

Viktoriiia Yanovska

*Doctor of Sciences (Economics),
Professor of Department of Economics,
Marketing and Business Administration
State University of Infrastructure and Technologies*

Olena Parfentieva

*PhD, Associate Professor of the Department of Economics
National Transport University*

SPATIOTEMPORAL COMPARISONS FOR THE GREEN TRANSITION IN TRANSPORT AND LOGISTICS

Summary

Modern transport systems are in a state of constant change, adapting to the external environment, taking into account new challenges and implementing the achievements of scientific and technical progress, but from the standpoint of sustainable development, these changes are not enough to ensure a full transition to sustainable transport. At the same time, achievements and results in this area create unique opportunities for rethinking passenger and cargo transportation systems and finding sustainable solutions to accelerate transformation processes on a fundamentally new basis. The research of the dynamic evolution of the complex efficiency of transport systems, taking into account their significant impact on the economic, social and environmental parameters of the development of society, is timely and important. Spatialtemporal comparisons of indicators of the green transition in transport and logistics make it possible to form the scientific basis for a justified choice of alternatives and to establish priorities when choosing the directions of transport policy and business strategies. The research summarized the methodological principles of identifying the level of sustainable development of transport. Also put forward and proved the hypothesis regarding the existence of the strongest connection between the index of sustainable mobility and the efficiency index of the logistician, thanks to the normalization of indicators of sustainable mobility of Ukraine relative to the values of the sample for EU countries. Recommendations were made for the introduction of measures of sustainable development of the transport and logistics sector in Ukraine.

Вступ

Як зазначається у звіті ООН, сталий транспорт є ключовим для сталого розвитку [21]. Через вагомую роль та, відповідно, вплив транспорту на низку цілей сталого розвитку забезпечується або гальмується досягнення

Порядку денного та Паризької угоди про зміну клімату. На відміну від таких секторів, як енергетика та водопостачання, які покладаються на показники та цілі сталого розвитку (SDGs) для відстеження ефективності сектора, транспорт не має спеціальної SDG. Тим не менш, транспорт має важливе суспільно-економічне значення, сприяє економічному та соціальному розвитку та є основою суспільного добробуту.

Сучасні транспортні системи перебувають у стані постійних змін, адаптуючись до зовнішнього середовища, ураховуючи нові виклики та впроваджуючи досягнення науково-технічного прогресу, але з позиції сталого розвитку цих змін не достатньо для забезпечення повного переходу до сталого транспорту. Водночас досягнення і результати в цій сфері створюють унікальні можливості для переосмислення систем пасажирських та вантажних перевезень і знаходження сталих рішень для прискорення процесів трансформації на принципово нових засадах.

За офіційним визначенням під сталим транспортом розуміється надання перевізних послуг та використання інфраструктури для мобільності людей і товарів із сприянням економічному і соціальному розвитку на благо теперішніх і майбутніх поколінь безпечним, доступним, ефективним і резильєнтним способом, мінімізуючи викиди вуглецю та інші викиди та вплив на навколишнє середовище [13]. Процес переходу транспортних систем до сталого транспорту як засобу досягнення сталого розвитку передбачає застосування інтегрованого підходу, що ґрунтується на усвідомленні позитивних наслідків і уникненні або пом'якшенні негативних впливів і потребує реалізації проактивних заходів.

Розділ 1. Оцінка індексу сталого мобільності по Україні та країнах ЄС

Завдяки своїм природним перевагам та дотримуючись концептуальних засад сталого розвитку, сталий транспорт стає видом економічної діяльності, що: (1) забезпечує мобільність людей і товарів; (2) сприяє викоріненню бідності та зменшенню нерівності шляхом створення робочих місць і забезпечення їхньої доступності; (3) забезпечує продовольчу безпеку; (4) покращує доступ до важливих послуг (охорона здоров'я, освіта, фінанси); (5) забезпечує інклюзивне економічне зростання; (6) розширює можливостей жінок і вразливих груп; (7) сприяє здоров'ю та добробуту; (8) підтримує реалізацію прав людини; (9) через створення умов для взаємодії між громадами, допомагає інтегрувати ринки та економіку, покращує зв'язки між сільськими та міськими територіями, сприяє міжнародній торгівлі та розвитку міжнародних економічних зв'язків, підтримує і покращує ефективність регіональних та глобальних ланцюгів постачання; (10) сприяє торговельній конкурентоспроможності; (11) підвищує стійкість до системних і

зовнішніх збоїв, включаючи економічні потрясіння, пандемії, кліматичні катастрофи та екстремальні погодні явища [21]. Водночас економічна діяльність в сфері транспорту має ряд негативних наслідків, які потребують пом'якшення: (1) близько чверті глобальних викидів парникових газів, пов'язаних з енергетикою, генерується транспортним сектором, і, за прогнозами, ці викиди суттєво зростуть у найближчі роки, що ще більше посилить кліматичні зміни; (2) забруднення повітря та шумове забруднення, яке є найбільш вираженим у міських центрах, а також відсутність інфраструктури для немоторизованих видів транспорту, безпосередньо впливають на здоров'я та добробут; (3) смертельні випадки та травми на дорогах, кількість дорожньо-транспортних пригод продовжує зростати; (4) покращений зв'язок сприяє швидкому поширенню інфекційних захворювань, незаконній торгівлі людьми, контрабанді та вимираючим видам, а також підтримує глобальний тероризм і сучасне піратство [23; 15; 21].

Багатостороння ініціатива Світового Банку 2017 року «Стала мобільність для всіх» [20], яка об'єднала учасників транспортно-логістичного сектору на глобальному рівні, сформулювала концепцію сталої мобільності, що базується на чотирьох пріоритетах: (1) універсальний доступ, (2) ефективність, (3) безпека та (4) зелена мобільність. Для реалізації ефективних заходів у напрямі дотримання означених пріоритетів багатостороння ініціатива виявляє лідерство щодо: (1) збору та оцінки даних, розробки інтегрованої платформи та індикаторів для транспорту, групування інформації та індикаторів навколо узгодженої структури; (2) відстеження та аналізу показників країни щодо сталої мобільності з використанням глобальної системи відстеження транспорту (GTF); (3) розробки показника для глобального рейтингу сталої мобільності – глобального індексу сталої мобільності (GSMI), що вимірює ступінь стабільності системи мобільності певної країни. GTF складається з понад 100 індикаторів вимірювання продуктивності транспортних систем, що охоплюють всі види транспорту, включає набір основних і допоміжних показників та кодифікує визначення сталої мобільності за пріоритетами та цілями галузевої політики, дозволяючи вимірювати ефективність країни окремо та у порівнянні з іншими країнами за такими параметрами [5]. GTF передбачає визначення GSMI, який оцінює ступінь стабільності системи мобільності певної країни та, як зведений показник, дозволяє порівнювати та ранжувати країни за продуктивністю транспортної системи.

Зведена оцінка індексу сталого мобільності по Україні та країнах ЄС

Країна	RAI		RTR		FWT		LPI		MC		GHG		PM2.5		SM Score		Ранг	
	2020	2022	2020	2022	2020	2022	2020	2022	2020	2022	2020	2022	2020	2022	2020	2022	2020	2022
Україна	56	84	14,2	15,7	28	28	2,83	2,8	13,7	10,2	0,542	0,6	20,31	20,3	59,2	64,23	40	31
Країни ЄС	93	92	31,5	33,4	22	22	3,522	3,5	6,4	5,8	2,067	2,2	13,113	13	71,1	71,46	21	22
Швеція	86	91	73,4	70,7	23	23	4,053	4,1	2,8	3,1	2,016	1,7	6,185	5,7	84,9	86,22	3	1
Німеччина	89	99	80,1	87,9	25	25	4,201	4,2	4,1	3,8	1,955	2,0	12,029	11,9	85,3	85,91	1	3
Нідерланди	100	99	72,9	70,6	24	24	4,019	4,0	3,8	4,0	1,767	1,8	12,034	12,0	85,1	84,15	2	5
Франція	99	99	66,8	66,9	25	25	3,844	3,8	5,5	5,1	1,823	1,9	11,815	11,4	81,9	81,41	5	7
Іспанія	95	90	40,4	39	19	19	3,831	3,8	4,1	3,9	1,910	2,0	9,698	10,0	80,9	79,21	6	9
Данія	99	98	15,1	26,1	20	20	3,992	4,0	4,0	3,7	2,060	2,2	10,030	9,8	77,6	79,07	10	10
Австрія	95	94	44,9	41,3	26	26	4,026	4,0	5,2	4,9	2,690	2,9	12,478	12,2	80,2	79,04	8	11
Чеська Республіка	97	100	0	51,2	27	27	3,680	3,7	5,9	2,9	1,704	1,8	16,071	17	71,3	78,72	20	12
Фінляндія	82	87	17,1	17,3	20	20	3,969	4,0	4,7	3,9	2,256	2,1	5,861	5,6	75,6	76,99	14	14
Португалія	88	99	28,1	27,9	22	22	3,643	3,6	7,4	8,2	1,559	1,7	8,161	8,2	75,8	75,24	13	15
Ірландія	93	95	35,4	34,7	19	19	3,510	3,5	4,1	3,1	2,502	2,5	8,209	7,8	74,0	74,50	16	16
Бельгія	100	99	9,8	10,2	21	21	4,039	4,0	5,8	5,8	2,295	2,2	12,887	12,7	74,4	74,23	15	17
Італія	98	99	12,7	11,5	21	21	3,739	3,7	5,6	5,3	1,677	1,7	16,751	15,8	73,3	72,88	18	18
Польща	95	94	47,7	49,6	20	20	3,590	3,5	9,7	9,4	1,401	1,7	20,878	22,8	73,5	71,35	17	19
Угорщина	98	92	22,2	22,8	24	24	3,419	3,4	7,8	7,7	1,243	1,5	15,926	16,6	73,1	70,92	19	20
Естонія	86	98	-	-	24	24	3,312	3,3	6,1	4,5	1,824	1,9	6,732	5,9	66,8	68,69	24	22
Румунія	89	81	38,6	43,8	13	13	3,119	3,1	10,3	10,3	0,837	1,0	14,611	15,1	69,6	67,97	21	23
Греція	90	94	23,9	23,3	15	15	3,205	3,2	9,2	8,3	1,569	1,7	16,218	14,3	65,2	65,81	29	27
Люксембург	-	100	-	0	18	18	3,630	3,6	6,3	4,1	9,622	10,3	10,365	10,1	56,0	65,52	47	28
Словацька Республіка	-	95	-	-	27	27	3,027	3,0	6,1	6,1	1,252	1,5	17,563	18,5	57,5	63,75	45	33
Болгарія	98	72	31,4	39,1	18	18	3,034	3,0	10,2	9,2	1,277	1,4	19,149	19,9	66,5	63,53	25	34
Мальта	100	98	-	-	22	22	2,814	2,8	6,1	4,1	1,318	1,5	13,910	13,1	62,8	62,90	31	35
Словенія	95	94	-	-	22	22	3,315	3,3	6,4	5,1	2,712	2,7	16,024	17,1	61,3	61,32	34	38
Хорватія	84	95	0	0	20	20	3,104	3,1	8,1	7,9	1,461	1,6	17,902	18,2	60,7	60,76	37	40
Литва	97	93	0	0	26	26	3,018	3,0	8,0	8,1	1,883	2,3	11,853	10,5	62,4	60,09	33	41
Кіпр	89	45	-	-	29	29	3,151	3,2	5,1	5,8	1,624	1,8	17,294	15,8	65,7	59,98	27	42
Латвія	90	92	0	0	24	24	2,810	2,8	9,3	8,1	1,582	1,7	13,426	12,7	59,0	59,17	42	44

Джерело: сформовано автором за даними [11; 12]

Кожен пріоритет GTF пов'язаний з головним індикатором або інтегральним показником разом зі списком допоміжних індикаторів. До головних індикаторів належать: (1) індекс доступу до сільської місцевості (RAI), що визначається за даними Дослідження партнерства доступу до спільноти [16]; (2) співвідношення швидкого транзиту до мешканців (RTR) Інституту політики транспорту та розвитку [7]; (3) працівниці транспорту (FWT) Міжнародної організація праці [19]; (4) індекс ефективності логістики (LPI) Світового банку [10]; (5) показник смертність від ДТП (MC) Всесвітньої організації охорони здоров'я [14]; (6) показник викидів парникових газів, пов'язані з транспортом (GHG) Міжнародного енергетичного агентства [22]; (7) показник забруднення повітря PM2.5 (PM2.5) Інституту показників і оцінки здоров'я [4].

Оцінка для кожного пріоритету обчислюється шляхом співставлення значення країни для головного показника пріоритету, вираженого у відсотках відносно найкращих і найменш результативних країн у світі. Зведена оцінка індексу сталої мобільності (SM Score) заснована на припущенні, що кожен з чотирьох пріоритетів SuM4All має однакову вагу, а його значення коливається в інтервалі стобальної шкали від 0 до 100. За зведеною оцінкою, використовуючи критерій максимізації, відбувається ранжування країн, а за оцінкою для кожного пріоритету країни класифікуються за категоріями: А – група країн, що має найбільш просунутий фронт рівня основних індикаторів (зокрема для пріоритету ефективності – фронт ефективності), В – середній, ближче до просунутого, С – середній, ближче до мінімального, D – мінімальний.

Як свідчать результати досліджень SM Score значення індикаторів та позиції країн ЄС суттєво відрізняються і мають широкий діапазон розкиду. Для групування країн за індексом сталої мобільності з використанням методичного підходу, представленого у роботах [25; 26], інтервал групування (I) було визначено з урахуванням поділу країн на ABCD категорії за формулою:

$$I = (k^{max} - k^{min}) / n,$$

де k^{max} та k^{min} – відповідно максимальне та мінімальне значення групувальної ознаки;

n – кількість груп, яка за ABCD-групуванням;

$$n = 4.$$

З використанням встановленої величини інтервалу було визначено інтервальні значення кожної з n груп: $k^{min} < k \leq (k^{min} + I)$ – для групи D – групи країн, що мають найменш просунутий фронт індексу сталої мобільності, $(k^{min} + I) < k \leq (k^{min} + 2 \cdot I)$ – для групи С – групи країн із середнім фронтом, ближчим до мінімального,

$(k^{min} + 2 \cdot I) < k \leq (k^{min} + 3 \cdot I)$ – для групи В – групи країн із середнім фронтом, ближчим до максимального, $(k^{min} + 3 \cdot I) < k \leq k^{max}$ – для групи А – групи країн, що мають найбільш просунутий фронт індексу сталої мобільності. За результатами розрахунків за даними щодо індексу сталої мобільності країн ЄС 2022 року: інтервал групування дорівнює $(86,22 - 59,17) / 4 = 6,76$ пунктів, інтервальні значення групи D – $59,17 < k \leq 65,94$, групи C – $65,94 < k \leq 72,70$, групи В – $72,70 < k \leq 79,46$, групи А – $k > 79,46$. За даними 2020 року: інтервал групування дорівнює $(85,30 - 55,98) / 4 = 7,33$ пунктів, інтервальні значення групи D – $55,98 < k \leq 63,31$, групи C – $63,31 < k \leq 70,64$, групи В – $70,64 < k \leq 77,97$, групи А – $k > 77,97$.

Таблиця 2

Групування країн ЄС за індексом сталої мобільності (дані 2022 р.)

Група А	Група В	Група С	Група D
$k > 79,46$	$72,70 < k \leq 79,46$	$65,94 < k \leq 72,70$	$59,17 < k \leq 65,94$
Швеція Німеччина Нідерланди Франція	Іспанія (↓) Данія Австрія (↓) Чеська Республіка Фінляндія Португалія Ірландія Бельгія Італія	Польща (↓) Угорщина (↓) Естонія Румунія Греція	Люксембург Словацька Республіка Болгарія (↓) Мальта Словенія Хорватія Литва Кіпр (↓) Латвія
			Україна
Група країн, що мають найбільш просунутий фронт індексу сталої мобільності	Група країн із середнім фронтом індексу сталої мобільності, ближчим до максимального	Група країн із середнім фронтом індексу сталої мобільності, ближчим до мінімального	Група країн, що мають найменш просунутий фронт індексу сталої мобільності

Примітки: позначка «↓» означає зміну групи порівняно із аналітикою 2020 р.

Джерело: складено автором

Групування країн за індексом сталої мобільності демонструє наступні результати. До групи А, що об'єднує країни, які мають найбільш просунутий фронт індексу сталої мобільності, за даними 2022 року належать такі країни ЄС, як Швеція, Німеччина, Нідерланди, Франція. У 2020 році в дану групу також входили Іспанія та Австрія, проте

зменшення значення індексу Іспанії з 80,9 пунктів до 79,21 пункти (на 1,69 пункти або на 2,1%) і Австрії відповідно з 80,2 пунктів до 79,04 пункти (на 1,16 пунктів або на 1,4%) обумовили їхній перехід до групи В. До групи В або групи країн із середнім фронтом індексу сталої мобільності, ближчим до максимального, крім Іспанії та Австрії стабільно належать Данія, Чеська Республіка, Фінляндія, Португалія, Ірландія, Бельгія, Італія. За оцінками 2020 року до цієї групи також належала Польща, індекс сталої мобільності якої у 2020 році становив 73,5 пунктів, і Угорщина (73,1 пункти), але зміни що відбулись за період 2020–2022 років спричинили погіршення значень індексів відповідно до 71,35 та 70,92 пунктів (на 2,15 і 2,18 пункти або на 2,9% і 3,0%). До групи С (група із середнім фронтом індексу сталої мобільності, ближчим до мінімального) за даними 2022 року крім вищезгаданих країн належить Естонія, Румунія, Греція. І так само ще дві країни належали до цієї групи у 2020 році – Болгарія і Кіпр, між тим погіршили своє положення у 2022 році, змістивши значення індексу сталої мобільності відповідно з 66,5 до 63,53 пунктів (на 2,97 пункти або на 4,5%) і з 65,7 до 59,98 пунктів (на 5,72 пункти або на 8,7%). До групи D – групи країн, що мають найменш просунутий фронт індексу сталої мобільності, належать також Люксембург, Словацька Республіка, Мальта, Словенія, Хорватія, Литва, Латвія. До цієї ж групи слід віднести і Україну, значення індексу сталої мобільності якої за даними 2022 року становило 64,23 пункти, що на 7,23 пункти є меншим за середній рівень по країнах ЄС. Слід підкреслити, що зміни, які відбулись протягом 2020–2022 років у транспортній системі України позитивно відобразились на зсуві значення індексу сталої мобільності, обумовив його суттєве зростання (на 5,03 пункти або на 8,5%). За інших рівних умов така динаміка індикатору була спроможна спричинити перехід країни з групи країн з найменш просунутим фронтом індексу сталої мобільності до групи країн із середнім фронтом індексу сталої мобільності, хоча і ближчим до мінімального.

Розділ 2. Розрахунок коефіцієнтів кореляції та оцінка ступеню взаємозв'язку між SM Score та головними індикаторами GTF країн ЄС

SM Score, як інтегральний показник, що формує індекс сталої мобільності, є показником, що залежить від випадкових змінних головних індикаторів GTF. В такому разі SM Score є регресором (залежною змінною) означених предикторів (незалежних змінних) з різним ступенем взаємозв'язку між ними, що може бути вимірний коефіцієнтами кореляції Пірсона (r). Коефіцієнти кореляції є інструментом описової статистики, який узагальнює одну з характеристик набору даних, описуючи силу та напрямок лінійного зв'язку між двома кількісними

змінними [9]. Водночас коефіцієнт кореляції є інструментом інференційної статистики, який можна використовувати для перевірки статистичних гіпотез так само через встановлення або, навпаки, не встановлення зв'язку між двома змінними [2].

Перед розрахунком коефіцієнтів кореляції та оцінкою ступеню взаємозв'язку між SM Score та головними індикаторами GTF країн ЄС було висунуто гіпотезу, що найсильніший зв'язок існує між індексом сталої мобільності та індексом ефективності логістики (LPI) або що країни, що мають вищий рівень індексу логістики матимуть більший рівень розвитку сталої мобільності. Гіпотеза обґрунтовується логікою розвитку транспортно-логістичного сектору економіки та вагомою соціальною і екологічною роллю транспорту загалом. Незважаючи на те, що для транспортної галузі не визначено окремої цілі сталого розвитку, соціальні та економічні екстерналії, пов'язані з рівнем розвитку транспортної системи, напрямками трансформації ланцюгів постачання, способами організації руху товарів і забезпечення мобільності з використанням ефективного модального розподілу транспортних потоків, мають надзвичайну вагомість та визначальним чином впливають на добробут суспільства, доступність і безпечність людського середовища. Розрахунок коефіцієнтів кореляції підтверджує гіпотезу щодо наявності тісного зв'язку між вказаними параметрами. Більш того, засвідчують, що обумовленість SM Score фактором LPI є найсильнішою порівняно з іншими параметрами моделі, навіть в умовах рівнозначності індикаторів, що формують зведену оцінку індексу сталої мобільності. Тіснота зв'язку за даними 2020 р. становить $r = 0,833985$, за даними 2022 р. – $r = 0,906454$.

Крім того даний предиктор має позитивний вплив на регресор. По інших параметрах моделі зв'язок не такий суттєвий, хоча і наявний. За ступенем зменшення впливу на індекс сталої мобільності фактори моделі розподіляються наступним чином: (1) предиктори позитивного впливу: співвідношення швидкого транзиту до мешканців – RTR ($r_{2020} = 0,831060; r_{2022} = 0,817361$), індекс доступу до сільської місцевості – RAI ($r_{2020} = 0,481584; r_{2022} = 0,361833$), працівниці транспорту – FWT ($r_{2020} = 0,080312; r_{2022} = 0,083878$), (2) предиктори негативного впливу: смертність від ДТП – MC ($r_{2020} = -0,56186; r_{2022} = -0,55041$), забруднення повітря PM2.5 ($r_{2020} = -0,40443; r_{2022} = -0,42966$), викиди парникових газів (GHG), пов'язані з транспортом ($r_{2020} = -0,23907; r_{2022} = -0,08332$). Такий напрям зв'язку повністю відповідає фізичному змісту означених параметрів, а саме тому, що пріоритети універсальної доступності та ефективності транспортних систем мають бути досягнуті через

максимізацію відповідних індикаторів, а пріоритети безпеки і зеленої мобільності – через мінімізацію. Знайдені моделі регресійного аналізу підтверджують статистично значущі зв'язки та їхній характер. Коефіцієнти багатофакторної лінійної регресії описують математичне співвідношення між кожною незалежною та залежною змінними.

Таблиця 3

Коефіцієнти кореляції індексу сталої мобільності та головних індикаторів Глобальної системи відстеження транспорту країн ЄС

Рік	RAI	RTR	FWT	LPI	MC	GHG	PM2.5	SM Score
2020	0,4815 84	0,83106 0	0,08031 2	0,83398 5	-0,56186	-0,23907	-0,40443	1
2022	0,3618 33	0,81736 1	0,08387 8	0,90645 4	-0,55041	-0,08332	-0,42966	1
<i>r</i>	0,3;0,5	0,5;1,0	0;0,3	0,5;1,0	-0,5;-1,0	0;-0,3	-0,3;-0,5	
Сила зв'язку	помірний	сильний	слабкий	сильний	сильний	слабкий	помірний	
Напрямок зв'язку	позитивний	позитивний	позитивний	позитивний	негативний	негативний	негативний	

Джерело: складено автором

Таблиця 4

Регресійні моделі індексу сталої мобільності країн ЄС

Рік	Регресійна модель
2020	$SM\ Score_{2020} = 30,99538 + 0,058846 \cdot RAI + 0,132645 \cdot RTR +$ $+0,030468 \cdot FWT + 10,8679 \cdot LPI - 0,30524 \cdot MC -$ $-1,22565 \cdot GHG - 0,20353 \cdot PM\ 2.5$
2022	$SM\ Score_{2022} = 30,21696 + 0,087787 \cdot RAI +$ $+0,133123 \cdot RTR - 0,015247 \cdot FWT + 10,49621 \cdot LPI - 0,40756 \cdot MC -$ $-0,75103 \cdot GHG - 0,22771 \cdot PM\ 2.5$

Джерело: складено автором

В цілому регресійний аналіз належить до методів інференційної статистики та дозволяє проаналізувати дані з вибірки, щоб зробити висновки і узагальнити результати для сукупності загалом [17]. Знак коефіцієнтів лінійної регресії показує, існує позитивна або негативна кореляція між кожною незалежною змінною та залежною змінною. Позитивні коефіцієнти предикторів RAI, RTR, FWT (крім функції 2022 р.) і LPI вказують на те, що зі збільшенням значення відповідних незалежних

змінних середнє значення залежної змінної SM Score має тенденцію до зростання. Від’ємні коефіцієнти предикторів MC, GHG і PM2.5 означають, що зі збільшенням незалежних змінних залежна змінна SM Score має тенденцію до зменшення. Величина коефіцієнта вказує на те, наскільки змінюється середнє значення залежної змінної за умови зсуву незалежної змінної на одну одиницю при збереженні постійними інших змінних у моделі. Властивість утримувати інші змінні постійними є вирішальною, оскільки вона дозволяє оцінити вплив кожної змінної окремо від інших.

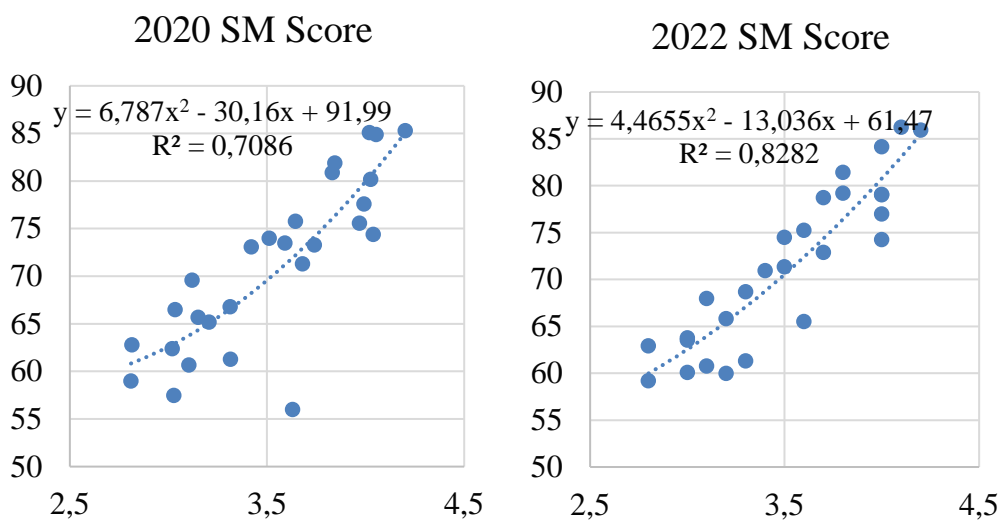


Рис. 1. Парна кореляція індексу сталої мобільності SM Score та індексом ефективності логістики LPI в країнах ЄС

Джерело: складено автором

Коефіцієнт LPI в рівнянні лінійної регресії 2020 р. дорівнює 10,8679, в рівнянні 2022 р. – 10,49621 і демонструє середнє збільшення SM Score на кожен додатковий пункт LPI. Якщо LPI збільшується на 1 пункт, то середній SM Score за рівних інших умов додає у своєму загальному значенні понад ніж десятю частину. Щільність безпосереднього зв’язку між SM Score і LPI найтісніша, якщо така залежність описується поліноміальною функцією, достовірність апроксимації в такому разі для функції за даними 2020 р. становить $R^2 = 0,7086$, для функції за даними 2022 р. – $R^2 = 0,8282$.

Як свідчать дані індексу сталої мобільності Україна суттєво поліпшила свої показники протягом 2020–2022 рр., піднявши рівень SM Score з 59,20 до 64,23 пунктів на 5,03 пункти або на 8,5%. Позитивна динаміка спостерігається за такими параметрами як: співвідношення швидкого транзиту до мешканців (RTR), яке виросло на 50,0% з 56 до 84 км/млн

населення, індекс доступу до сільської місцевості (RAI), який було збільшено на 10,6% з 14,2% до 15,7%, та показник смертності від ДТП (МС), який було знижено на 25,5% з 13,7 до 10,2 одиниць. Негативного тренду зазнали такі параметри, як: індекс ефективності логістики (LPI) – зменшився на 1,1% з 2,83 до 2,8 балів та показник викидів парникових газів (GHG), пов'язаних з транспортом – виріс на 10,7% з 0,542 до 0,6 тонни CO₂. Два індикатори залишились без змін: працівниці транспорту (FWT) і показник забруднення повітря (PM_{2.5}). Між тим, такого зростання було не достатньо, щоб подолати розрив та потрапити до більш ефективної за індексом сталої мобільності групи країн ЄС. Детальніше дослідження розривів основних індикаторів потребує відносних порівнянь показників.

Для дослідження відносної інформації щодо певних явищ та процесів рекомендується використовувати композиційний аналіз даних. Композиційний аналіз даних застосовується для вибірки, що поелементно приводиться до значень в інтервалі 1–100 %. Хоча одержані співвідношення не залежать від конкретного набору компонентів, умова, за якою фундаментальні перетворення зокрема через логарифми відношень повинні бути позитивними, вводить певні обмеження, за якими нульові значення становлять серйозну проблему, яка може долатися групуванням на основі знань предметної області та об'єднання для створення нових компонентів. Після перетворення композиційних даних у логарифмічні відношення можна виконувати звичайний однофакторний і багатфакторний статистичний аналіз, кластеризація, моделювання [6]. Як альтернатива композиційній методології, яка наближає до ідеалів логарифмічного підходу, пропонуються методи порівняльного аналізу, що ураховують структуру даних і використовують масштабування. В процесі масштабування одиниця вимірювання, розмір і рівень критеріїв змінюються разом з одним або декількома операціями перетворень, повторного вимірювання, нормалізуються або зважуються [8]. Головними причинами масштабування є відмінності в характеристиках критеріїв, таких як рівні вимірювання, розмір діапазону, рівні важливості, необхідність відповідати припущенням методу, який використовується для дослідження проблеми. При цьому одним із критичних процесів, які використовуються для масштабування даних, є нормалізація, що використовується, крім порівняльного аналізу, в інтелектуальному аналізі даних, багатовимірній статистиці, багатокритеріальному прийнятті рішень (MCDM).

Нормалізація є процесом масштабування, який використовується для того, щоб зробити критерії порівнянними шляхом урахування напряму оптимізації та усунення діапазону варіацій і відмінностей в одиницях вимірювання через перетворює значення в певний діапазон

(0–1 або 1–100%). За допомогою нормалізації дані перетворюються з отриманням стандартизованих значень, саме тому синонім методу нормалізації є стандартизація. Методи нормалізації згладжують рівні впливу всіх критеріїв (незалежно від процесу зважування), обробляють нульові та від’ємні значення, генерують однакові нормалізовані значення для однойменних одиниць вимірювання (що конвертуються одна в одну), і не спричиняє проблем зміни рангу, водночас забезпечуючи симетрію в орієнтації на оптимізацію. Більшість методів нормалізації передбачає перетворення відповідно до необхідності максимізації або мінімізації, тобто враховує оптимізаційну орієнтацію критеріїв [1].

Таблиця 5

**Нормалізовані індикатори сталої мобільності України
відносно значень вибірки по країнах ЄС**

Індикатор	Рік	RAI	RTR	FWT	LPI	MC	GHG	PM2.5	SM Score
Країни ЄС									
Максимальне значення	2020	100	80,1	29	4,201	10,3	9,622	20,878	85,3
	2022	100	87,9	29	4,2	10,3	10,3	22,8	86,22
Мінімальне значення	2020	82	9,8	13	2,81	2,8	0,837	5,861	56
	2022	45	10,2	13	2,8	2,9	1	5,6	59,17
Середнє значення	2020	93	31,5	22	3,522	6,4	2,067	13,113	71,1
	2022	92	33,4	22	3,5	5,8	2,2	13	71,46
Україна	2020	56	14,2	28	2,83	13,7	0,542	20,31	59,2
	2022	84	15,7	28	2,8	10,2	0,6	20,3	64,23
Нормалізовано									
відносно критерію оптимальності	2020	56,0	17,7	96,6	67,4	20,4	154,4	28,9	69,4
	2022	84,0	17,9	96,6	66,7	28,4	166,7	27,6	74,5
відносно середнього	2020	60,2	45,1	127,3	80,4	46,7	381,4	64,6	83,3
	2022	91,3	47,0	127,3	80,0	56,9	366,7	64,0	89,9
Розрив									
за критерієм оптимальності	2020	-44,0	-82,3	-3,4	-32,6	-79,6	54,4	-71,1	-30,6
	2022	-16,0	-82,1	-3,4	-33,3	-71,6	66,7	-72,4	-25,5
із середнім	2020	-39,8	-54,9	27,3	-19,6	-53,3	281,4	-35,4	-16,7
	2022	-8,7	-53,0	27,3	-20,0	-43,1	266,7	-36,0	-10,1
Ранг індикатора за рівнем розриву [з урахуванням коефіцієнтів кореляції]		5[4]	1[5]	6	4[1]	2	7	3	

Джерело: складено автором

За методом ідеальної лінійної нормалізації, що належить до групи інтегровано-змішаних технік [24; 8], нормалізовані значення критеріїв

(n_{ij}) , що потребують мінімізації, є результатом співвідношення мінімального значення ($\min_i x_{ij}$) у вибірці із значення параметру (x_{ij}), а нормалізовані значення критеріїв (n_{ij}), що потребують максимізації, визначаються шляхом ділення значення параметру (x_{ij}) на максимальне значення ($\max_i x_{ij}$). В наслідок того, що вказаний метод орієнтує на співставлення виключно з оптимальними параметрами, з метою аналізу даних у порівнянні із середніми значеннями за вибіркою по країнах ЄС (\bar{x}_{ij}), користуючись подібним підходом, рівні основних індикаторів по Україні так само можна нормалізувати. Одержані нормалізовані значення дозволяють виявити групи показників із різним ступенем розриву з оптимальними та середніми значеннями по країнах ЄС.

До групи з високим рівнем розриву (негативне відхилення перевищує 50%) і, відповідно, найбільш негативним представленням транспортної системи України із позицій концепції сталого розвитку у країнах ЄС, належать такі основні індикатори, як: співвідношення швидкого транзиту до мешканців (RTR) – відхилення від максимальних значень сягає 82,1(2022)–82,3(2020)%, від середніх по групі країн ЄС – 53,0(2022)–54,9(2020)%, показник смертності від ДТП (МС) – відповідно 71,6(2022)–79,6(2020)% та 43,1(2022)–53,3(2020)%, показник забруднення повітря PM2.5 – 71,1(2020)–72,4(2022) та 35,4(2020)–36,0(2022)% (із погіршенням стану). До групи із помірним рівнем розриву (негативне відхилення до 50%) належить індекс доступу до сільської місцевості (RAI) – значення відхилень від оптимального та від середнього складають 16,0(2022)–44,0(2020)% та 8,7(2022)–39,8(2020)%, працівниці транспорту (FWT) – 3,4% (2020–2022 роки) із перевищенням середнього значення по країнах ЄС на 27,3% (2020–2022 роки), індекс ефективності логістики (LPI) – 32,6(2020)–33,3(2022)% та 19,6(2020)–20,0(2022)% (із погіршенням стану). До групи показників, що демонструють лідерські значення параметру відноситься показник викидів парникових газів (GHG). Співвідношення транспортних викидів CO2 (тонн) на душу населення по Україні є меншим на 54,4(2020)–66,7(2022)% порівняно із мінімальним та на 281,4(2020)–266,7(2022)% порівняно із середнім рівнем по країнах ЄС.

Висновки

Одержані результати, а також ранжування основних критеріїв за величиною розриву (від максимального до мінімального) дозволяє розставити пріоритети у розробці та запровадженні заходів сталого розвитку транспортно-логістичного сектору економіки України з метою

наближення національної транспортної системи до умов ЄС та виконання вимог довгострокового інклюзивного економічного зростання у галузі.

По-перше, ефективність – створення сучасної системи управління складними мережами ланцюгів постачання, що відповідає світовим стандартам і застосовує новітні практики організації транспортування, переробки та зберігання вантажів, модального розподілу транспортних потоків, задоволення людських потреб та вимог суспільного розвитку щодо організації ефективних, екологічних, безпечних пасажирських перевезень.

По-друге, безпека – удосконалення системи попередження пригод та запобігання виникненню дорожньо-транспортних загроз в транспортних системах із надійним забезпеченням високого рівня захисту та збереження довкілля, майна, життя і здоров'я учасникам дорожнього руху з використанням сучасних інструментів державної та регіональної політики і управління транспортно-логістичними процесами.

По-третє, універсальний доступ – розвиток та подальша розбудова критичної транспортної інфраструктури в першу чергу для забезпечення транспортної доступності у сільській місцевості з паралельним запровадженням проектів високошвидкісного руху.

По-четверте, зелена мобільність – запровадження моделі транспортної політики та системи заходів на рівні транспортно-логістичних компаній, сприятливих збереженню навколишнього середовища, передусім спрямованим на мінімізацію негативного впливу на населення концентрації зважених часток у повітрі, які здатні завдавати серйозної шкоди дихальним шляхам і здоров'ю людини загалом.

Список використаних джерел:

1. Aytekin A. Comparative analysis of normalization techniques in the context of mcdm problems. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2021. Vol. 4, Issue 2, pp. 1–25. DOI: <https://doi.org/10.31181/dmame210402001a>
2. Christensen R. *Statistical Inference. A Work in Progress*. Department of Mathematics and Statistics University of New Mexico, 2019, 211 p.
3. Elementary global tracking framework for transport. *Sustainable Mobility for All™ (SuM4All)*, 17 p.
4. Global Burden of Disease (GBD). The Institute for Health Metrics and Evaluation, IHME. URL: <https://www.healthdata.org/research-analysis/gbd>
5. Global Mobility Report 2017. Tracking Sector Performance. *Sustainable Mobility for All™ (SuM4All)*, 2017, 107 p.
6. Greenacre M. Compositional data analysis. *Annual Review of Statistics and Its Application*, March, 2021. Vol. 8. P. 271–299. DOI: <https://dx.doi.org/10.1146/annurev-statistics-042720-124436>
7. Infographic: Rapid Transit to Resident Ratio (RTR). Institute for Transportation and Development Policy, ITDP. URL: <https://www.itdp.org/publication/infographic-rapid-transit-to-resident-ratio-rtr/>

8. Jahan A., Edwards K.L. A state-of-the-art survey on the influence of normalization techniques in ranking: Improving the materials selection process in engineering design. *Materials & Design* (1980–2015), January 2015. Vol. 65. P. 335–342. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.09.022>
9. Joshua M. Introduction to descriptive statistics. Tebbs Department of Statistics The University of South Carolina, 2006, 156 p.
10. Logistics Performance Index (LPI). World Bank. URL: <https://lpi.worldbank.org/>
11. Mobility Performance at a Glance Country Dashboards 2020. Sustainable Mobility for All™ (SuM4All), 2020, 402 p.
12. Mobility Performance at a Glance Country Dashboards 2022. Sustainable Mobility for All™ (SuM4All), 2022, 397 p.
13. Mobilizing Sustainable Transport for Development: Analysis and Policy Recommendations. United Nations, Secretary-General High-level Advisory Group on Sustainable Transport, 2016, 72 p.
14. Mortality caused by road traffic injury (per 100,000 population). World Health Organization, WHO. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/SH.STA.TRAF.P5>
15. Natarajan M. International and transnational crime and justice. Cambridge University Press; Cambridge University Press, 2019, 46 pp.
16. Rural Access Index (RAI). Research for Community Access Partnership, RECAP. <https://www.research4cap.org/index.php/regional-and-cross-regional-projects/rural-access>
17. Salas-Parra R.D., Castro-Ochoa K.J., Machado-Aranda D.A. Basic science statistics Author links open overlay panel Translational Surgery Handbook for Designing and Conducting Clinical and Translational Research, 2023, pp. 195–199. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90300-4.00022-7>
18. Sources for GTF 3.0 Indicators in the Data Module for Policy Decision-Making Tool for Sustainable Mobility 3.0. Sustainable Mobility for All™ (SuM4All), 4 p.
19. Statistics on Employment. International Labour Organization, ILO. URL: <https://ilostat.ilo.org/topics/employment/>
20. Sustainable Mobility for All initiative. URL: <https://www.sum4all.org/>
21. Sustainable transport, sustainable development. Interagency report i second global sustainable transport conference, United Nations, 2021, 120 p.
22. Tracking Transport. International Energy Agency, IEA. URL: <https://www.iea.org/energy-system/transport#tracking>
23. United for Wildlife (UW) Transport Taskforce. Buckingham Palace Declaration. 2016. URL: <https://unitedforwildlife.org/the-buckingham-palace-declaration/>
24. Zhou P., Ang B.W., Poh K.L. Comparing aggregating methods for constructing the composite environmental index: An objective measure. *Ecological Economics*. 2006. Vol. 59(3), pp. 305–311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.10.018>
25. Чернявська О.В. Національна економіка: навч. посіб. Київ : Алерта, 2018. 502 с.
26. Яновська В.П. Інтенсивність цифровізації економіки України. *Економіка України*. 2020. № 9. С. 5–20.

References:

1. Aytakin A. (2021) Comparative analysis of normalization techniques in the context of mcdm problems. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*. Vol. 4, Issue 2, pp. 1–25. DOI: <https://doi.org/10.31181/dmame210402001a>
2. Christensen R. Statistical Inference. A Work in Progress. Department of Mathematics and Statistics University of New Mexico, 2019, 211 p.

3. Elementary global tracking framework for transport. Sustainable Mobility for All™ (SuM4All), 17 pp.
4. Global Burden of Disease (GBD). The Institute for Health Metrics and Evaluation, IHME. <https://www.healthdata.org/research-analysis/gbd>
5. Global Mobility Report 2017. Tracking Sector Performance. Sustainable Mobility for All™ (SuM4All), 2017, 107 p.
6. Greenacre M. (2021) Compositional data analysis. *Annual Review of Statistics and Its Application*, March. Vol. 8, pp. 271–299. DOI: <https://dx.doi.org/10.1146/annurev-statistics-042720-124436>
7. Infographic: Rapid Transit to Resident Ratio (RTR). Institute for Transportation and Development Policy, ITDP. URL: <https://www.itdp.org/publication/infographic-rapid-transit-to-resident-ratio-rtr/>
8. Jahan A., Edwards K.L. (2015) A state-of-the-art survey on the influence of normalization techniques in ranking: Improving the materials selection process in engineering design. *Materials & Design* (1980–2015), January 2015. Vol. 65, pp. 335–342. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.09.022>
9. Joshua M. Introduction to descriptive statistics. Tebbs Department of Statistics The University of South Carolina, 2006, 156 p.
10. Logistics Performance Index (LPI). World Bank. URL: <https://lpi.worldbank.org/>
11. Mobility Performance at a Glance Country Dashboards 2020. Sustainable Mobility for All™ (SuM4All), 2020, 402 p.
12. Mobility Performance at a Glance Country Dashboards 2022. Sustainable Mobility for All™ (SuM4All), 2022, 397 p.
13. Mobilizing Sustainable Transport for Development: Analysis and Policy Recommendations. United Nations, Secretary-General High-level Advisory Group on Sustainable Transport, 2016, 72 p.
14. Mortality caused by road traffic injury (per 100,000 population). World Health Organization, WHO. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/SH.STA.TRAF.P5>
15. Natarajan M. (2019) International and transnational crime and justice. Cambridge University Press; Cambridge University Press, 46 p.
16. Rural Access Index (RAI). Research for Community Access Partnership, RECAP. <https://www.research4cap.org/index.php/regional-and-cross-regional-projects/rural-access>
17. Salas-Parra R.D., Castro-Ochoa K.J., Machado-Aranda D.A. Basic science statistics Author links open overlay panel *Translational Surgery Handbook for Designing and Conducting Clinical and Translational Research*, 2023, 195–199 pp. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90300-4.00022-7>
18. Sources for GTF 3.0 Indicators in the Data Module for Policy Decision-Making Tool for Sustainable Mobility 3.0. Sustainable Mobility for All™ (SuM4All), 4 p.
19. Statistics on Employment. International Labour Organization, ILO. URL: <https://ilostat.ilo.org/topics/employment/>
20. Sustainable Mobility for All initiative. URL: <https://www.sum4all.org/>
21. Sustainable transport, sustainable development. Interagency report i second global sustainable transport conference, United Nations, 2021, 120 p.
22. Tracking Transport. International Energy Agency, IEA. URL: <https://www.iea.org/energy-system/transport#tracking>
23. United for Wildlife (UW) Transport Taskforce. Buckingham Palace Declaration. 2016. URL: <https://unitedforwildlife.org/the-buckingham-palace-declaration/>

24. Zhou P., Ang B.W., Poh K.L. (2006) Comparing aggregating methods for constructing the composite environmental index: An objective measure. *Ecological Economics*. Vol. 59(3), pp. 305–311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.10.018>
25. Chernyavska O.V. (2018) National economy: education. manual. K.: Alerta, 502 p.
26. Yanovska V.P. (2020) The intensity of digitization of the economy of Ukraine. *Ukraine economy*. No. 9, pp. 5–20.