

DOI: [10.32702/2307-2105-2018.12.10](https://doi.org/10.32702/2307-2105-2018.12.10)

УДК 519.7: 656.1/5

*М. Ф. Аверкина,
д. е. н., професор, професор кафедри економіко-математичного
моделювання та інформаційних технологій,
Національний університет «Острозька академія»
О. М. Артюх,
студентка, Національний університет «Острозька академія»*

ОЦІНЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ МІСТА

*M. F. Averkina
doctor of economics, professor, professor of the Department of
Economic-Mathematical Modeling and Information Technologies,
The National University of Ostroh Academy
O. M. Artiukh
student, The National University of Ostroh Academy*

ESTIMATION OF THE URBAN TRANSPORT SYSTEMS STABILITY

В статті розкрито особливості оцінювання стійкості транспортної системи міста. Авторами зазначено, що транспортна система є засадничою підсистемою в процесі організації транспортних, логістичних потоків у підсистемах міста. В статті доведено, що оцінювання стану транспортної системи найкраще проводити з точки зору її стійкості, оскільки такий підхід поєднує економічну, екологічну та соціальну складові стійкого розвитку. Представлено алгоритм який використано для оцінювання стійкості транспортної системи міста за даними Світового банку. При дослідженні стану транспортної системи використовувались методи аналогій, аналізу та синтезу; для кількісної оцінки впливу факторів на результуючу змінну – методи економіко-математичного моделювання. На основі запропонованого алгоритму оцінено економічні, екологічні, соціальні та розраховано інтегральний індикатор стійкості транспортної системи. В статті представлено іноземний досвід щодо підвищення рівня стійкості транспортної системи в місті.

The features of assessment of the stability of the city's transport system are presented in the paper. The authors state that the transport system is the main subsystem in the process of organization of transport, logistic flows in the cities subsystems. It is proved in the article that the evaluation of a transport system's condition is best done in terms of its sustainability, since this approach combines the economic, environmental and social components of sustainable development. The authors state that stability is the ability of the system to adapt for certain external and internal influences, provide qualitative, positive changes, with minimum deviations, anticipate the achievement of equilibrium, socio-ecological and economic security, balance between socio-ecological and economic processes and promote the pace of prevailing reproduction of the rates of consumption of resources in the process of organization of logistics flows.

The state of the transport system is influenced by factors that need to be taken into account when assessing the stability of the transport system. The quantitative expression of indicators is a

prerequisite for formalizing and modeling the state of the transport system. This will allow to develop an economic-mathematical model of the stability of the transport system, the formulation of recommendations for measures to increase the stability of the transport system. The algorithm used to assess the sustainability of the city's transport system is presented, according to the World Bank. In studying the state of the transport system, methods of analogy, analysis and synthesis were used; for quantitative estimation of the influence of factors on the resulting variable - methods of economic-mathematical modeling. On the basis of the offered algorithm, the economic, ecological, social and calculated integral indicator of stability of the transport system is estimated. The authors found out that the economic indicators such as indirect costs of consumers and operating transport expenses in the GDP structure have a significant influence on the value of the integral index of stability of the city's transport system. The article presents the foreign experience in increasing the stability of the transport system in the city.

Ключові слова: транспортна система; стійкість; інтегральний індикатор.

Keywords: transport system; stability; integral indicator.

Постановка проблеми. Транспортна система міст відіграє важливу роль в системі управління транспортними потоками між системоутворюючими та системопідтримуючими підсистемами міста. В сучасних умовах, виникає необхідність оцінювання стійкого стану функціонування транспортної системи. Забезпечення стійкого функціонування транспортної системи міст ускладнено нераціональною організацією транспортних потоків, неналежним рівнем якості покриття доріг, недостатнім розвитком транспортної інфраструктури, наявністю застарілих транспортних засобів. Тому, проблема щодо забезпечення стійкого функціонування транспортної системи міста є актуальною. У зв'язку з зазначеним, основним дослідницьким питанням є: чи впливають економічні, екологічні та соціальні чинники на стійкість транспортної системи?

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблемі оцінювання стану функціонування транспортної системи присвячено праці таких вчених як М.І. Данько, В.Л. Дикань, Н.В. Якименко, Ю.В. Соболев, Л.О. Позднякова, О.Г. Дейнека, Ю.С. Бараш, Л.Ю. Яцківський, В.Д. Зеркалова, Н.В. Правдін, О.В. Бойко та ін. Зважаючи на значний доробок учених залишається відкритою проблема щодо визначення впливу економічних, екологічних та соціальних чинників на стійкість транспортної системи міста.

Мета статті. Мета статті полягає в оцінюванні стійкості транспортної системи міста, визначенні основних чинників впливу на стійкість функціонування транспортної системи.

Виклад основного матеріалу. Транспортна система є системопідтримуючою системою підсистем міст, агломерацій, регіонів, тому що завдяки їй функціонують транспортні потоки. Транспортну систему формують транспортні засоби та транспортна інфраструктура. Вона включає взаємозв'язки різних елементів, але різняться за якістю та густотою покриття доріг, видами транспортних засобів, особливостями регіону чи міста, та ін. Варто зазначити, що найбільш повно зміст поняття «транспортна система» подано такими дослідниками, як Н.В. Правдін, В.Я. Негрей, В.А. Подкопаєв та зазначають, що «транспортна система – це сукупність шляхів сполучення, перевізних та технічних пристроїв і механізмів, засобів управління і зв'язку, облаштувань всіх видів транспорту, об'єднаних системою технологічних, технічних, інформаційних, правових та економічних відносин, що забезпечують задоволення потреб народного господарства у перевезенні вантажів і пасажирів» [1].

На стан транспортної системи здійснюють вплив чинники, які необхідно враховувати при оцінюванні стійкості транспортної системи. Кількісне вираження показників є необхідною умовою для формалізації та моделювання стану транспортної системи. Це дозволить розробити економіко-математичну модель стійкості транспортної системи, формуванню рекомендацій щодо заходів для підвищення рівня стійкості транспортної системи.

Вважаємо, що стійкість – це можливість системи за певних зовнішніх і внутрішніх впливів адаптуватись, забезпечувати якісні, позитивні зміни, з мінімальними девіаціями, передбачати досягнення рівноваги, соціо-еколого-економічної безпеки, балансу між соціо-еколого-економічними процесами та сприяти переважанню темпів відтворення над темпами споживання ресурсів у процесі організації логістичних потоків. У загальному розумінні, стійкий розвиток – це концепт щодо необхідності встановлення балансу між задоволенням сучасних потреб людства і захистом інтересів майбутніх поколінь, включаючи їхню потребу в безпечному і здоровому довкіллі [2].

Оцінювання стійкості транспортної системи пропонуємо здійснювати на основі методики Хосейна Хагшенаса та Манучехара Вазірі [3], оскільки вона найбільш повно характеризує транспортну систему враховуючи економічний, екологічний та соціальний складники стійкого розвитку, а також є найбільш затребуваною та актуальною в реаліях сьогодення. Зважаючи на той факт, що стійкий розвиток функціонування систем варто оцінювати через призму збалансованості економічної, екологічної та соціальної підсистем, тому наші показники оцінювання стану транспортної системи згруповано за трьома складниками стійкого розвитку, а саме: економічні, екологічні та соціальні. Економічна складова означає оптимальне використання фінансових ресурсів та перехід на відновні джерела енергії, переробку відходів, зниження витрат та впровадження інноваційних технологій, залучення державно-приватного партнерства у інфраструктурних проектах транспортної системи. Екологічна

складова передбачає зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, проведення кількісної оцінки, моніторинг та обмеження показників забруднюючих викидів у біосферу, підвищення відповідальності за недотримання цих вимог, проведення профілактичних заходів, впровадження екологічно чистих видів транспорту. Соціальна складова полягає в орієнтації транспортної системи на потреби людини, а також передбачає, що людина повинна брати участь у процесах, які формують сферу її життєдіяльності, сприяти прийняттю і реалізації рішень, а також контролювати їх виконання [2]. Комплексне застосування підходу забезпечить стійкий розвиток не лише транспортної системи, а й добробуту міста загалом. Систему показників оцінювання стану транспортної системи міста представлено в табл. 1.

Під час оцінювання стійкості міської транспортної системи необхідно побудувати агрегований індекс, який враховуватиме всі три складники стійкого розвитку. Для цього необхідно сформулювати наступні етапи:

- 1) збір статистичної інформації;
- 2) нормалізація даних за стандартним відхиленням;
- 3) визначення економічного, екологічного та соціального індикаторів з відповідними ваговими коефіцієнтами показників

$$I_{TC} = \frac{\alpha_1 Z_{11} + \alpha_2 Z_{12} + \alpha_3 Z_{13}}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3},$$

$$I_{TE} = \frac{\alpha_4 Z_{21} + \alpha_5 Z_{22} + \alpha_6 Z_{23}}{\alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6},$$

$$I_{TS} = \frac{\alpha_7 Z_{31} + \alpha_8 Z_{32} + \alpha_9 Z_{33}}{\alpha_7 + \alpha_8 + \alpha_9},$$

де I_{TC} – економічний індикатор стійкості транспортної системи;

I_{TE} – екологічний індикатор стійкості транспортної системи;

I_{TS} – соціальний індикатор стійкості транспортної системи.

Z_{ij} – нормований показник j -ї компоненти i -го показника, $j, i \in [1;3]$

$\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_9 = 1$ – вагові коефіцієнти

Таблиця 1.
Показники оцінювання стану транспортної системи міста

Складова	Показник	Одиниці виміру	Бажаний вплив показника
1. Економічний індикатор стійкості транспортної системи міста			
Операційні транспортні витрати в структурі ВВП міста	Відношення витрат місцевого бюджету на транспорт до ВВП міста	%	↓
Прямі витрати споживачів	Прямі транспортні витрати понад ВВП міста	%	↓
Непрямі витрати споживачів	Середній час в подорожі	хв.	↓
2. Екологічний індикатор стійкості транспортної системи міста			
Транспортні викиди діоксиду азоту	Викиди діоксиду азоту (NOx), що забруднюють повітря на душу населення	Мг/м ³	↓
Транспортні викиди твердих частинок	Викиди зважених часток з діаметром часток менше 10 мкм	PM10	↓
Використання енергетичних ресурсів громадським транспортом	Обсяг енергетичних ресурсів, спожитий громадським транспортом	МДж/пас.км	↓
Використання енергетичних ресурсів приватним транспортом	Обсяг енергетичних ресурсів, спожитий приватним транспортом	МДж/пас.км	↓
Використання земельних ресурсів	Використання земельних ділянок для транспортної інфраструктури на душу населення	км/ос	↑
3. Соціальний індикатор стійкості транспортної системи міста			
Смертність в ДТП	Кількість смертей в ДТП в абсолютному вираженні	осіб	↓
Щільність транспортних мереж	Відношення протяжності транспортних шляхів до площі міста	%	↑
Пасажирооборот	Кількість осіб, які скористались транс. послугами на визначену відстань перевезення	пас. км	↑

Сформовано авторами на основі [3]

4) побудова загального індексу стійкості

$$I_{OTS} = \frac{\beta_1 Z_{TC} + \beta_2 Z_{TE} + \beta_3 Z_{TS}}{\beta_1 + \beta_2 + \beta_3}$$

де I_{OTS} – інтегральний індикатор стійкості транспортної системи міста.

Z_{TC} , Z_{TE} , Z_{TS} - нормовані значення індикатора економічної, екологічної та соціальної складових;

$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 1$ - вагові коефіцієнти.

Таким чином сформований індикатор стійкого розвитку дає змогу робити висновки про стійкість транспортної системи будь-якого рівня і масштабу. Вагові коефіцієнти відображають рівноцінність кожного індикатора та показника, хоча у різних варіаціях дослідник може обирати інші значення коефіцієнтів.

Оцінювання рівня стійкості транспортної системи проводилося на ґрунті даних Світового банку (Табл. 2). Нами визначено 5 міст з найвищим інтегральним показником стійкості транспортної системи, а саме: Токіо, Сеул, Відень, Барселона та Мельбурн. Більшість з них знаходиться в країнах-членах ОЕСР, крім Сеула, що належить до Східної Азії та Океанії. За умови розгляду показника окремо по кожній складовій стійкого розвитку, то найвищі показники (зелений колір) економічного, екологічного та соціального розвитку спостерігаються у Відні, Будапешті та Токіо відповідно. Аналогічно найнижчі показники (червоний колір) відповідно у Копенгагені, Мехіко та Делі.

Нами встановлено, що значний вплив на значення інтегрального показника стійкості транспортної системи міста чинять економічні показники такі як непрямі витрати споживачів та операційні транспортні витрати в структурі ВВП. Тому, для підвищення рівня стійкості транспортної системи необхідно запроваджувати комплекс дій їх зниження. Такими можуть бути оснащення громадського транспорту GPS-навігаторами та встановлення інформаційних таблиць, які відображатимуть ситуацію на дорогах в режимі реального часу [4]. В окремих містах може бути доцільним розширення мережі сполучень для розвантаження потоку на деяких окремо взятих ділянках. Також оптимізація та контроль дотримання розкладу руху міського транспорту, оновлення траєкторії його руху відповідно з новим попитом, що зменшить час очікування та час в дорозі. Щодо позитивного впливу на інтегральний індикатор, то варто підвищувати пасажирооборот та щільність транспортних мереж.

Таблиця 2.
Результати оцінювання стійкості транспортної системи міст

City	Country	Region	I_{TC}	I_{TE}	I_{TS}	I_{OTS}
Tokyo	Japan	OECD	0,3556	0,2094	1,7470	1,4255
Seoul	South Korea	EAP	0,5596	0,1188	0,6398	0,9407
Vienna	Austria	OECD	0,6977	-0,0196	-0,1121	0,5402
Barcelona	Spain	OECD	0,2283	0,4013	-0,1499	0,4939
Melbourne	Australia	OECD	0,5896	0,0405	-0,2150	0,4461
Rome	Italy	OECD	0,4882	0,1351	-0,4583	0,3159
Milan	Italy	OECD	0,3915	0,0342	-0,1586	0,2946
Sao Paulo	Brazil	LAC	-0,0530	-0,1764	0,9346	0,2810
Hamburg	Germany	OECD	0,2033	0,2493	-0,4163	0,1915
Paris	France	OECD	-0,4856	0,1847	0,4499	-0,0227
Budapest	Hungary	OECD	-0,4810	0,5545	-0,4098	-0,1286
Hong Kong	China	EAP	-0,4142	-0,2162	0,7807	-0,1562
Guangzhou	China	EAP	-0,0301	-0,3253	0,1637	-0,2411
Johannesburg	South Africa	AFR	-0,1162	0,0928	-0,4652	-0,2614
Warsaw	Poland	ECA	-0,3456	0,3258	-0,6220	-0,3315
Beijing	China	EAP	-0,1692	-0,3076	0,1833	-0,3374
Bangkok	Thailand	EAP	-0,0262	-0,1770	-0,4617	-0,4291
Mexico city	Mexico	LAC	0,0772	-1,3017	1,3106	-0,4457
Stockholm	Sweden	OECD	-0,6671	-0,2725	0,5146	-0,5716
Delhi	India	SAR	0,1264	0,1318	-1,5608	-0,5862
Copenhagen	Denmark	OECD	-0,8488	0,3703	-0,3511	-0,5933
New York	USA	OECD	-0,2085	-0,3902	-0,1498	-0,6235
Toronto	Canada	OECD	-0,1087	-0,6679	-0,2467	-0,8425

Розраховано авторами за даними Світового банку

Також для підвищення рівня стійкості транспортної системи потрібно вирішити кілька найбільш поширених проблем у транспортній політиці міста [4]:

- відсутність належної інформації про вдалу практику, інноваційні рішення щодо мобільності системи та доступних даних для управлінців;

- відсутність відповідної спроможності працівників на муніципальному та національному рівні планувати та впроваджувати екологічно безпечні транспортні проекти;
- відсутність достатнього та стійкого фінансування для підтримки інноваційних проектів;
- низький рівень участі громадськості у формуванні міських транспортних стратегій та орієнтація осіб, що приймають рішення на «автомобільний» спосіб життя.

Вирішення означених проблем дозволить забезпечити рівень стійкості транспортної системи міста. Варто також звернути увагу на організацію транспортних потоків Курітібі (Бразилія). Так, у Курітібі 1980 року створено державну компанію Urbaniza o de Curitiba (URBS), яка обслуговує міську транспортну інфраструктуру та керує автобусним сполученням. 1987 року для зменшення заторів на дорогах прийнято муніципальний закон, яким регламентовано отримання автобусними компаніями ліцензій і компенсацій залежно від кілометражу, а не від кількості перевезених пасажирів; спорудження велосипедних доріжок у якості альтернативи автомобільному транспорту; встановлення у міських автобусах фіксованої оплати проїзду незалежно від відстані поїздки; розрахування вартості проїзду так, щоб перевізники могли покривати свої витрати, не звертаючись по державні субсидії.

Такий захід є досить присутнім у руслі забезпечення стійкості транспортної системи міста, оскільки сприяє зменшенню навантаження на транспортну систему, скороченню державних видатків, а також зниженню викидів шкідливих речовин пересувними джерелами забруднення.

Серед переваг заходу, зrealізованого в Курітібі, – посилення привабливості системи швидкісного автобусного транспорту, через що жителі міста стали значно менше пересуватися легковими автомобілями. Так, із появою системи швидкісного автобусного транспорту відбулося зменшення кількості поїздок на автомобілях на 27 мільйонів на рік, завдяки чому щорічно вдається економити близько 27 мільйонів літрів палива. Курітіба споживає приблизно на 30% менше пального із розрахунку на душу населення, ніж кожне із восьми інших аналогічних за розміром бразильських міст, а рівень забруднення атмосфери в Курітібі один із найнижчих серед міст країни [5].

Висновки. На підставі проведеного дослідження можна зробити висновок, що транспортна система є засадничою підсистемою в процесі організації транспортних потоків у підсистемах міста. Оцінку стану транспортної системи найкраще проводити з точки зору її стійкості, оскільки такий підхід вдало поєднує індикатори трьох складових: економічної, екологічної та соціальної. В ході дослідження було оцінено стан транспортної системи через інтегральний критерій стійкості. Також було кількісно оцінено вплив окремих складових на цей критерій. Встановлено, що чинники впливу на транспортну систему досить вагомі, проте для майбутніх досліджень необхідно розширити їхню кількість. В руслі підвищення стійкості транспортної системи міста необхідно формувати пріоритетні напрями з урахуванням найкращих практик міст.

Список літератури.

1. Правдін Н.В., Негрей В.Я., Подкопаєв В.А. Взаємодія різних видів транспорту. М.: Транспорт. – 1989. – 208с.
2. Бойко О. В. Сталій розвиток транспортної системи України / О. В. Бойко, З. П. Двудіт. // Науковий вісник НЛТУ України. – 2013. – Вип.23.18.
3. Haghshenas H. Urban sustainable transportation indicators for global comparison / H. Haghshenas, M. Vaziri, A. // Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology. – 2012. – №45.
4. The Sustainable Urban Transport Project (SUTP) [Електронний ресурс] // The Sustainable Urban Transport Project (SUTP) – Режим доступу до ресурсу: <http://www.sutp.org/en/about-us.html>.
5. Новые модели развития городов. Точка зрения McKinsey & Company [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://gtmarket.ru/laboratory/expertize/5974>

References.

1. Pravdin N.V. Nether V.Ya. Podkopaiev V.A.(1989), *Vzaiemodiia Riznykh Vydiv Transportu* [Interaction of different types of transport], Transport, Minsk, Belarus.
2. Bojko O.V., Dvulit Z.P. (2013), “The sustainable development of modern Ukrainian transport system”, *Scientific Bulletin of NLTU Ukraine*, 23.18, pp.94-103, Lviv, Ukraine.
3. Haghshenas H., Vaziri M. (2015), Urban sustainable transportation indicators for global comparison, *Ecological Indicators*, Volume 15, Issue 1, pp. 115-121, Tehran, Iran.
4. The Sustainable Urban Transport Project (SUTP) (2018), available at: <http://www.sutp.org/en/about-us.html>.
5. New city development models. Viewpoint McKinsey & Company, available at: <http://gtmarket.ru/laboratory/expertize/5974>

Стаття надійшла до редакції 17.12.2018 р.