 5 – Результати оцінки екологічного (а) та соціально-економічного (б) ефектів від впровадження альтернативних сценаріїв розвитку транспортної системи

Оцінка валових показників за альтернативними сценаріями дозволила сформувати остаточне уявлення про можливі результати від впровадження запропонованих заходів. На основі інтегральної оцінки екологічних та соціально-економічних показників зроблено висновок про доцільність впровадження Сценарію 2, який не передбачає жорсткої заборони на рух в центральній частині міста. Поряд з цим, згідно даних на рис. 5а видно, що екологічна ситуація не змінюється кардинально в кращу сторону. Це обумовлено автомобіле-орієнтованою мобільністю, яка розглядалась в роботі. Таким чином, покращення транспортних умов при автомобіле-орієнтованій мобільності не формує значного сталого ефекту, що вказує на необхідність застосування принципів TOD [5, 15, 16] при розробці сценаріїв сталого розвитку міст.

Висновки:

1. В умовах впровадження SUMP в країнах з автомобіле-орієнтованою мобільністю перехід на «зелені» види громадського транспорту повинен виконуватись поступово з імплементацією проміжного етапу, який включає в себе комплекс заходів щодо обмежень пересувань на приватних автомобілях в центральній частині міста (найбільш завантажена частина міста).

2. В умовах обмеження інформації щодо місткості транспортних районів по відправленню, яка є необхідною для розробки моделі транспортного попиту, доцільно застосування програмних продуктів на базі GIS даних. Вони дозволяють компенсувати відсутність статистичної інформації про кількість мешканців транспортних районів та виконати агрегування даної інформації шляхом формування цифрових шарів міської забудовлі.

3. Розроблені сценарії сталого розвитку транспортної системи міста дозволили оцінити екологічний вплив автомобіле-орієнтованої мобільності. Встановлено, що незважаючи на альтернативні заходи щодо обмежень пересувань на приватних автомобілях в центральній частині міста очікуваний екологічний ефект від таких заходів буде не суттєвим. Досягнуте зниження рівня заторів на ВДМ формує позитивний ефект лише для користувачів транспортної мережі в той час як непрямий вплив транспортної системи на мешканців міст залишається негативним.

Список літератури

1. Guidelines for Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan, Consult Rupprecht, 2019. №2. P. 166.

2. Car-free development through UK community travel plans / D. Morris, M. Enoch, D. Pitfield, S. Ison. *Urban Design and Planning*. 2009. №162. P. 19-27
3. Khreis H., Nieuwenhuijsen M. J. Car free cities: Pathway to healthy urban living. *Environment International*. 2016. №94. P. 251-262.
4. Curtis C. Planning for sustainable accessibility: The implementation challenge. *Transport Policy*. 2008. №15. P. 104-112.
5. Papa E., Bertolini L. Accessibility and Transit-Oriented Development in European metropolitan areas. *Journal of Transport Geography*. 2015. №47. P. 70-83.
6. Estimation of transport accessibility in case of rational transport hub location / A. Rossolov, V. Naumov, N. Popova, E. Vakulenko, O. Levchenko. *Transport*. 2021. №36(1). P. 1-12
7. Rethinking bus-to-metro accessibility in new town development: Case studies in Shanghai / S.-s. Wu, Y. Zhuang, J. Chen, W. Wang, Y. Bai, S.-m. Lo. *Cities*. 2019. №94. P. 211-224.
8. Hickman R., Hall P., Banister D. Planning more for sustainable mobility. *Journal of Transport Geography*. 2013. №33. 210-2019.
9. Yang H., Bell, M. G H. Models and algorithms for road network design: a review and some new developments. *Transport Reviews*. 1998. №18. P. 257-278.
10. Kenworthy J., Hu G. Transport and urban form in Chinese cities: An international comparative and policy perspective with implications for sustainable urban transport in China. *The Planning Review*. 2002. №38. P. 4-14.
11. Koike H. Mobility perspective for a local city in Japan. *IATSS Research*. 2014. №38. P. 32-39.
12. Measurement of black carbon concentration as an indicator of air quality benefits of traffic restriction policies within the ecopass zone in Milan, Italy / G. Invernizzi, A. Ruprecht, R. Mazza, C. De Marco, G. Mocnik, C. Sioutas, D. Westerdahl. *Atmospheric Environment*. 2011. №45. P. 3522-3527.
13. Горбачёв П. Ф., Россолов А. В. Моделирование спроса на услуги пассажирского маршрутного транспорта в крупных городах: монография. Харьков. 2012. 152 с.
14. D. Braess, Über ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung. *Unternehmensforschung*. 1969. №12, 258-268.
15. Carlton I. Histories of Transit-Oriented Development: Perspectives on the Development of the TOD Concept, Working Paper. 2009. No. 2009,02. University of California, Institute of Urban and Regional Development (IURD), Berkeley, CA
16. Кристопчук, М. Є. Оцінка параметрів сталої міської мобільності. *Інжиніринг криз та ризиків транспортних послуг = Crisis and Risk Engineering for Transport Services* : зб. доповідей Міжнар. науково-метод. конф. 2021. С. 355-362.

References

1. Guidelines for Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan, Consult Rupprecht, 2019. №2. P. 166 [in English].
2. Morris, D., Enoch, M., Pitfield, D. & Ison, S. (2009). Car-free development through UK community travel plans. *Urban Design and Planning*. 162. P. 19-27 [in English].
3. Khreis, H. & Nieuwenhuijsen, M. J. (2016). Car free cities: Pathway to healthy urban living. *Environment International*. 94. P. 251-262 [in English].
4. Curtis, C. (2008). Planning for sustainable accessibility: The implementation challenge. *Transport Policy*. 15. P. 104-112 [in English].
5. Papa, E. & Bertolini, L. (2015). Accessibility and Transit-Oriented Development in European metropolitan areas. *Journal of Transport Geography*. 47. P. 70-83 [in English].
6. Rossolov, A., Naumov, V., Popova, N., Vakulenko, E. & Levchenko, O. (2021). Estimation of transport accessibility in case of rational transport hub location. *Transport*. 36(1). P. 1-12 [in English].
7. Wu S.-s., Zhuang Y., Chen J., Wang W., Bai Y. & Lo S.-m. (2019). Rethinking bus-to-metro accessibility in new town development: Case studies in Shanghai. *Cities*. 94. P. 211-224 [in English].
8. Hickman, R., Hall, P. & Banister, D. (2013). Planning more for sustainable mobility. *Journal of Transport Geography*. 33. 210-2019 [in English].
9. Yang H. & Bell, M. G H. (1998). Models and algorithms for road network design: a review and some new developments. *Transport Reviews*. 18. P. 257-278 [in English].
10. Kenworthy, J. & Hu, G. (2002). Transport and urban form in Chinese cities: An international comparative and policy perspective with implications for sustainable urban transport in China. *The Planning Review*. 38. P. 4-14 [in English].
11. Koike, H. (2014). Mobility perspective for a local city in Japan. *IATSS Research*. 38. P. 32-39[in English].

12. G. Invernizzi et al. (2011). Measurement of black carbon concentration as an indicator of air quality benefits of traffic restriction policies within the ecopass zone in Milan, Italy . *Atmospheric Environment*. 45. P. 3522-3527 [in English].
13. Horbachov, P. & Rossolov, A. (2012). *Modelirovanie sprosa na uslugi passazhirskogo marshrutnogo transporta v krupnykh gorodakh: monografiya* [Modeling the demand for passenger route transport services in large cities]. Khar'kov [in Russian].
14. Braess, D. (1969). Über ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung. *Unternehmensforschung*. 12, 258-268 [in Germanin].
15. Carlton I. Histories of Transit-Oriented Development: Perspectives on the Development of the TOD Concept, Working Paper. 2009. No. 2009,02. University of California, Institute of Urban and Regional Development (IURD), Berkeley, CA [in English].
16. Krystopchuk, M. (2021). Otsinka parametriv staloi miskoi mobilnosti. *Inzhynirynh kryz ta ryzykiv transportnykh posluh – Crisis and Risk Engineering for Transport Services* : zb. dopovidei Mizhnar. naukovo-metod. konf. P. 355-362 [in Ukrainian].

Alexander Rossolov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Sergii Lyfenko**, Master's Student
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine

Assessing the Scenarios for Sustainable Development of Transport Systems in the Cities With Car-oriented Mobility

The paper aimed at assessing the scenarios for transport systems sustainable development under car-oriented society.

As SUMP supposes limitation in private cars usage, we focused within this study on assessing the direct and indirect effects due to sustainable measures deployment in a case of car-based mobility. Also, we proposed a new option to determine the number of cars origin from the transport zones using GIS-based data. To achieve the major aims of this study we conducted the experimental research on urban mobility when people tend to use the private cars instead of public transit. The simulation has been conducted with PTV Visum software. Brovary city has been chosen as a case study to reveal the advantages and disadvantages of the car-oriented mobility. We developed two alternative scenarios considering the total ban for entering the city center by the private cars and soft conditions when the cars can cross the city center but with speed restriction. Besides that, both scenarios supposed the changes in traffic organization, namely the revers movement introduction. As the results we revealed the reduction in travel times for both scenarios, but the average travel distance has increased for scenario with ban for entering the city center by the cars. As for the second scenario with soft restrictions it allowed to reduce the travel time, travel distance and increase the traffic speed. But the indirect effect reflected by the CO2 emissions reduction has not changed significantly.

Based on these results we can state that sustainable measures in a case of car-oriented mobility can provide only the direct effect for car users. The indirect effect remains quite low allowing to conclude that sustainable development should be grounded on TOD and non-motorized modes.

car-oriented mobility, transport demand model, supply model, ecological effect

Одержано (Received) 08.04.2021

Прорецензовано (Reviewed) 20.04.2021

Прийнято до друку (Approved) 26.04.2021