

- 10.1073/pnas.1711842115.
3. E. Elhacham, L. Ben-Uri, J. Grozovski, Y.M. Bar-On, and R. Milo, «Global human-made mass exceeds all living biomass», *Nature*, vol. 115, № 25, pp. 6506-6511, 2018. doi: 10.1073/pnas.1711842115.
 4. O.O. Iusupova, «Evolutsiia pohliadiv na hlobalnu ekolohichnu problemu v konteksti diialnosti rym'skoho klubu» [«The evolution of views on the global environmental problem in the context of the activities of the Club of Rome»], *Nauka y ekonomika – Science and economy*, vol. 2, pp. 169-175, 2013. (Ukr.)
 5. V. Smil, *Making the modern world: materials and dematerialization*. 1st ed. John Wiley & Sons Publ., 2013.
 6. V.S. Voloshyn, and A.Yu. Azarkhov, «Pro rol liudyny v enerhetychnomu obmini Sontse-Zemlia» [«About the role of man in the energy exchange between the Sun and the Earth»], in Proc. IV Int. Sci.-Techn. Conf. «Technical support of innovative technologies in the agro-industrial complex», Zaporizhzhia, 2022, pp. 230-234. (Ukr.)
 7. S. Lloyd, *Programming the Universe: A Quantum Computer Scientist Takes On the Cosmos*. Knopf Doubleday Publishing Group, 2006.
 8. R. Lanza, B. Berman, *Biocentrism: how life and consciousness are the keys to understanding the true nature of the universe*. BenBella Books Publ., 2010.
 9. Yu.I. Sokha, «Systemnyi pidkhid i problemy modeliuвання pryrodno tekhnohennoi bezpeky» [«Systemic approach and modeling problems of man-made safety»], *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnik» – Bulletin of Lviv Polytechnic National University*, № 727, pp. 440-448, 2012. (Ukr.)
 10. J. Agar, *The government machine: a revolutionary history of the computer*. The MIT Press Publ., 2003.
 11. N.M. Mkhitarian, H.V. Badeian, and Yu.N. Kovalev, *Erhonomycheskye aspekty slozhnykh system* [Ergonomic aspects of complex systems]. Kyiv, Ukraine: Naukova dumka Publ., 2004. (Rus.)
 12. Expanding the measure of wealth: indicators of environmentally sustainable development, in *Environmentally sustainable Development Studies and Monographs series*. World Bank Publications, 1997.

Стаття надійшла 23.01.2024

Стаття прийнята 25.02.2024

УДК 629.454.2

doi: 10.31498/2225-6733.48.2024.310696

© Дерюгін О.В.¹, Столбченко О.В.², Лябах Д.А.³, Чеберячко Л.М.⁴

ОБҐРУНТУВАННЯ КЛЮЧОВИХ ЧИННИКІВ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТУ В СИСТЕМІ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Мета дослідження. Обґрунтування ключових чинників, які мають вплив на запровадження перспективного екологічного транспорту в системі міських

¹ канд. техн. наук, доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-2456-7664, deryugin_o@ukr.net

² канд. техн. наук, доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0003-2003-4382, elena_aot@ukr.net

³ студентка, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0009-0009-5056-6698, liabakhdiana@gmail.com

⁴ аспірантка, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0009-0001-2685-7809, lida_cheb@ukr.net

пасажирських перевезень з метою підвищення якості транспортного обслуговування пасажирів і покращення екології в густонаселених містах. Матеріали і методи. Для досягнення поставленої мети застосовано метод fuzzy Dematel, який базується на теорії графів та дозволяє класифікувати всі наявні чинники, що впливають на прийняття рішень на основі причинно-наслідкових зв'язків. Результати. Обґрунтовано вісім ключових факторів, які формують транспортний проект і чинники, які мають на них суттєвий вплив, на впровадження транспортного проекту втілення в транспортну систему міських пасажирських перевезень перспективного екологічного пасажирського транспорту на міських маршрутах. До них відносяться рівень розвитку сучасних транспортних технологій при перевезенні пасажирів на міських маршрутах та наявність центрів їх підтримки; наявність фінансових програм для оновлення/реструктуризації парку рухомого складу автотранспортного підприємства та наявність відповідної законодавчої бази для пільгової експлуатації електричного пасажирського транспорту; швидка адаптація транспортної інфраструктури сучасного міста для експлуатації екологічного транспорту; відповідність екологічного транспорту транспортній характеристиці маршруту перевезення пасажирів; експлуатаційні властивості сучасного електробусу; дія відповідних законодавчих ініціатив щодо пільг для закупівлі і витрат при експлуатації електротранспорту. Наукова новизна полягає у виявленні взаємозв'язків між факторами, які формують транспортний проект, і чинників, які мають на них суттєвий вплив, на впровадження транспортного проекту втілення в транспортну систему міських пасажирських перевезень перспективного екологічного пасажирського транспорту на міських маршрутах, що дозволяє оцінити можливі економічні витрати на автотранспортних підприємствах, що здійснюють пасажирські перевезення. Практичне значення полягає у визначенні ключових чинників, які можна застосовувати для впровадження транспортного проекту із застосування перспективного екологічного пасажирського транспорту в системі міських пасажирських автомобільних перевезень.

Ключові слова: екологічний транспорт, метод fuzzy Dematel, управлінські рішення, транспортний проект.

O. Deryugin, O. Stolbchenko, D. Liabakh, L. Cheberichko. Justification of key factors regarding the application of prospective ecological transport in the urban passenger transportation system. Research objective. Justification of the key factors that have an impact on the introduction of promising ecological transport in the system of urban passenger transport in order to improve the quality of transport services for passengers and improve ecology in densely populated cities. Materials and methods. To achieve the goal, the fuzzy Dematel method is used, which is based on graph theory and allows to classify all available factors that influence decision-making based on cause-and-effect relationships. Results. The eight key factors that form the transport project and the factors that have a significant impact on them are substantiated for the implementation of the transport project of the implementation of promising ecological passenger transport on urban routes into the transport system of urban passenger transportation. These include the level of development of modern transport technologies when transporting passengers on city routes and the availability of their support centers; the availability of financial programs for updating/restructuring the rolling stock fleet of the motor vehicle enterprise and the availability of the appropriate legal framework for preferential operation of electric passenger transport; rapid adaptation of the transport infrastructure of a modern city for the operation of ecological transport; compliance of ecological transport with the transport characteristics of the passenger transportation route; operational properties of a modern electric bus; the effect of relevant legislative initiatives regarding benefits for the purchase and costs of operating electric vehicles. Scientific novelty consists in identifying the interrelationships between the factors that form the transport project and the factors that have a significant influence on them, on the implementation of the transport project of

the implementation of promising ecological passenger transport on urban routes into the transport system of urban passenger transport, which allows to estimate the possible economic costs of road transport enterprises carrying out passenger transportation. Practical significance lies in the determination of key factors that can be used for the implementation of a transport project for the use of promising ecological passenger transport in the system of urban passenger road transport.

Key words: *ecological transport, fuzzy Dematel method, management solutions, transport project.*

Постановка проблеми. В сучасних мегаполісах, пасажирські автомобільні перевезення (далі – ПАП) відіграють ключову функцію зв'язку людини з соціумом, задовольняють її потребу переміщення в просторі, дають можливість своєчасно опинитися в необхідному місці в зазначений час. Основні критерії оцінки ефективності ПАП: якість транспортного обслуговування користувачів, екологічність і ергономічність пасажирських автобусів, які використовуються безпосередньо в транспортному процесі ПАП, впровадження сучасних транспортних технологій, спрямованих на підвищення безпеки транспортного процесу та ін.

Однак аналіз сучасного стану справ у цій транспортній сфері, на прикладі міста Дніпро, відображає низку існуючих проблем, які вимагають негайної уваги та вирішення. Серед яких можна відмітити наступні:

- застаріла технічна база автотранспортних підприємств, які надають послуги ПАП;
- використання великої кількості пасажирських автобусів в транспортній інфраструктурі міста, пропускна спроможність якої не пристосована до таких умов. Це призводить до утворення транспортних заторів. На жаль, це стає нормою для мешканців, що негативно впливає на якість життя та ефективність транспортних процесів;
- збільшення використання рухомого складу (далі – РС), який працює на органічному паливі сприяє збільшенню забруднення навколишнього середовища і, як наслідок, збільшує екологічне навантаження на місто.

Також необхідно відмітити, що існує серйозний дефіцит якості транспортного обслуговування населення м. Дніпра. Відсутність необхідних зручностей, таких як сплати проїзду за допомогою єдиного електронного квитка, доступ до мережі інтернету та клімат-контролю, робить поїздки пасажирським транспортом менш комфортними та зручними для пасажирів. Відсутність ергономічних рішень, призначених для груп з особливими потребами, ускладнює доступність транспорту для всіх верств населення, що призводить до зниження їх соціальної активності.

З метою подолання цих викликів та покращення якості ПАП, необхідно активно впроваджувати сучасні транспортні технології, в основі яких є екологічна складова. Враховуючи те, що майже всі європейські країни на законодавчому рівні вже прийняли програми заборони використання транспортних засобів (далі – ТЗ), які працюють на органічному пальному, і затвердили програми розвитку транспортної інфраструктури своїх країн з пріоритетом використання екологічних ТЗ. Це рішення є єдиним правильним заходом, який спрямований на захист навколишнього середовища, на зменшення парникового ефекту і впливу зміну кліматичних умов навколишнього середовища.

Україна в будь-якому випадку стане рівноправним членом Європейського Союзу. Це на нас покладе відповідальність прийняття законодавчих актів, які регламентують відповідний тип і рівень транспортних послуг ПАП.

Серед законодавчих норм в транспортній інфраструктурі європейських країн, що вже успішно впроваджені, варто зазначити суворі стандарти щодо викидів та екологічної безпеки пасажирських автобусів. Крім того, в Європейському Союзі існують програми вибуття застарілої техніки та ТЗ з обігу при досягненні відповідного строку експлуатації. Такі заходи сприяють зменшенню використання застарілої техніки та покращенню екологічних показників транспортного сектору.

Отже, розглянуті питання є актуальними та потребують негайного вирішення з метою поліпшення якості ПАП та забезпечення сталого розвитку міської транспортної системи. Відповідно, проведення дослідження факторів впливу щодо обґрунтування запровадження перспективного екологічного пасажирського транспорту є актуальним та важливим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз багаточисельних літературних досліджень [1-18] щодо обґрунтування доцільності застосування електричного транспорту показав, що більшість авторів використовують багатокритеріальні методи прийняття рішень: АНР, TOPSIS, PROMETHEE, Fuzzy АНР і DEA. Кожен з них має свої переваги і недоліки. Існує також багато нових, досі не спостережуваних багатокритеріальних методів прийняття рішень, таких як CODAS, COMET, CRITIC, EDAS, MARCOS, PIPRECIA та MEW PROMETHEE II [5-7]. Так, метод АНР [2] містить процедуру синтезу пріоритетів, що обчислюються на основі суб'єктивних суджень експертів, тоді як метод TOPSIS [3] орієнтований на оцінювання альтернативи відносно найкращого та найгіршого з прийнятих варіантів, тоді як метод PROMETHEE [4] базується на зважуванні факторів прийняття управлінського рішення. Кожен із зазначених підходів має деяку суб'єктивну думку експертів, яка дозволяє або визначити критерії оцінювання, або встановити вагові коефіцієнти, або запропонувати шкалу оцінювання. Звісно, це потребує проведення відповідної перевірки невизначеності вимірювань. Для зменшення невизначеності часто дослідники поєднують декілька різних підходів, називаючи це гібридним підходом [8, 9]. Це дозволяє слабкі сторони одного методу перекрити сильними сторонами іншого. Тим самим досягти мінімальної невизначеності. Найчастіше в літературі зустрічається поєднання трьох методів АНР, REMBRANDT і VIKOR [10, 11]. Однак процедура є доволі складною і потребує спеціальних фахових знань. На виробництві, коли виникають екстремні ситуації, часто не вистає часу для залучення таких людей, а рішення прийняти потрібно. Звідси виникає задача із пошуку і застосування простого підходу для прийняття управлінського рішення, який має мінімальну невизначеність розрахунків [12]. Часто для цього використовують метод Dematel [13], який базується на визначенні взаємозв'язків між різноманітним чинниками, а не оцінки їх вагових коефіцієнтів, що не потребує відповідних перевірок із встановлення величини невизначеності. Часто цей процес автоматизують і швидко отримують результат [14, 15]. Складність викликає тільки формування груп чинників, які потребують відповідної обробки для прийняття рішення [16]. Для цього потрібно проводити відповідні дослідження, які дозволять сформулювати реєстри важливих чинників, які визначають ефективності прийняття управлінського рішення.

Метою дослідження є обґрунтування ключових чинників, які мають вплив на запровадження електричного пасажирського транспорту з нульовими викидами для покращення екології в густонаселених містах.

Виклад основного матеріалу. Розробка і втілення транспортного проекту заміни РС екологічного пасажирського транспорту є складним завданням. По-перше, ми повинні забезпечити задоволення потреби суспільства в якісних транспортних послугах. По-друге, втілення нових сучасних транспортних технологій в процес ПАП викликає супротив серед учасників транспортного процесу, які безпосередньо займаються експлуатацією і утриманням парку пасажирських автобусів в справному стані. Втілення такого проекту сприяє повній зміні системи експлуатації пасажирських автобусів, побудові в транспортній інфраструктурі сучасного міста зарядних станцій, набір навченого і кваліфікованого персоналу для керування і обслуговування електробусів. Тому, впровадження транспортного проекту – це інновація, яка підлягає впливу багатьох одночасно діючих факторів, врахування яких призведе до отримання гідного результату.

Вирішення задачі втілення транспортного проекту заміни екологічного пасажирського транспорту проведемо на підставі аналізу запропонованих факторів з метою виявлення найбільш впливових. Це дозволить на етапі прийняти управлінські рішення з заміни екологічного пасажирського транспорту мати розуміння на які етапи звернути ретельну увагу для його успішної реалізації.

Для вирішення поставленої задачі скористаємось методом fuzzy Dematel, який базується на парних інструментах порівняння й прийняття рішень на теорії графів [2, 19-22]. На основі перетворення причинно-наслідкових зв'язків у структурно-візуальних моделях визначимо найактуальніші взаємозалежності між різними етапами проекту заміни перспективного екологічного пасажирського транспорту (фактори впливу). На рис. 1 представлено алгоритм розрахунку методу fuzzy Dematel.

Для обробки отриманих результатів, які надані були експертами, та перевірки їх оцінок на викиди було застосовано критерій Граббса:

$$G_{\max} = \frac{X_n - \bar{X}}{s}, \quad (1)$$

де X_n – запропоновані оцінки експертів; \bar{X} – середнє значення вибірки; S – середнє квадратичне відхилення.

Математичне очікування або середнє значення отриманих результатів:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (2)$$

Також необхідно розрахувати середнє квадратичне відхилення:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}. \quad (3)$$

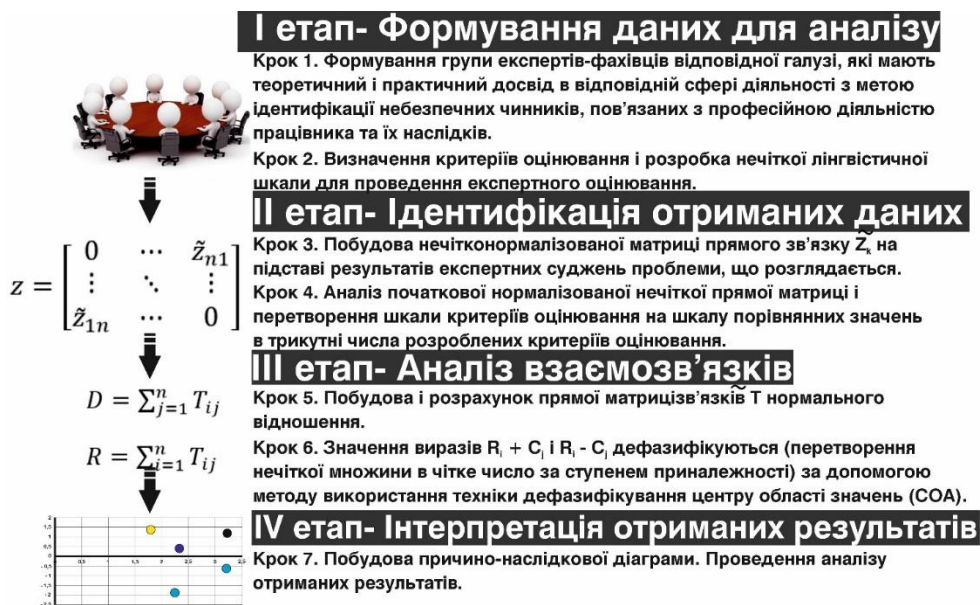


Рис. 1 – Алгоритм розрахунку методом fuzzy Dematel

За допомогою наведених формул перевіряємо на викид максимальні і мінімальні результати оцінок експертів за умови, що показник перевищить критичне значення:

$$\begin{cases} G_{\max} \geq G_{n, 1-\alpha} \\ G_{\min} \geq G_{1, 1-\alpha} \end{cases}, \quad (4)$$

де α – рівень значимості, який визначається у відповідності до вимог [23].

У разі невиконання вказаної нерівності результати оцінок будуть вважатися викидами, які необхідно виключити. При чому з експертами, що дали таку оцінку, проводяться роз'яснення для виявлення причин обґрунтованості їх вибору балів під час проведення експертизи. Критичні значення статистик вибираються виходячи із закону розподілу випадкової величини. Дані значення можуть бути знайдені для нормального розподілу відповідно до вимог [23]. У разі підозри на два викиди, проводиться оцінка сукупності результатів на двовикидну статистику Граббса.

Теоретичні результати дослідження. На **першому етапі** було сформовано групу з шести експертів-фахівців відповідної галузі, які мають теоретичний і практичний досвід. Їх дані наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Дані експертів, що приймали участь у дослідженнях

Інформація	Кількість
Кількість експертів	6
Досвід роботи на посадах транспортної логістики	від 10 до 14 років
Освіта експертів	вища за фахом транспортні технології
Стаж роботи	більше 10 років
Наявність посвідчення аудитора з систем управління якістю і безпекою компаній	Так
Підвищення кваліфікації з оцінки ризиків за вимогами [20]	Так

Група експертів ідентифікувала вісім груп факторів, які впливають на втілення транспортного проекту з втілення екологічного транспорту в систему ПАП. Серед них:

- **екологічний фактор**: нульові викиди (A_1), експлуатація поза встановлені терміни (A_2), ремонт відновлення РС (рециклінгові технології) (A_3), технологія переробки АКБ (A_4), відсутність екологічного впливу на навколишнє середовище (A_5);

- **експлуатаційний фактор**: наявність зарядної інфраструктури (A_6), наявність сервісних центрів для технічного обслуговування і ремонту (ТОіР) (A_7), наявність центрів технічної підготовки кваліфікованого персоналу для керування і обслуговування електробусів (A_8), надійність електробусу (A_9), ремонтпригодність електробусу (A_{10});

- **соціальний фактор**: рівень розвитку сучасних технологій та наявність центрів їх підтримки (A_{11}), плата (тариф за проїзд) (A_{12}), заробітна плата водія електробусу (A_{13}), задоволення водія умовами праці в транспортній компанії (A_{14}), підвищення культури організації праці на автотранспортному підприємстві (A_{15});

- **транспортний фактор**: пасажиропотік (A_{16}), довжина пасажирського маршруту (A_{17}), адаптація транспортної інфраструктури міста для експлуатації електротранспорту з нульовими викидами (A_{18}), графік руху (A_{19}), відповідність електричного ТЗ з нульовими викидами транспортній характеристики маршруту (A_{20});

- **економічний фактор**: термін окупності інвестиційного проекту (A_{21}), вартість 1 кВт електроенергії (A_{22}), фінансові втрати автотранспортного підприємства на проведення ТОіР електробусів (A_{23}), фінансові витрати автотранспортного підприємства на закупівлю запасних частин і шин (A_{24}), лояльні фінансові програми для оновлення/реструктуризації парку РС автотранспортного підприємства РС (A_{25});

- **технічний фактор**: запас ходу (A_{26}), експлуатаційні властивості електробусу (A_{27}), пасажиромісткість (A_{28}), ергономіка салону електробусу (A_{29}), ергономіка робочого місця водія (A_{30});

- **маркетинговий фактор**: реклама та просування екологічних ПАП електробусами (A_{31}), експлуатаційні властивості електробусу (A_{32}), висвітлення та обговорення формування тарифу на перевезення електробусами (A_{33}), маркетинг ринку міських пасажирських перевезень та адаптація транспортних послуг до потреб споживача (A_{34}), аналіз та вдосконалення маркетингових стратегій для привертання нових клієнтів та утримання існуючих (A_{35});

- **юридичний фактор**: законодавство щодо застосування пільг до реєстрації електричних ТЗ (A_{36}), законодавство в сфері зелених технологій, що регламентує нульові викиди ТЗ (A_{37}), законодавчі акти, які регламентують умови праці водіїв (A_{38}), законодавство, яке захищає фінансову стабільність автотранспортного підприємства (A_{39}), законодавчі акти, які регламентують конструкційну і експлуатаційну безпеку електричних ТЗ (A_{40}).

На рис. 2 наведена схема факторів впливу на втілення транспортного проекту заміни перспективного екологічного транспорту з врахуванням результатів багатофакторного аналізу. Це дозволило сформувавши реєстр чинників, які мають вплив на відповідні фактори втілення транспортного проекту.



Рис. 2 – Перелік ключових факторів впливу на впровадження транспортного проекту заміни перспективного екологічного пасажирського транспорту з врахуванням результатів багатфакторного аналізу

На **другому етапі** визначили критерії оцінювання у лінгвістичних класифікаційних термінах: дуже високий вплив, високий вплив, низький вплив, дуже низький вплив і ніякого впливу. А також використали стандартну нечітку лінгвістичну шкалу для проведення експертного оцінювання (посилання) (табл. 2). Відповіді експертів перетворені на нечіткі числа з використанням розмитої шкали (рис. 3). Використовувалися трикутні нечіткі числа; трикутне нечітке число \tilde{z} визначається наступним чином: $\tilde{z} = (l, m, u)$, де l, m і u – дійсні числа та $l \leq m \leq u$.

Таблиця 2

Представлення лінгвістичних термінів ступня впливу одного чинника на відповідні фактори

Дуже високий вплив	ДВ	0,75	1	1
Високий вплив	В	0,5	0,75	1
Низький вплив	Н	0,25	0,5	0,75
Дуже низький вплив	ДНВ	0	0,25	0,5
Ніякого впливу	НВ	0	0	0,25

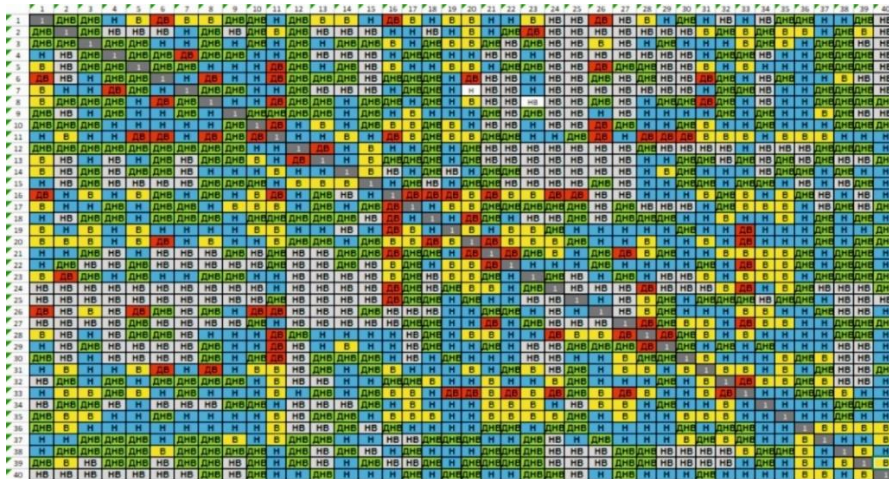


Рис. 3 – Результати представлення лінгвістичних термінів ступня впливу одного чинника на інший експерт (фрагмент)

На **третьому етапі** будували нечітку нормалізовану матрицю прямого зв'язку на підставі результатів експертних суджень $\tilde{z}_1, \tilde{z}_2, \tilde{z}_3, \dots, \tilde{z}_p$. На її основі провели аналіз нормалізованої нечіткої матриці прямих зв'язків.

На четвертому етапі провели розрахунок загальної нечіткої матриці. При цьому враховували лише ті значення, які перевищують порогове значення. Щоб обчислити порогове значення для зв'язків, визначали середні значення матриці зв'язків.

Після визначення порогової інтенсивності всі значення в матриці, які менші за порогове значення, встановлюються рівними нулю, тобто причинно-наслідкові зв'язки не розглядались. Величина порогового значення дорівнювала 0,245. Потім обчислюється сума рядків та сума стовпців загальної матриці зв'язків. Сума рядків позначається через D , а сума стовпців – через R . В табл. 3 показані результати розрахунку для $(D + R)$ та $(D - R)$.

Таблиця 3

Результати розрахунку показників для визначення ключових чинників

Чинник	D	R	$D + R$	$D - R$	Ранг
A ₁	3,61	4,52	8,13	-0,92	32
A ₂	5,11	5,39	10,50	-0,28	25
A ₃	5,13	5,59	10,71	-0,46	27
A ₄	5,56	5,44	11,00	0,11	20
A ₅	6,35	5,33	11,68	1,01	2
A ₆	6,26	5,47	11,74	0,79	11
A ₇	6,03	5,57	11,60	0,46	15
A ₈	5,82	5,51	11,33	0,30	18
A ₉	6,32	5,41	11,73	0,91	9
A ₁₀	6,30	5,46	11,76	0,84	10
A ₁₁	6,39	5,35	11,74	1,04	1
A ₁₂	6,04	5,35	11,39	0,69	12
A ₁₃	6,05	5,44	11,49	0,61	13
A ₁₄	6,06	5,51	11,58	0,55	14
A ₁₅	6,34	5,34	11,68	1,01	3
A ₁₆	5,93	5,58	11,51	0,36	17
A ₁₇	5,92	5,52	11,43	0,40	16
A ₁₈	6,36	5,39	11,75	0,97	5
A ₁₉	5,71	5,54	11,25	0,17	19
A ₂₀	6,27	5,28	11,54	0,99	4
A ₂₁	5,39	5,34	10,72	0,05	21
A ₂₂	5,28	5,28	10,56	0,00	22
A ₂₃	5,17	5,27	10,44	-0,10	23
A ₂₄	5,12	5,30	10,42	-0,18	24
A ₂₅	6,19	5,24	11,43	0,95	7
A ₂₆	5,15	5,53	10,68	-0,38	26
A ₂₇	6,23	5,26	11,49	0,96	6
A ₂₈	5,05	5,64	10,68	-0,59	28
A ₂₉	4,91	5,56	10,47	-0,64	29
A ₃₀	4,85	5,67	10,53	-0,82	30
A ₃₁	4,73	5,75	10,48	-1,02	34
A ₃₂	4,61	5,68	10,30	-1,07	37
A ₃₃	4,49	5,64	10,14	-1,15	38
A ₃₄	4,28	5,32	9,60	-1,04	36
A ₃₅	4,14	5,32	9,46	-1,18	39
A ₃₆	3,96	4,99	8,95	-1,03	35
A ₃₇	3,78	4,74	8,53	-0,96	33
A ₃₈	3,63	4,47	8,10	-0,84	31
A ₃₉	6,21	5,28	11,48	0,93	8
A ₄₀	3,50	4,98	8,48	-1,47	40

Далі виконується процес дефазифікації для векторів значущості та відносного становища. Ключові чинники визначали на основі ранжування величин $(D + R)$ та $(D - R)$, які характеризують ступінь їх впливу на транспортний процес. Виходячи із даних табл. 4, до них відносяться вісім чинників: $A_5, A_{11}, A_{15}, A_{18}, A_{20}, A_{25}, A_{27}, A_{39}$, які мають найбільшу кількість балів. Визначені ключові чинники також пов'язані з іншими факторами, які є залежними від останніх, а загалом формують розуміння про окупність запропонованого проекту (рис. 4).

Таблиця 4

Взаємозв'язок між встановленими факторами впливу і чинниками, що впливають на реалізацію цих факторів щодо втілення транспортного проекту заміни пасажирського екологічного транспорту

Чинники впливу	Наслідки впливу
A_5 . Відсутність екологічних впливів на навколишнє середовище	A_3 . Ремонт відновлення РС
	A_4 . Технологія переробки АКБ
	A_{37} . Законодавство, що регламентує нульові викиди
A_{11} . Рівень розвитку сучасних технологій та наявність центрів їх підтримки	A_1 . Нульові викиди
	A_2 . Експлуатація поза встановлені терміни.
	A_{14} . Задоволення водія умовами праці в автотранспортній компанії
	A_{31} . Реклама та просування пасажирських автобусних перевезень електробусами
A_{15} . Дія відповідних законодавчих ініціатив щодо пільг для електротранспорту	A_{38} . Законодавство, що регламентує умови праці водія
	A_{40} . Законодавчі акти які регламентують конструкційну і експлуатаційну безпеку електричних ТЗ
A_{18} . Адаптація транспортної інфраструктури міста для експлуатації електротранспорту з нульовими викидами	A_6 . Наявність зарядної інфраструктури
	A_7 . Наявність сервісних центрів для ТОiP
	A_8 . Наявність центрів технічної підготовки кваліфікованого персоналу для керування і обслуговування електробусів
A_{20} . Відповідність електричного транспорту параметрам пасажирського і маршруту	A_{16} . Пасажиропотік
	A_{17} . Довжина пасажирського маршруту
	A_{19} . Графік руху
A_{25} . Лояльні фінансові програми для оновлення/реструктуризації парку РС автотранспортного підприємства	A_{13} . Заробітна плата водія
	A_{21} . Термін окупності інвестиційного проекту
	A_{22} . Вартість 1 кВт електроенергії
A_{27} . Експлуатаційні властивості електробусу	A_9 . Надійність електробусу
	A_{10} . Ремонтпригодність електробусу
	A_{26} . Запас ходу
	A_{28} . Пасажиромісткість
	A_{29} . Ергономіка салону електробусу
A_{39} . Законодавство, яке захищає фінансову стабільність автотранспортного підприємства	A_{30} . Ергономіка робочого місця водія
	A_{12} . Плата (тариф за проїзд)
	A_{23} . Фінансові втрати автотранспортного підприємства на ремонт і технічне обслуговування електробусів
	A_{24} . Фінансові втрати автотранспортного підприємства на закупівлю автозапчастин і шин



Рис. 4 – Алгоритм реалізації транспортного проекту оновлення/заміни рухомого складу пасажирського екологічного транспорту

Кожному ключовому чиннику відповідають декілька наслідкових факторів. Це дозволяє обґрунтувати рішення щодо доцільності оновлення/реструктуризації парку РС автотранспортного підприємства, що залежить від експлуатаційних властивостей електробусу, пасажиропотоку, наявності сервісних центрів для обслуговування електробусів.

Крім того, для визначення окупності проекту потрібно звертати увагу на:

- рівень розвитку сучасних технологій та наявність центрів їх підтримки;
- наявність фінансових програм для оновлення/реструктуризації парку РС автотранспортного підприємства;
- наявність відповідної законодавчої бази для пільгової експлуатації пасажирського екологічного транспорту;
- швидку адаптацію транспортної інфраструктури міста для експлуатації пасажирського екологічного транспорту;
- відповідність пасажирського екологічного транспорту транспортній характеристики маршруту;
- експлуатаційні властивості електробусу;
- дію відповідних законодавчих ініціатив щодо забезпеченні фінансових пільг для пасажирського екологічного транспорту.

Процес ідентифікації ключових чинників являється необхідною умовою для визначення джерел ризику [24], а також події та ситуації, які можуть мати загальні результати щодо цілей транспортного проекту. В сукупності це є фундаментом для проведення обґрунтування управлінських рішень, які вплинуть на окупність проекту.

За результатами проведеного дослідження виявлено вісім таких чинників, що дозволяє в подальшому ретельніше провести дослідження щодо оцінювання фінансових ризиків. Для цього слід звернути увагу вже на розвиток транспортного проекту, оцінити дієвість усіх існуючих засобів контролю за виконанням відповідних етапів. Слід зазначити, що більшість ключових чинників взаємозалежні, що також потрібно враховувати при визначенні критеріїв оцінювання. Чим більше буде встановлено взаємозв'язків тим, вища повинна бути оцінка у порівнянні з іншими чинниками. Необхідність звернення до екологічної стійкості в секторі громадського пасажирського електротранспорту є ключовим фактором у виборі технології використання електробусів, що є основною метою дослідження цієї статті [25, 26].

До цієї проблеми прийняття рішення підійшли шляхом вирішення задачі з втілення транспортного проекту заміни екологічного пасажирського транспорту на підставі аналізу запропонованих факторів з метою виявлення найбільш впливових [27]. У запропонованому підході розглядався широкий набір критеріїв, заснований на огляді літератури та досвіді групи експертів. Далі на основі нечіткого методу Dematel були виявлені причинно-наслідкові зв'язки між критеріями [28], що дозволило в результаті встановити ключові критерії для окупності проекту. Цей

результат мотивованої актуальністю, пов'язаною з транспортними, експлуатаційними та економічними факторами, для яких двигуни внутрішнього згоряння представляють менше обмежень. Через значну вагу, надану цим факторам, технології, які мають кращу продуктивність з екологічної та соціальної точок зору, не можуть отримати загальну продуктивність, яка є достатньо високою, щоб поставити їх у найвищі ранги.

Важливість дослідження, представленого в цій статті, полягає в порівнянні двох груп чинників, які були отримані шляхом розгляду різних вимірів аналізу, тобто не лише відносної важливості чинників, але й їхнього взаємного впливу. При визначенні взаємозв'язків між факторами впливу і чинниками, що впливають на реалізацію проекту, виходили з підвищення стійкості транспортних систем [29]. Наслідки підсумовували таким чином, відповідно до двох різних точок зору: на академічному рівні спроба спростити процедуру оцінювання шляхом застосування методу Dematel для зменшення кількості критеріїв оцінювання, яка була визначена різницею між поняттями важливості та їх впливу, що може неналежним чином вплинути на вибір факторів; на практичному рівні дослідження підкреслило, що велику увагу слід приділяти меті застосування методів оцінювання, особливо коли залучаються кілька експертів. Примітно, що проведені в дослідженні процедури оцінювання виявили необхідність точного пояснення респондентам конкретної мети прийнятих методик оцінювання. У цьому відношенні для правильного впровадження методу Dematel було необхідно чітке розмежування між поняттями важливості та її впливу. Дійсно, як підкреслено в роботі [30], можливі непорозуміння, що характеризують точку зору аналітика, можуть внести упередження в процеси прийняття управлінських рішень, які потім відображаються в остаточних рекомендаціях, наданих особі, яка приймає рішення. Посилаючись на результати дослідження, потенційне неправильне тлумачення концептуальної різниці між поняттями важливості та впливу може бути причиною вищого рангу для отримання бажаного результату [31]. Подальший розвиток дослідження включатиме, з одного боку, глибше опрацювання наслідків впливу експертами, а, з іншого боку, більш комплексний аналіз чутливості пріоритетів критеріїв з метою виявлення можливих варіації в рейтингу альтернатив. Крім того, можливість перенесення запропонованої методології буде перевірено на інших тематичних дослідженнях і контекстах.

Висновки

На основі методу fuzzy Dematel, який базується на парних інструментах порівняння й прийняття рішень на теорії графів, та за участю шести досвідчених експертів було обґрунтовано вісім ключових чинників щодо втілення транспортного проекту застосування екологічного транспорту в системі пасажирських перевезень на міських маршрутах. До них відносяться наявність лояльних фінансових програм для оновлення/реструктуризації парку РС автотранспортного підприємства, експлуатаційні властивості електробусу, пасажиропотоку, наявність сервісних центрів для обслуговування електробусів.

Перелік використаних джерел:

1. Zavadskas E. K., Turskis Z., Kildienė S. State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*. 2014. Vol. 20. Pp. 165-179. DOI: <http://dx.doi.org/10.3846/20294913.2014.892037>.
2. The dangerous factors identification features of occupational hazards in the transportation cargo process / V. Tsopa et al. *Communications – Scientific Letters of the University of Zilina*. 2023. Vol. 25(3). Pp. F64- F77. DOI: <http://dx.doi.org/10.26552/com.C.2023.058>.
3. A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development / A. Kumar et al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 69. Pp. 596-609. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.191>.
4. Application of MCDM methods in sustainability engineering: a literature review 2008-2018 / M. Stojčić et al. *Symmetry*. 2019. Vol. 11. Pp. 1-24. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym11030350>.
5. Vavrek R., Bečica J. Capital city as a factor of multi-criteria decision analysis-application on transport companies in the Czech Republic. *Mathematics*. 2020. Vol. 8. Pp. 1-17. DOI: <https://doi.org/10.3390/math8101765>.
6. A novel entropy-fuzzy PIPRECIA-DEA model for safety evaluation of railway traffic / A. Blagojević et al. *Symmetry*. 2020. Vol. 12. Pp. 1-23. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym12091479>.

7. Damidavičius J., Burinskienė M., Antuchevičienė J. Assessing sustainable mobility measures applying multicriteria decision making methods. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Pp. 1-14. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12156067>.
8. Zehmed K., Jawab F. A combined approach based on fuzzy SERVPERF and DEA for measuring and benchmarking the quality of urban bus transport service at the route level. *Industrial Engineering & Management Systems*. 2020. Vol. 19. Pp. 442-459. DOI: <https://doi.org/10.7232/IEMS.2020.19.2.442>.
9. Kumar A., Anbanandam R. An MCDM framework for assessment of social sustainability indicators of the freight transport industry under uncertainty. A multi-company perspective. *Journal of Enterprise Information Management*. 2020. Vol. 33. Pp. 1023-1058. DOI: <https://doi.org/10.1108/jeim-09-2019-0272>.
10. Kumar A., Anbanandam R. Environmentally responsible freight transport service providers' assessment under data-driven information uncertainty. *Journal of Enterprise Information Management*. 2020. Vol. 34. Pp. 506-542. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/JEIM-12-2019-0403>.
11. A fuzzy Full Consistency Method-Dombi-Bonferroni model for prioritizing transportation demand management measures / Pamucar D., Devenci M., Canitez F., Bozanic D. *Applied Soft Computing*. 2020. Vol. 87. 105952. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105952>.
12. Kumar A., Singh G., Vaidya O. S. A comparative evaluation of public road transportation systems in India using multicriteria decision-making techniques. *Journal of Advanced Transportation*. 2020. Vol. 20. 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8827186>.
13. Evaluation of safety degree at railway crossings in order to achieve sustainable traffic management: a novel integrated fuzzy MCDM model / A. Blagojević et al. *Sustainability*. 2021. Vol. 13. Pp. 1-20. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13020832>.
14. Hamurcu M., Eren T. Strategic planning based on sustainability for urban transportation: an application to decision-making. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Pp. 1-24. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12093589>.
15. Multimodal transportation via TSR for effective Northern logistics: perspectives of Korean logistics companies / Kim G.-S., Lee S.-W., Seo Y.-J., Kim A.-R. *Maritime Business Review*. 2020. Vol. 5. Pp. 295-312. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/MABR-07-2019-0029>.
16. An integrated approach of analytic hierarchy process and triangular fuzzy sets for analyzing the park-and-ride facility location problem / J. Ortega. *Symmetry*. 2020. Vol. 12. Pp. 1-19. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym12081225>.
17. Dry port terminal location selection by applying the hybrid Grey MCDM model / Tadić S., Krstić M., Roso V., Brnjac N. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Pp. 1-24. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12176983>.
18. A novel approach for a sustainability evaluation of developing system interchange: the case study of the Sheikhfazolah-Yadegar interchange, Tehran, Iran / Shishegaran A., Shishegaran A., Mazzulla G., Forciniti C. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17. Pp. 1-25. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17020435>.
19. Methodology for assessing the risk of incidents during passenger road transportation using the functional resonance analysis method / O. Bazaluk et al. *Heliyon*. 2022. Vol. 8(75). e11814. Pp. 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11814>.
20. Improving safety of passenger road transportation / S. Cheberichko et al. *Transactions on transport sciences*. 2023. Vol. 14(2). Pp. 11-20. DOI: <https://doi.org/10.5507/tots.2023.003>.
21. Improvement of the professional risk management process according to Haddon's matrix / V. A. Tsopa et al. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. Vol. 2. Pp. 105-112. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/105>.
22. Improving the risk management process in quality management systems of higher education / O. Bazaluk et al. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Pp. 1-19. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53455-9>.
23. An assessment model for air passenger risk classification / H. Zhou et al. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12(19). Pp. 1-48. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12199580>.
24. Zhao Y., Li J., Ying X. Study on risk of long-steep downgrade sections of expressways based on a fuzzy hierarchy comprehensive evaluation. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12(12). Pp. 1-21. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12125924>.

25. Яновська В. П., Кириченко Г. В. Особливості формування стратегії розвитку національних автотранспортних перевізників. *Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку*. 2020. Вип. 2(2). С. 92-108. DOI: <https://doi.org/10.23939/smeu2020.02.092>.
26. Global trends in environmental management system and ISO14001 research / H. K. Salim et al. *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 170(1). Pp. 645-653. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.017>.
27. Galieriková A., Sosedová J. Environmental aspects of transport in the context of development of inland navigation, *Ekológia (Bratislava)*. 2016. Vol. 35(3). Pp. 279-288. DOI: <https://doi.org/10.1515/eko-2016-0022>.
28. Integrated fuzzy DEMATEL-ISM-NK for metro operation safety risk factor analysis and multi-factor risk coupling study / J. Liu. *Sustainability*. 2023. Vol. 15(7). Pp. 1-26. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15075898>.
29. Risk assessment using fuzzy TOPSIS and PRAT for sustainable engineering projects / G.K. Koulinas. *Sustainability*. 2019. Vol. 11(3). Pp. 1-15. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11030615>.
30. Shahdah U. E., Na S., Hu J. W. Assessing the impact of increasing tractor-trailer speed limit on the safety and mobility of three-lane highways in Egypt. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12(24). Pp. 1-17. DOI: <https://doi.org/10.3390/app122412702>.
31. Caliendo C., Genovese G., Russo I. A simultaneous analysis of the user safety and resilience of a twin-tube road tunnel. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12(7). Pp. 1-25. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12073357>.

References:

1. E. K. Zavadskas, Z. Turskis, and S. Kildienė, «State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods», *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 20, pp. 165-179, 2014. doi: **10.3846/20294913.2014.892037**.
2. V. Tsopa, S. Cheberyachko, Y. Litvinova, M. Vesela, O. Deryugin, and I. Bas, «The dangerous factors identification features of occupational hazards in the transportation cargo process», *Communications – Scientific Letters of the University of Zilina*, vol. 25(3), pp. F64-77, 2023. doi: **10.26552/com.C.2023.058**.
3. A. Kumar et al., «A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 69, pp. 596-609, 2017. doi: **10.1016/j.rser.2016.11.191**.
4. M. Stojčić, E. K. Zavadskas, D. Pamučar, Ž. Stević, and A. Mardani, «Application of MCDM Methods in sustainability engineering: a literature review 2008-2018», *Symmetry*, vol. 11, pp. 1-24, 2019. doi: **10.3390/sym11030350**.
5. R. Vavrek, and J. Bečica, «Capital city as a factor of multi-criteria decision analysis-application on transport companies in the Czech Republic», *Mathematics*, vol. 8, pp. 1-17, 2020. doi: **10.3390/math8101765**.
6. A. Blagojević, Ž. Stević, D. Marinković, S. Kasalica, and S. Rajilić, «A novel entropy-fuzzy PI-PRECIA-DEA model for safety evaluation of railway traffic», *Symmetry*, vol. 12, pp. 1-23, 2020. doi: **10.3390/sym12091479**.
7. J. Damidavičius, M. Burinskienė, and J. Antuchevičienė, «Assessing sustainable mobility measures applying multicriteria decision making methods», *Sustainability*, vol. 12, pp. 1-14, 2020. doi: **10.3390/su12156067**.
8. K. Zehmed, and F. Jawab, «A combined approach based on fuzzy SERVPERF and DEA for measuring and benchmarking the quality of urban bus transport service at the route level», *Industrial Engineering & Management Systems*, vol. 19, pp. 442-459, 2020. doi: **10.7232/IEMS.2020.19.2.442**.
9. A. Kumar, and R. Anbanandam, «An MCDM framework for assessment of social sustainability indicators of the freight transport industry under uncertainty. A multi-company perspective», *Journal of Enterprise Information Management*, vol. 33, pp. 1023-1058, 2020. doi: **10.1108/jeim-09-2019-0272**.

10. A. Kumar, and R. Anbanandam, «Environmentally responsible freight transport service providers' assessment under data-driven information uncertainty», *Journal of Enterprise Information Management*, vol. 34, pp. 506-542, 2020. doi: **10.1108/JEIM-12-2019-0403**.
11. D. Pamucar, M. Deveci, F. Canitez, and D. Bozanic, «A fuzzy Full Consistency Method-Dombi-Bonferroni model for prioritizing transportation demand management measures», *Applied Soft Computing*, vol. 87, 105952, 2020. doi: **10.1016/j.asoc.2019.105952**.
12. A. Kumar, G. Singh, and O.S. Vaidya, «A comparative evaluation of public road transportation systems in India using multicriteria decision-making techniques», *Journal of Advanced Transportation*, vol. 20, pp. 1-16, 2020. doi: **10.1155/2020/8827186**.
13. A. Blagojević, S. Kasalica, Ž. Stević, G. Tričković, and V. Pavelkić, «Evaluation of safety degree at railway crossings in order to achieve sustainable traffic management: a novel integrated Fuzzy MCDM Model», *Sustainability*, vol. 13, pp. 1-20, 2021. doi: **10.3390/su13020832**.
14. M. Hamurcu, and T. Eren, «Strategic planning based on sustainability for urban transportation: an application to decision-making», *Sustainability*, vol. 12, pp. 1-24, 2020. doi: **10.3390/su12093589**.
15. G.-S. Kim, S.-W. Lee, Y.-J. Seo, and A.-R. Kim, «Multimodal transportation via TSR for effective Northern logistics: Perspectives of Korean logistics companies», *Maritime Business Review*, vol. 5, pp. 295-312, 2020. doi: **10.1108/MABR-07-2019-0029**.
16. J. Ortega, J. Tóth, S. Moslem, T. Péter, and S. Duleba, «An integrated approach of analytic hierarchy process and triangular fuzzy sets for analyzing the park-and-ride facility location problem», *Symmetry*, vol. 12, pp. 1-19, 2020. doi: **10.3390/sym12081225**.
17. S. Tadić, M. Krstić, V. Roso, and N. Brnjac, «Dry port terminal location selection by applying the hybrid Grey MCDM model», *Sustainability*, vol. 12, pp. 1-24, 2020. doi: **10.3390/su12176983**.
18. A. Shishegaran, A. Shishegaran, G. Mazzulla, and C. Forciniti, «A novel approach for a sustainability evaluation of developing system interchange: the case study of the Sheikhfazolah-Yadegar interchange, Tehran, Iran», *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, pp. 1-25, 2020. doi: **10.3390/ijerph17020435**.
19. O. Bazaluk et al., «Methodology for assessing the risk of incidents during passenger road transportation using the functional resonance analysis method», *Heliyon*, vol. 8(75), e11814, pp. 1-11, 2022. doi: **10.1016/j.heliyon.2022.e11814**.
20. S. Cheberiyachko et al., «Improving safety of passenger road transportation», *Transactions on transport sciences*, vol. 14(2), pp. 11-20, 2023. doi: **10.5507/tots.2023.003**.
21. V.A. Tsopa, S.I. Cheberyachko, O.O. Yavorska, O.V. Deryugin, and T.O. Bil'ko, «Improvement of the professional risk management process according to Haddon's matrix», *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, vol. 2, pp. 105-112, 2023. doi: **10.33271/nvngu/2023-2/105**.
22. O. Bazaluk et al., «Improving the risk management process in quality management systems of higher education», *Scientific Reports*, vol. 14, pp. 1-19, 2024. doi: **10.1038/s41598-024-53455-9**.
23. H. Zhou, Y. Xue, Z. Jiang, F. Cai, and W. Li, «An assessment model for air passenger risk classification», *Applied Sciences*, vol. 12(19), pp. 1-48, 2022. doi: **10.3390/app12199580**.
24. Y. Zhao, J. Li, and X. Ying, «Study on risk of long-steep downgrade sections of expressways based on a fuzzy hierarchy comprehensive evaluation», *Applied Sciences*, vol. 12(12), pp. 1-21, 2022. doi: **10.3390/app12125924**.
25. V.P. Yanovska, and A.V. Kyrychenko, «Osoblyvosti formuvannia stratehii rozvytku natsionalnykh avtotransportnykh pereviznykiv» [«Specificity of the formation of a strategy for the development of national road carriers»], *Menedzhment ta pidpriemnytstvo v Ukraini: etapy stanovlennia i problemy rozvytku – Management and Entrepreneurship in Ukraine: Stages of Formation and Problems of Development*, vol. 2(2), pp. 92-108, 2020. doi: **10.23939/smeu2020.02.092**. (Ukr.)
26. H.K. Salim et al., «Global trends in environmental management system and ISO14001 research», *Journal of Cleaner Production*, vol. 170(1), 645-653, 2018. doi: **10.1016/j.jclepro.2017.09.017**.
27. A. Galieriková, J. Sosedová, «Environmental aspects of transport in the context of development of inland navigation», *Ekológia (Bratislava)*, vol. 35(3), pp. 279-288, 2016. doi: **10.1515/eko-2016-0022**.
28. J. Liu et al., «Integrated fuzzy DEMATEL-ISM-NK for metro operation safety risk factor analysis and multi-factor risk coupling study», *Sustainability*, vol. 15(7), pp. 1-26, 2023. doi: **10.3390/su15075898**.

29. G.K. Koulinas, O.E. Demesouka, P.K. Marhavilas, A.P. Vavatsikos, and D.E. Koulouriotis, «Risk assessment using fuzzy TOPSIS and PRAT for sustainable engineering projects», *Sustainability*, vol. 11(3), pp. 1-15, 2019. doi: [10.3390/su11030615](https://doi.org/10.3390/su11030615).
30. U.E. Shahdah, S. Na, and J.W. Hu, «Assessing the impact of increasing tractor-trailer speed limit on the safety and mobility of three-lane highways in Egypt», *Applied Sciences*, vol. 12(24), pp. 1-17, 2022. doi: [10.3390/app122412702](https://doi.org/10.3390/app122412702).
31. C. Caliendo, G. Genovese, and I. Russo, «A simultaneous analysis of the user safety and resilience of a twin-tube road tunnel», *Applied Sciences*, vol. 12(7), pp. 1-25, 2022. doi: [10.3390/app12073357](https://doi.org/10.3390/app12073357).

Стаття надійшла 13.03.2024

Стаття прийнята 10.04.2024

УДК 502.58:504.064.4

doi: [10.31498/2225-6733.48.2024.310697](https://doi.org/10.31498/2225-6733.48.2024.310697)

© Волошин В.С.¹

ОСОБЛИВОСТІ ПАПЕРОВИХ СТІН У ФОРМУВАННІ МІКРОЕКОСИСТЕМИ «ЯПОНСЬКИЙ ДІМ»

Робота стосується тем ретроекології, а саме особливостей мікроекосистем, пов'язаних з житлом народів світу. Розглянуто унікальний конструктивний елемент японського житла – паперову стіну. Показано, що за функціональним призначенням така споруда суттєво відрізняється від відомих будівельних стін. У цьому сенсі паперова стіна не відповідає загальноприйнятим критеріям якості. Однак цей елемент житла, який користується великою популярністю в Японії, знаходить своїх шанувальників і в інших мікроекосистемах. У роботі висвітлено ті загальновідомі якості паперових стін, які подобаються жителям Японії, всупереч існуючим стандартам, але в повній відповідності з японською аналоговою культурою. Враховуючи те, що на популярність паперових стін впливає не захист від кліматичних та інших впливів, а ментальність японського народу, в якості інструменту аналізу подібних структур був прийнятий механізм математичної логіки, а саме моделі логіки предикатів. Формалізована математична модель дозволила звернути увагу на деякі особливості в перевагах заданих предикатів і уточнити їх пріоритет для користувача. Такий підхід надав можливостей формалізувати розгляд тих аспектів предмета дослідження, які відносяться не до кількісних, а до якісних властивостей предмета досліджень, зокрема, до побутового і духовного стану людини в сукупності з інженерними і проектними параметрами даного предмета – стіни. Показано, що немає протиріччя в тому, що японська паперова стіна не призначена для виконання більшості відомих функцій звичайної стіни людського житла. Вона стала переважною для жителя країни не як захисна або теплозахисна споруда, а головним чином, як результат духовних трансформацій в суспільстві. Зокрема, це досягається за допомогою специфічної будівельної конструкції – паперової стіни. Таким чином, паперова стіна стала складовою для формування не тільки менталітету та психології, а й духовності для мешканця японських островів. Тобто те, що цінується понад усе в мікроекосистемі японського будинку.

Ключові слова: паперова стіна, структура, історична екологія, мікроекосистема, японське житло, захисні функції, японська культура.

¹ д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-9922-5618