

В. О. БУРЕНКО, С. К. ЧЕРНОВ**СИНТЕЗ ГРУПОВИХ РІШЕНЬ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ВИБОРУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В ПРОЦЕСІ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІСЬКИХ ПАСАЖИРОПЕРЕВЕЗЕНЬ**

З кожним роком методи обробки даних щодо міських пасажироперевезень набирають популярності для прийняття рішень щодо організації пасажирських перевезень у «розумному місті», забезпечення ефективності переміщення людей в просторі і часі. Їх актуальність зумовлена зростанням обсягів даних, зміною попиту на кількість та якість необхідних транспортних засобів (ТЗ). Об'єктом дослідження є процес синтезу групових рішень для розв'язання задачі вибору транспортних засобів в процесі логістичного забезпечення міських пасажироперевезень. Предметом дослідження є принципи вивчення невизначеностей і ризиків, джерелами яких є нерівномірність транспортних потоків, застосування ТЗ різного виду, стан транспортних коридорів і вузлів та ін. Метою дослідження є вирішення проблеми вибору ТЗ для міських пасажироперевезень в умовах багатокритеріальності. У статті вирішуються такі завдання: дослідження особливостей критеріїв вибору різних видів ТЗ для мультимодальних перевезень; одночасне врахування і вирахування, і ризиків на підставі ранжування альтернатив; синтез групових рішень для рішення задачі вибору транспортних засобів з врахуванням кваліфікації експертів. Були використані методи формування колективних експертних оцінок (ЕО) та прийняття рішень на їх основі, прогнозування, оптимізації систем логістики та побудова на цій основі прикладних комп'ютерних систем (КС). У результаті роботи запропонована методика вирішення багатокритеріальної задачі вибору варіантів транспортних засобів для пасажироперевезень на основі методу BOCR, який враховує низку показників якості перевезень, що визначають ефективність останніх. Наукова новизна полягає в обґрунтуванні та оцінюванні порівняльної важливості критеріїв з урахуванням різних форм представлення вподобань експертів (нечіткі, точкові та ін. ЕО) на основі методу групової експертної оцінки та аналізу ієрархій. Досягнуті результати синтезу групових рішень для рішення задачі вибору транспортних засобів в процесі логістичного забезпечення міських пасажироперевезень мають практичну цінність в оптимізації забезпечення маршрутів ТЗ, прогнозуванні та плануванні попиту на ТЗ за місткістю, номерами маршрутів, власниками, рівнем комфортності та іншими критеріями, а також для досягнення оптимальної продуктивності системи міських пасажироперевезень та покращення якості обслуговування пасажирів завдяки даним з КС «розумне місто».

Ключові слова: міські пасажироперевезення, транспортна логістика, експертні оцінки, умови багатокритеріальності, комп'ютерна система.

V. BURENKO, S. CHERNOV**SYNTHESIS OF GROUP SOLUTIONS FOR SOLVING THE CHOOSING VEHICLES PROBLEM IN THE LOGISTICS SUPPORT PROCESS OF URBAN PASSENGER TRANSPORTATION**

Every year, data processing methods of urban passenger transportation are gaining popularity for decision-making on the organization of passenger transportation in a "smart city", ensuring the efficiency of people's movement in space and time. Their relevance is due to the data volumes, changes in demand for the quantity and quality of necessary vehicles of various types. The object of the study is the process of synthesizing group solutions for addressing the problem of vehicle selection for logistical support of urban passenger transportation. The subject of the study is the principles of studying uncertainties and risks, caused by uneven traffic flows, the use of various types of vehicles, the state of transport corridors and nodes, etc. The purpose of the study is to solve the problem of selecting vehicles for urban passenger transportation in multi-criteria conditions. The following tasks are solved in the article: studying the criteria features for selecting different vehicles for multimodal transportation; simultaneous consideration of both gains and risks based on the ranking of alternatives; group solutions synthesis for choosing a vehicle, taking into account the qualifications of experts. Methods of forming collective expert assessments (EA) and making decisions based on them, forecasting, optimizing logistics systems, and building applied computer systems (CS) on this basis were used. As a result of the work, a method for solving the multi-criteria problem of choosing vehicle options for passenger transportation was proposed based on the BOCR method, which considers several indicators of transportation quality that determine their optimality and efficiency. The scientific novelty lies in the justification and assessment of the comparative importance of criteria, taking into account different forms of representing experts' preferences (fuzzy, point, etc. EA) based on the method of group expert assessment and analysis of hierarchies. The achieved results of the synthesis of group solutions for solving the problem of vehicle selection in the process of logistical support of urban passenger transportation have practical value in optimizing the provision of vehicle routes, forecasting and planning demand for vehicles by capacity, route numbers, owners, comfort level and other criteria, as well as for achieving optimal productivity of the urban passenger transportation system and improving the quality of passenger service due to data from the CS "smart city".

Keywords: urban passenger transportation, transport logistics, expert assessments, multi-criteria conditions, computer system.

Вступ. З кожним роком методи обробки даних щодо міських пасажироперевезень набирають популярності для прийняття рішень щодо організації пасажирських перевезень у «розумному місті», забезпечення ефективності переміщення людей в просторі і часі. Їх актуальність зумовлена зростанням обсягів даних, зміною попиту на кількість та якість необхідних транспортних засобів (ТЗ). Для вирішення задачі вибору ТЗ в процесі логістичного забезпечення міських пасажироперевезень можуть бути використані методи формування колективних експертних оцінок (ЕО) та прийняття рішень на їх основі, прогнозування, оптимізації систем логістики та побудові на цій основі прикладних комп'ютерних систем (КС). При цьому

мають бути досліджені невизначеності і ризики, джерелами яких є нерівномірність транспортних потоків, застосування ТЗ різного виду, станом транспортних коридорів і вузлів та ін. Це породжує множину різноманітних задач, таких як дослідження особливостей критеріїв вибору різних видів ТЗ для мультимодальних перевезень; одночасне врахування і вирахування, і ризиків на підставі ранжування альтернатив; синтез групових рішень для рішення задачі вибору ТЗ з врахуванням кваліфікації експертів. Аналіз існуючих моделей і методів прийняття рішень та оптимізації логістичних систем показав, що вони спрямовані або в сторону вибору рішень щодо ризиків, або в сторону вирішення проблеми щодо вирахувань [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки проблемам логістики, зокрема, математичним моделям і методам вирішення задач оптимізації та прийняття рішень присвячено досить багато робіт як вітчизняних, так і зарубіжних вчених. Так, в роботі [1], розглянуто задачу оптимізації системи логістики в бізнесі з використанням теорії ігор. Роботи [2; 3] присвячені аналізу критеріїв вибору транспортних засобів для мультимодальних перевезень. При організації міських пасажироперевезень функції мультимодальних транспортних вузлів виконують транспортно-логістичні диспетчерські центри і транспортно-логістичні кластери, які все частіше входять до системи «розумне місто» [4]. Вони здійснюють всі основні операції з обробки замовлень і транспортування пасажирів з наданням усіх видів послуг. В роботі [5] розглянуто ймовірнісний підхід до моделювання невизначеностей, які виникають в логістиці.

Досить великий класифікатор математичних методів і моделей в урбаністичній транспортній логістиці представлений в роботі [6]. В роботі [7] розроблена методика, що враховує сім типів специфічних ризиків як різномірних факторів багатокритеріальності. Автори наголошують на доцільності використання груп експертів та їх оцінок для урахування невизначеності в інноваційних процесах, до яких можна віднести й керування пасажиропотоком з використанням обладнання та інформаційних потоків у комп'ютерній системі (КС) «Розумне місто».

У роботі [8] досліджено, як для урахування ризику в інноваційних проєктах може використовуватись концепція інтервально-ймовірнісної невизначеності. В умовах невизначеності виникають проблеми з синтезом групового рішення, в процесі якого необхідно враховувати вподобання експертів та/або компетенції, що необхідні учасникам команди [9], розробляти моделі оцінки та методи відбору персоналу команди проєкту міських пасажирських перевезень [10]. У роботі [11] запропоновано для вирішення проблеми використовувати методологію, засновану на поділі функцій учасників проєкту, а в роботі [9] також визначаються вагові коефіцієнти, що забезпечують точність визначення необхідних компетенцій експертів-членів команди для виконання завдань в проєкті. При цьому треба вирішувати задачі отримання й обробки: індивідуальних і групових одно- і багатокритеріальних оцінок; з урахуванням і без урахування відносної компетентності експертів [12]. У роботі [13] набули подальшого розвитку теоретичні положення групових експертних оцінок на основі метрик з використанням математичного апарату теорії свідомств Демстера-Шефера та кластерного аналізу. Сучасними дослідниками рекомендовано застосовувати кластеризацію також для створення маршрутів із скороченим часом очікування, визначення районів із найвищим попитом на транспорт у певний час, виявлення неефективних маршрутів чи низького завантаження окремих ділянок транспортної

мережі, синтезу рішень відповідно до потреб пасажирів [14].

Таким чином, процедура знаходження групової думки експертів в умовах різних форм невизначеності, розглянута у ряді джерел з акцентом на окремі складові, вирішує певні складові проблеми формування пасажиропотоку та забезпечення міських перевезень відповідним транспортом. Разом з цим необхідно вказати на недостатність аналізу проблеми вибору в умовах багатокритеріальності, що враховує одночасно й облік ризиків і вигащів, але й більш широке коло показників.

Метою статті є дослідження питання одночасного врахування і вигащів, і ризиків на підставі ранжування альтернатив та з врахуванням кваліфікації експертів для вирішення проблеми вибору транспортних засобів для міських пасажироперевезень в умовах багатокритеріальності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для вирішення поставлених задач в роботі використано модель *BOCR*: *B* – *Benefits* (Вигоди), *O* – *Opportunities* (Можливості), *C* – *Costs* (Витрати), *R* – *Risks* (Ризики), засновану на методі аналізу ієрархій Т. Сааті [15]. Кожен з чотирьох зазначених аспектів моделі *BOCR* може бути представлений окремою ієрархічною структурою і проаналізований із використанням методу аналізу ієрархій (МАІ).

Застосування МАІ супроводжується виконанням наступних процедур: для кожного аспекту формуються матриці попарних порівнянь [В] між критеріями [К] і між альтернативами [А] щодо кожного з критеріїв з використанням відповідної шкали експертних оцінок (ЕО); визначаються значення власного вектора (С) цієї матриці з подальшим їх нормуванням і визначенням ваг вектора пріоритетів. Далі виконується перевірка узгодженості елементів матриці [В] за допомогою підрахунку відношення узгодженості (ВУ), ВУ не може перевищувати 10 %.

Проблема використання МАІ полягає в тому, що для початкової інформації, яка заснована на множинах факторів і альтернатив рішень, застосування різних модифікацій МАІ призводить до різних результатів [16]. При цьому «істинність» того чи іншого отриманого результату принципово не може бути встановлена на момент прийняття рішення. Тому набули розповсюдження методи парних порівнянь, коли експерт порівнює не всі, а деякі пари об'єктів (альтернатив) в пропонованій йому шкалі. Існує проблема пошуку елемента, який необхідно змінити, щоб підвищити рівень узгодженості матриці попарних порівнянь (МПП).

Ізоморфізм відношень

$$< \text{краще-гірше} > \Leftrightarrow < \text{більше-менше} >, \quad (1)$$

що використовується в теорії прийняття рішень, потребує обов'язкового перетворення інформації в числову форму. У деяких сучасних дослідженнях запропоновано візуалізацію модифікацій МАІ [17], основану на ізоморфізмі виду

< краще-гірше > <=> < вище-нижче >, (2)

який автори вважають більш інтуїтивно зрозумілим, ніж (1). Розвиваючи принцип «чим краща альтернатива, тим вище її розташування», в даній роботі пропонується «вигоди» і «можливості», що підвищують ранг альтернативи, розмістити у чисельнику звичайного дробу. Логічно «витрати» та «ризик», що погіршують альтернативу, розмістити у знаменнику відповідного дробу. Існують радикальні відмінності в рівні впливу показників, що входять у чисельник і знаменник дробу, але запропонований підхід надає результати ранжування, що якісно відповідають прагненням експертного оцінювання.

Тобто, для кожної з розглянутих альтернатив підраховується відношення виду:

$$BOCR = \frac{\text{Вигоди} \times \text{Можливості}}{\text{Витрати} \times \text{Ризики}}. \quad (3)$$

За значенням виразу (3) проводиться остаточний вибір альтернативи або може бути отримано їх ранжування.

Технологія синтезу групових рішень в умовах невизначеності та нечіткості. Задача полягає в синтезі групового рішення, враховуючі різні форми представлення вподобань експертів. Процедура знаходження групової думки експертів в умовах різних форм невизначеності може бути формально представлена у вигляді наступних послідовних етапів, наведених на рис. 1.

Припустимо, що необхідно оцінити деяку множину альтернатив (вхідні дані, блок 2 на рис. 1) методом парних порівнянь. Знаходження групової думки експертів починається з побудови ієрархічної структури проблеми, яка містить декілька рівнів: цілі – критерії – альтернативи (блок 3 на рис. 1). В рамках цього етапу формується множина об'єктів експертизи (альтернатив) $A = \{A_i | i = \overline{1, m}\}$ та множина критеріїв $K = \{K_q | q = \overline{1, s}\}$.

В рамках етапу, відображеного у блоку 4 рис. 1, виконується процес виявлення пріоритетів об'єктів (критеріїв, альтернатив за критеріями). На цьому етапі для групи експертів $E = \{E_j | j = \overline{1, t}\}$ визначаються експертні вподобання $B = \{B_j | j = \overline{1, t}\}$ та складаються матриці парних порівнянь для критеріїв і альтернатив відповідно до всіх встановлених критеріїв.

Після цього розраховується вектор пріоритетів МПП, враховуючи форму представлення оцінок експертами (блок 5).

Сформований експертом E_j профіль B_j відображає його вподобання та представляє його оцінки у вигляді зворотньосиметричної МПП виду (4):

$$B_j = \begin{bmatrix} 1 & b_{12} & \dots & b_{1i} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & 1 & \dots & b_{2i} & \dots & b_{2m} \\ \dots & \dots & 1 & \dots & \dots & \dots \\ b_{i1} & b_{i2} & \dots & 1 & \dots & b_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & \dots \\ b_{m1} & b_{m2} & \dots & b_{mi} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де $b_{ij} = 1/b_{ji}$, $\forall i, j = \overline{1, m}$; b_{ij} – вподобання експертів, сформовані в межах заданої шкали експертних переваг.

Якщо рівень узгодженості ЕО неприйнятний (відповідь «Ні» умовного оператора блоку 6), тоді з групи експертів E виділяється підгрупа з узгодженими оцінками, та всередині цих підгруп експертів виконується пошук об'єднаних оцінок (блок 7), після чого повторюється формування профілів вподобань B (блок 4), доки рівень узгодженості ЕО не стане прийнятним (відповідь «Так» умовного оператора блоку 6). Після цього виконується розрахунок кількісного показника якості кожної з альтернатив множини A (блок 8) на основі виразу:

$$U_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij},$$

де U_i – кількісний показник якості i -ї альтернативи; w_j – вага j -го критерію; r_{ij} – вага i -ї альтернативи для j -го критерію.

В результаті буде сформовано вектор

$$W = \{W_j | j = \overline{1, t}\}$$

з кількісними показниками якості кожної альтернативи $W_j = \{U_i^j | i = \overline{1, z}\}$ на основі суджень кожного j -го експерта (блок 9).

Таким чином, у лівій гілці блок-схеми рис. 1 відображено покрокову реалізацію методу МАІ, який використовує лише жорсткі оцінки альтернатив і не враховує можливість невизначеності у висновках експертів. Тобто, при складанні МПП (4) експертам заборонено давати відповіді на кшталт «не знаю» або «не впевнений».

Розглянемо ситуацію, коли експерти або підгрупи експертів $E \Rightarrow \{\{G_1\}, \{G_2\}, \dots, \{G_q\}\}$, ($G_q \subseteq E$, $\{G_q\} = \{E_1, \dots, E_r\}$, $t \geq r \geq 1$), $t = |E|$ висловлюють свої вподобання з використанням різних форм представлення ЕО – нечітких, точкових та ін. ЕО (блок 10).

Наприклад, $E \Rightarrow \{\{G_1\}, \{G_2\}\}$. Експерти групи G_1 , користуючись методом попарного порівняння альтернатив, висловили точкові ЕО W_i та W_j (блок 11).

Експерти групи G_2 сформували нечіткі ЕО W_k та W_p (блок 12). Тобто наявна невизначеність в експертних судженнях, яка може бути представлена, наприклад, у вигляді нечітких та інтервальних чисел з формуванням та виведенням у якості результату вектору кількісних показників якості W^{rez} для кожної альтернативи, що відображає колективну думку групи експертів (блоки 13 та 14) за моделлю BOCR (3).

Таким чином, виконано поєднання методу аналізу ієрархій з перевагами моделі BOCR у процесі синтезу групових рішень, представлених у шкалах об'єктів нечислового характеру, в умовах багатокритеріальності та складних форм невизначеності. Використаний математичний апарат дозволяє коректно працювати з експертними

свідченнями, сформованими в умовах невизначеності та неузгодженості, а також враховувати різні способи взаємодії експертних свідочств (перетин, об'єднання,

поглинання), що виникають під час виявлення та аналізу експертної інформації.

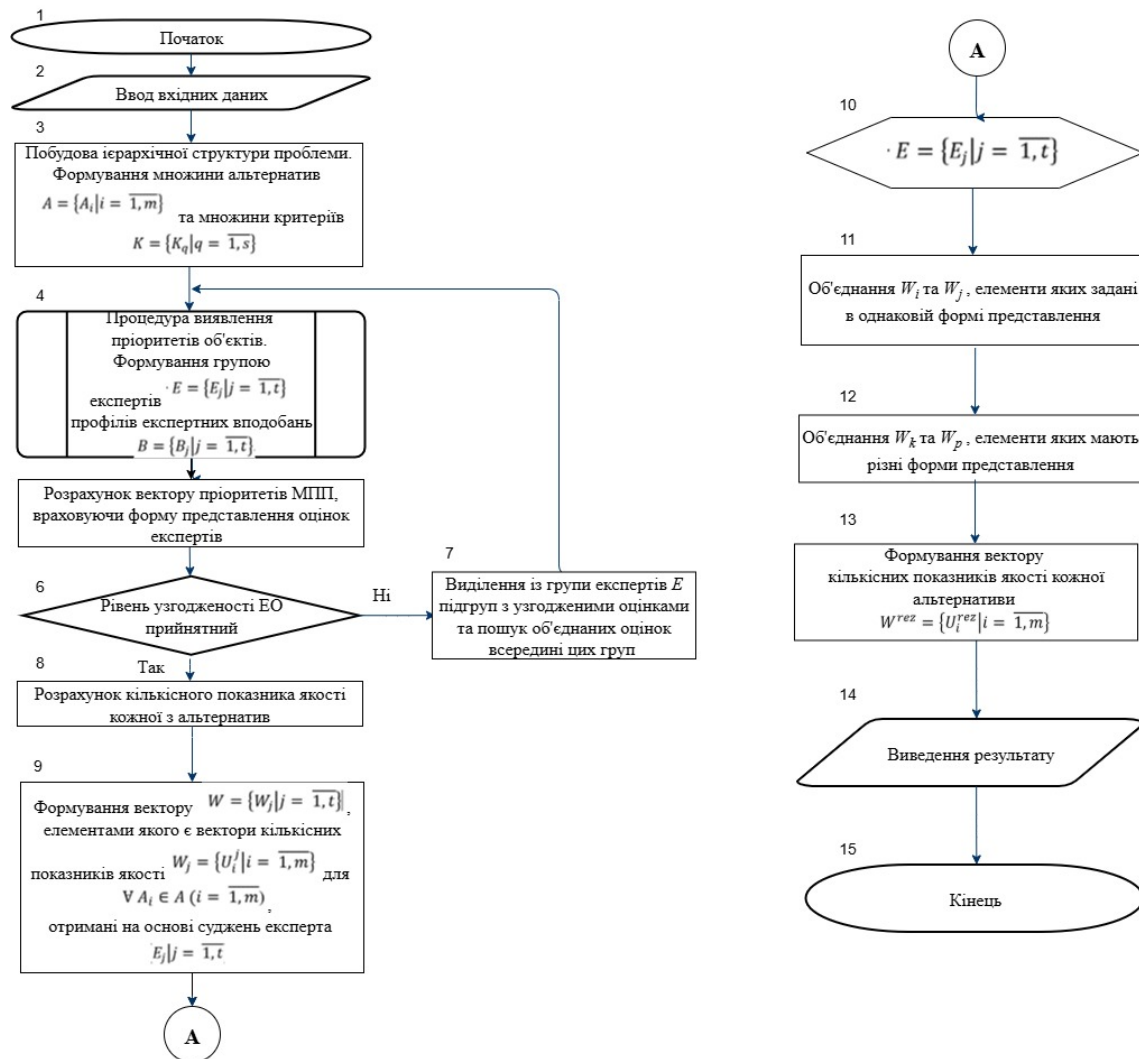


Рис. 1. Блок-схема знаходження групової думки експертів в умовах різних форм невизначеності

Розглянемо приклад вирішення задачі багатокритеріального вибору транспортних засобів міських пасажироперевезень з використанням моделі *BOCR* з урахуванням різних форм представлення вподобань експертів (нечіткі, точкові та ін. ЕО). З цією метою введемо такі позначення:

а) критерії для аспекту «Вигоди»: K_1 – час доставки пасажирів; K_2 – вартість перевезення; K_3 – частота відправлень ТЗ на маршрут; K_4 – місткість ТЗ;

б) критерії для аспекту «Витрати»: K_5 – фінансові вкладення в модернізацію доріг; K_6 – фінансові вкладення в ТЗ; K_7 – вкладення у виробничо-технічну базу транспортних коридорів і вузлів;

в) критерії для аспекту «Можливості»: K_8 – пропускна здатність; K_9 – можливість доставки пасажирів в необхідну точку території; K_{10} – транспортні тарифи; K_{11} – погодні умови;

г) критерії для аспекту «Ризики»: K_{12} – ризик невиконання зобов'язань, пов'язаних із виконанням маршруту; K_{13} – ризик невиконання зобов'язань, пов'язаних із термінами доставки пасажирів.

Як альтернативи, що характеризують види транспорту для пасажироперевезення, виберемо наступні: A_1 – «Автомобіль – Рік випуску (комфорт)»; A_2 – «Автомобіль – Розмір (сидячих місць)»; A_3 – «Автомобіль – Розмір (загальна місткість)». Слід зазначити, що за різними умовами (віддаленості від центру, погоди, наявності «комендантської години» тощо) кінцеве ранжування альтернатив буде суттєво відрізнятися. Але, слід зауважити, що для кожного окремого рішення необхідно розглядати однаковий набір характеристик ТЗ. Хоча, наприклад, рік випуску (рівень комфортності) завжди буде перевагою, але у час пік на маршрутах робітничих перевезень перевагу може набути й місткість – в залежності від рішення експертів.

Крім того, сучасні умови потребують додавати у множину альтернативи, що враховують «інклюзивність» громадського транспорту. За прикладом м. Одеси, такі альтернативи мають окремий графік, який міський департамент транспорту вимушений щомісяця публікувати окремо [19].

Аналогічну роботу починає міська влада міст Миколаєва, Харкова [20]. Як показав аналіз, альтернативи інклюзії на теперішній час поширюються при виборі ТЗ в процесі логістичного забезпечення міських пасажироперевезень і в інших містах України, тому доцільно розглядати включення в перелік альтернативи «Автомобіль – Інклюзія (низька підлога, широкі двері)» з метою проведення ЕО. Тому рішення, що пропонуються, будуть набувати актуальності та потребувати подальшого розвитку.

Припустимо, що експертизу проводять два експерти. Експерт Е1 оцінює значимість одного об'єкту експертизи (альтернативи) по відношенню до іншого трикутним нечітким числом (ТНЧ):

$$\tilde{a}_{ij} = (a_{ij}^1, a_{ij}^2, a_{ij}^3), \quad (5)$$

де a_{ij}^1 та a_{ij}^3 відповідно нижня та верхня границі інтервалу, на якому задана нечітка множина $\tilde{a}_{ij}$; a_{ij}^2 – елемент множини $\tilde{a}_{ij}$, для якого функція належності, що відповідає ступеню належності (істинності) елемента a_{ij}^2 до множини a_{ij} , дорівнює «1».

Тоді сукупність оцінок експерта Е1 може бути представлена у формі нечіткої МПП виду:

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} (1; 1; 1) & (1; \frac{3}{2}; 2) & (\frac{3}{2}; 2; \frac{5}{2}) & (2; \frac{5}{2}; 3) \\ (\frac{1}{2}; \frac{2}{3}; 1) & (1; 1; 1) & (1; \frac{3}{2}; 2) & (\frac{5}{2}; 3; \frac{7}{2}) \\ (\frac{2}{5}; \frac{1}{2}; \frac{2}{3}) & (\frac{1}{2}; \frac{2}{3}; 1) & (1; 1; 1) & (2; \frac{5}{2}; 3) \\ (\frac{1}{3}; \frac{2}{5}; \frac{1}{2}) & (\frac{2}{7}; \frac{1}{3}; \frac{2}{5}) & (\frac{1}{3}; \frac{2}{5}; \frac{1}{2}) & (1; 1; 1) \end{pmatrix}.$$

Визначене у (5) ТНЧ сформоване в рамках вербальної шкали, що виражає ступінь переваги одного елемента над іншим [18] (табл. 1).

Таблиця 1 – Трикутна нечітка шкала

Вербальна шкала	Трикутна нечітка шкала, $\tilde{a}_{ij}$	Трикутна нечітка шкала, $\tilde{a}_{ji} = 1/\tilde{a}_{ij}$
Рівна значимість	(1; 1; 1)	(1; 1; 1)
Певна перевага значимості	(1/2; 1; 3/2)	(2/3; 1; 2)
Слабка значимість	(1; 3/2; 2)	(1/2; 2/3; 1)
Сильна значимість	(3/2; 2; 5/2)	(2/5; 1/2; 2/3)
Дуже висока значимість	(2; 5/2; 3)	(1/3; 2/5; 1/2)
Абсолютна значимість	(5/2; 3; 7/2)	(2/7; 1/3; 2/5)

Для знаходження вектора локальних пріоритетів скористаємось методом Чанга [21].

Результати попарних порівнянь для всіх чотирьох аспектів наведені в табл. 2–9.

Вектор локальних пріоритетів альтернатив:

- за критерієм K_1 : $r_1 = (0,41; 0,34; 0,25)$;

- за критерієм K_2 : $r_2 = (0,58; 0,42; 0,00)$;

- за критерієм K_3 : $r_3 = (0,76; 0,08; 0,15)$;

- за критерієм K_4 : $r_4 = (0,36; 0,06; 0,58)$.

Вектор локальних пріоритетів критеріїв $w = (0,23; 0,24; 0,28; 0,25)$.

Підрахуємо кількісний індикатор якості кожної альтернативи для аспекту «Вигоди»:

$U_1 = \sum_{j=1}^n w_j r_{j1} = 0,54$; $U_2 = 0,22$; $U_3 = 0,24$.

Вектор локальних пріоритетів альтернатив:

- за критерієм K_5 : $r_5 = (0,21; 0,59; 0,20)$;

- за критерієм K_6 : $r_6 = (0,20; 0,40; 0,40)$;

- за критерієм K_7 : $r_7 = (0,56; 0,34; 0,10)$.

Вектор локальних пріоритетів критеріїв $w = (0,40; 0,20; 0,40)$.

Підрахуємо кількісний індикатор якості кожної альтернативи для аспекту «Витрати»:

$U_1 = 0,35$; $U_2 = 0,45$; $U_3 = 0,20$.

Таблиця 2 – Результати попарних порівнянь альтернатив для аспекту «Вигоди»

	Критерій K_1			Критерій K_2		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
A_1	(1; 1; 1)	(3/2; 2; 5/2)	(1/2; 1; 3/2)	(1; 1; 1)	(2/3; 1; 2)	(5/2; 3; 7/2)
A_2	(2/5; 1/2; 2/3)	(1; 1; 1)	(3/2; 2; 5/2)	(1/2; 1; 3/2)	(1; 1; 1)	(3/2; 2; 5/2)
A_3	(2/3; 1; 2)	(2/5; 1/2; 2/3)	(1; 1; 1)	(2/7; 1/3; 2/5)	(2/5; 1/2; 2/3)	(1; 1; 1)
	Критерій K_3			Критерій K_4		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
A_1	(1; 1; 1)	(3/2; 2; 5/2)	(2; 5/2; 3)	(1; 1; 1)	(2; 5/2; 3)	(2/7; 1/3; 2/5)
A_2	(2/5; 1/2; 2/3)	(1; 1; 1)	(1/2; 1; 3/2)	(1/3; 2/5; 1/2)	(1; 1; 1)	(1/2; 1; 3/2)
A_3	(1/3; 2/5; 1/2)	(2/3; 1; 2)	(1; 1; 1)	(5/2; 3; 7/2)	(2/3; 1; 2)	(1; 1; 1)

Таблиця 3 – Результати попарних порівнянь критеріїв

	K_1	K_2	K_3	K_4
K_1	(1; 1; 1)	(1/2; 2/3; 1)	(2; 5/2; 3)	(1/3; 2/5; 1/2)
K_2	(1; 3/2; 2)	(1; 1; 1)	(1/2; 1; 3/2)	(2/3; 1; 2)
K_3	(1/3; 2/5; 1/2)	(2/3; 1; 2)	(1; 1; 1)	(5/2; 3; 7/2)
K_4	(2; 5/2; 3)	(1/2; 1; 3/2)	(2/7; 1/3; 2/5)	(1; 1; 1)

Таблиця 10 – Результати попарних порівнянь альтернатив для аспекту «Вигоди»

	Критерій K_1			Критерій K_2		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
A_1	1	7	2	1	1/4	8
A_2	1/7	1	5	4	1	6
A_3	1/2	1/5	1	1/8	1/6	1
	Критерій K_3			Критерій K_4		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
A_1	1	3	8	1	6	1/9
A_2	1/3	1	5	1/6	1	2
A_3	1/8	1/5	1	9	1/2	1

Таблиця 11 – Результати попарних порівнянь критеріїв

	K_1	K_2	K_3	K_4
K_1	1	1/4	5	1/7
K_2	4	1	3	1/2
K_3	1/5	1/3	1	8
K_4	7	2	1/8	1

Вектор локальних пріоритетів альтернатив:

- за критерієм K_1 : $r_1 = (0,64; 0,24; 0,12)$,
- за критерієм K_2 : $r_2 = (0,29; 0,65; 0,06)$;
- за критерієм K_3 : $r_3 = (0,66; 0,27; 0,07)$;
- за критерієм K_4 : $r_4 = (0,27; 0,22; 0,51)$.

Вектор локальних пріоритетів критеріїв $w = (0,15; 0,37; 0,20; 0,27)$.

Підрахуємо кількісний індикатор якості кожної альтернативи для аспекту «Вигоди»:
 $U_1 = \sum_{j=1}^n w_j r_{j1} = 0,41$; $U_2 = 0,39$; $U_3 = 0,20$.

Таблиця 12 – Результати попарних порівнянь альтернатив для аспекту «Витрати»

	Критерій K_5			Критерій K_6		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
A_1	1	1/2	6	1	1/5	1/7
A_2	2	1	5	6	1	5
A_3	1/6	1/5	1	7	1/6	1
	Критерій K_7					
	A_1	A_2	A_3			
A_1	1	3	8			
A_2	1/3	1	4			
A_3	1/8	1/4	1			

Таблиця 13 – Результати попарних порівнянь критеріїв

	K_5	K_6	K_7
K_5	1	4	1/6
K_6	1/4	1	1/3
K_7	6	3	1

Вектор локальних пріоритетів альтернатив:

- за критерієм K_5 : $r_5 = (0,37; 0,55; 0,08)$;
- за критерієм K_6 : $r_6 = (0,07; 0,70; 0,24)$;
- за критерієм K_7 : $r_7 = (0,67; 0,26; 0,07)$.

Вектор локальних пріоритетів критеріїв $w = (0,22; 0,11; 0,67)$.

Підрахуємо кількісний індикатор якості кожної альтернативи для аспекту «Витрати»: $U_1 = 0,54$; $U_2 = 0,37$; $U_3 = 0,09$.

Таблиця 14 – Результати попарних порівнянь альтернатив для аспекту «Можливості»

	Критерій K_8			Критерій K_9		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
A_1	1	5	2	1	1/6	7
A_2	1/5	1	1/9	6	1	5
A_3	1/2	9	1	1/7	1/5	1
	Критерій K_{10}			Критерій K_{11}		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
A_1	1	3	5	1	1/7	1/9
A_2	1/3	1	6	7	1	3
A_3	1/5	1/6	1	9	1/3	1

Таблиця 15 – Результати попарних порівнянь критеріїв

	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}
K_8	1	1/4	1/3	6
K_9	4	1	1/2	3
K_{10}	3	2	1	1/5
K_{11}	1/6	1/3	5	1

Вектор локальних пріоритетів альтернатив:

- за критерієм K_8 : $r_8 = (0,53; 0,07; 0,40)$;
- за критерієм K_9 : $r_9 = (0,27; 0,70; 0,07)$;
- за критерієм K_{10} : $r_{10} = (0,61; 0,31; 0,08)$;
- за критерієм K_{11} : $r_{11} = (0,06; 0,68; 0,35)$.

Вектор локальних пріоритетів критеріїв

$$w = (0,20; 0,37; 0,25; 0,17).$$

Підрахуємо кількісний індикатор якості кожної альтернативи для аспекту «Можливості»:
 $U_1 = 0,35; U_2 = 0,47; U_3 = 0,18.$

Таблиця 16 – Результати попарних порівнянь альтернатив для аспекту «Ризику»

	Критерій K_{12}			Критерій K_{13}		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
A_1	1	1/5	4	1	1/4	6
A_2	5	1	7	4	1	5
A_3	1/4	1/7	1	1/6	1/5	1

Таблиця 17 – Результати попарних порівнянь критеріїв

	K_{12}	K_{13}
K_{12}	1	1/5
K_{13}	5	1

Вектор локальних пріоритетів альтернатив:

- за критерієм K_{12} : $r_{12} = (0,20; 0,72; 0,07)$;
- за критерієм K_{13} : $r_{13} = (0,27; 0,65; 0,08)$.

Вектор локальних пріоритетів критеріїв
 $w = (0,17; 0,83).$

Підрахуємо кількісний індикатор якості кожної альтернативи для аспекту: $U_1 = 0,26; U_2 = 0,66; U_3 = 0,08.$

В результаті сформуємо вектор пріоритетів, отриманий на основі оцінок експерта Е2:

Вигоди:

$$w_{12} = (0,41; 0,39; 0,20);$$

Можливості:

$$w_{32} = (0,35; 0,47; 0,18);$$

Витрати:

$$w_{22} = (0,54; 0,37; 0,09);$$

Ризику:

$$w_{42} = (0,26; 0,66; 0,08).$$

Для отримання групового рішення скористаємось операцією комбінування ЕО (свідомств):

$$\text{Експерт 1: } m_1(A_1) = 0,54; m_1(A_2) = 0,22; m_1(A_3) = 0,24;$$

$$\text{Експерт 2: } m_2(A_1) = 0,41; m_2(A_2) = 0,39; m_2(A_3) = 0,20;$$

Аспект «Витрати»:

$$\text{Експерт 1: } m_1(A_1) = 0,35; m_1(A_2) = 0,45; m_1(A_3) = 0,20;$$

$$\text{Експерт 2: } m_2(A_1) = 0,54; m_2(A_2) = 0,37; m_2(A_3) = 0,09;$$

Аспект «Можливості»:

$$\text{Експерт 1: } m_1(A_1) = 0,42; m_1(A_2) = 0,37; m_1(A_3) = 0,21;$$

$$\text{Експерт 2: } m_2(A_1) = 0,35; m_2(A_2) = 0,47; m_2(A_3) = 0,18;$$

Аспект «Ризику»:

$$\text{Експерт 1: } m_1(A_1) = 0,35; m_1(A_2) = 0,52; m_1(A_3) = 0,14;$$

$$\text{Експерт 2: } m_2(A_1) = 0,26; m_2(A_2) = 0,66; m_2(A_3) = 0.$$

Розрахуємо коефіцієнт конфліктності [23; 24]:

$$k_{12} = \sum_{j=1}^3 (m_1(A_j) \sum_{i=1, i \neq j}^3 m_2(A_i)). \quad (7)$$

Аспект «Вигоди»: $k_{12} = 0,65$;

Аспект «Витрати»: $k_{12} = 0,63$;

Аспект «Можливості»: $k_{12} = 0,56$;

Аспект «Ризику»: $k_{12} = 0,56$.

Беручи до уваги досить високий рівень конфлікту, для об'єднання (агрегування) ЕО скористаємось правилом пропорційного перерозподілу конфліктів № 5 (англ. *Proportional Conflict Redistribution Rule, PCR5*), що дозволяє здійснити перерозподіл конфліктних базових мас ймовірності на підмножини, що використані в локальних конфліктах [25; 26]:

$$m_{PCR5}(C) = m_{12}(C) + \sum_{\substack{Y \in D^A\{X\} \\ X \cap Y = \emptyset}} \left[\frac{m_1(X)^2 \times m_2(Y)}{m_1(X) + m_2(Y)} + \frac{m_2(X)^2 \times m_1(Y)}{m_2(X) + m_1(Y)} \right], \quad (8)$$

де $m_{12}(C)$ – комбінована маса ймовірності для підмножини $C = X \cap Y$, що розрахована на основі кон'юнктивного консенсусу.

Результуючі основні маси ймовірності у відповідності до правила PCR5:

- аспект «Вигоди»:

$$m_{12}(A_1) = 0,54; m_{12}(A_2) = 0,29; m_{12}(A_3) = 0,17;$$

- аспект «Витрати»:

$m_{12}(A_1) = 0,49$; $m_{12}(A_2) = 0,42$; $m_{12}(A_3) = 0,09$;

- аспект «Можливості»:

$m_{12}(A_1) = 0,40$; $m_{12}(A_2) = 0,46$; $m_{12}(A_3) = 0,14$;

- аспект «Ризики»:

$m_{12}(A_1) = 0,26$; $m_{12}(A_2) = 0,69$; $m_{12}(A_3) = 0,05$.

Враховуючи отримані значення, побудуємо таблицю відношень BOCR (табл. 18).

Таблиця 18 – Значення відношення BOCR

Альтернативи	A_1	A_2	A_3	Ранжування альтернатив
Вигоди	0,54	0,29	0,17	$A_1 \prec A_2 \prec A_3$
Витрати	0,49	0,42	0,09	$A_1 \prec A_2 \prec A_3$
Вигоди/Витрати	1,10	0,69	1,89	$A_3 \prec A_1 \prec A_2$
Можливості	0,40	0,46	0,14	$A_2 \prec A_1 \prec A_3$
Ризики	0,26	0,69	0,05	$A_2 \prec A_1 \prec A_3$
Можливості/Ризики	1,54	0,67	2,80	$A_3 \prec A_1 \prec A_2$
Вигоди/(Витрати $\times$ Ризики)	4,24	1,00	37,78	$A_3 \prec A_1 \prec A_2$
BOCR	1,70	0,46	5,29	$A_3 \prec A_1 \prec A_2$

З розгляду табл. 18 видно, що з урахуванням значень розглянутих аспектів перевезень, отриманих в прикладі, кращою є альтернатива A_3 , яка відповідає мультимодальному перевезенню «Автомобіль – Розмір (загальна місткість)».

В роботі [26] наголошено, що правило PCR5 є єдиним правилом, що забезпечує математично обґрунтований пропорційний перерозподіл на підмножини, залучені в локальні конфлікти. Але, при роботі з трьома або більше джерелами інформації (експертами) слід розглянути альтернативи, такі як PCR6, для досягнення оптимальної продуктивності системи [27].

Висновки. Слід зазначити, що задача вибору ТЗ в процесі логістичного забезпечення міських пасажироперевезень належить до класу задач умовної оптимізації, рішення яких є досить трудомістким, оскільки при збільшенні кількості експертів буде збільшуватись обчислювальна складність. Питання обчислювальної складності в залежності від кількості альтернатив та критеріїв ретельно досліджено в роботі [28]. Коли для підтримки прийняття рішень застосовуються ЕО – що за визначенням є досить грубим наближенням, – недоцільно витрачати потужні обчислювальні ресурси на пошук точного розв'язку. Зважаючи на те, що потокова інформація з ІР камер КС «Розумне місто», перетворена у діаграму яскравості [13], надає не точні чисельні, а лише якісні оцінки наповненості зупинок міського транспорту у різні часи доби, це наближає до можливості використовувати зазначену інформацію в якості вхідних даних для синтезу групових рішень при розв'язанні задачі вибору ТЗ, що необхідно подати у вузлові точки мережі міських транспортних пасажироперевезень.

В статті запропоновано метод вирішення багатокритеріальної задачі вибору варіантів ТЗ для пасажироперевезень. В основі лежить модель BOCR, яка враховує низку якісних показників перевезень, що визначають їх оптимальність і ефективність. Для об'єднання групових ЕО запропонована процедура, що

дозволяє синтезувати колективне рішення, враховуючи різні способи представлення вподобань експертів (нечіткі, точкові та ін. оцінки). Цей підхід моделює невизначеності, які породжуються суперечливими експертними свідченнями, і не накладає жорстких обмежень на спосіб подання ЕО. Таким чином, виконано поєднання методу аналізу ієрархій з перевагами моделі BOCR у процесі синтезу групових рішень для розв'язання задачі вибору транспортних засобів при логістичному забезпеченні міських пасажироперевезень. На відміну від наявних методів, запропонований підхід забезпечує обробку експертних суджень будь-якої структури: узгоджених, еквівалентних, довільних тощо. Він також враховує можливі об'єднання та перетини експертних свідчень.

Список літератури

1. Kostiuk Y. D., Romanenko O. A. Theoretical foundations of urban transport and logistics systems intellectualization. *Economic Innovations*. 2022. Vol. 24, No. 4 (85). P. 60–69. DOI: 10.31520/ei.2022.24.4(85).60-69.
2. Sodenkampa M. A., Tavana M., Caprio D. D. Modeling synergies in multi-criteria supplier selection and order allocation. *European Journal of Operational Research*. 2016. Vol. 254. P. 859–874. DOI: 10.1016/j.ejor.2016.04.015.
3. Ширяєва С. В., Даньківська К. І. Основні складові мультимодальної транспортної мережі. *Вісник Національного транспортного університету. Серія: «Технічні науки»*: наук.-техн. зб. 2015. Вип. 1, № 31. С. 568–573. URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/31_1_tech_2015/568-573.pdf (дата звернення: 10.05.2025).
4. Кириченко Г. І., Стрелко О. Г., Бердниченко Ю. А., Петриковець О. В., Павлюк Є. І. Сучасні тенденції розвитку мультимодальної системи перевезення вантажів. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2019. Т. 30, Вип. № 69, Ч. 2, № 3. С. 148–153. DOI: 10.32838/2663-5941/2019.3-2/26.
5. Sarkisian H., Zinevych O., Molyboha R., Dubytskyi O., Pavliuk V. Implementing logistics technologies to optimize road transport flows: Urban planning, traffic capacity, and safety. *Edelweiss Applied Science and Technology*. 2025. Vol. 9, No. 2. С. 384–394. DOI: 10.55214/25768484.v9i2.4492.
6. Min Z., Gorovyi D. The economical advantages and disadvantages of urban passenger transport modes according to the purposes of urban passenger logistics. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Economic sciences*. 2020. Vol. 4. P. 40–44. DOI:10.20998/2519-4461.2020.4.40.

7. Kosenko V. V. Method for analyzing and assessing the risk cost of an innovative project. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management*. 2019. № 1 (1326). С. 18–23. DOI: 10.20998/2413-3000.2019.1326.3.
8. Шахов А. В., Пітерська В. М. Оцінка ризиків в інноваційних проектах методом достовірних еквівалентів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами*. 2017. № 2 (1224). С. 35–40. DOI: 10.20998/2413-3000.2017.1224.6.
9. Шерстюк О. І., Колесніков О. Є. Використання методу ранжування при формуванні необхідного набору компетенцій команди проекту. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами*. 2018. № 2 (1278). С. 31–37. DOI: 10.20998/2413-3000.2018.1278.5.
10. Шпильовий І. Ф., Маруніч В. С., Вакарчук І. М., Харута В. С. Розробка моделі оцінки та методу відбору персоналу команди проекту міських пасажирських перевезень. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами*. 2016. № 2 (1174). С. 95–98. DOI: 10.20998/2413-3000.2016.1174.21.
11. Грисюк Ю. С., Лабута А. В. Моделювання систем руху інформаційних потоків в програмах розвитку транспорту та логістики. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами*. 2014. № 3 (1046). С. 78–84. DOI: 10.20998/2413-3000.2014.1046.11.
12. Тоценко В. Г. Методи та засоби підтримки прийняття рішень. *Ресстрація, зберігання і обробка даних*. 2007, Т. 9, № 3. С. 98–104. URL: <http://dspac.nbuv.gov.ua/handle/123456789/50898> (дата звернення: 30.06.2025).
13. Буренко В. О. Групові експертні оцінки обробки інформації в комп'ютерних системах «розумного міста». *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2024. № 2 (89). С. 118–125. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.2.16>.
14. Мачелюх Ю. Р., Литвин В. В. Метод К-середніх для аналізу даних з організації пасажирських перевезень у розумному місті. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2025. № 1 (31). С. 83–101. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2025.1.083>.
15. Saaty T. L., Vargas L. G. Decision making with the analytic network process. 2nd Ed. Springer, 2013. 564 p.
16. Nedashkovskaya N. I. Investigation of methods for improving consistency of a pairwise comparison matrix. *Journal of the Operational Research Society*. 2018. Vol. 69, Is. 12. P. 1947–1956. DOI: 10.1080/01605682.2017.1415640.
17. Колодний В. В., Зубко В. В. Метод та інформаційна технологія ранжування альтернатив на основі візуальних тернарних порівнянь. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2024. № 1. С. 23–31. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2024-59-1-23-31>.
18. Saaty T. L., Wei L. Complete structural functions and connections of the nervous system. *RWS Publications*, 2023.
19. В Одесі оприлюднили розклад інклюзивних міських автобусів на грудень. *Пасажирський транспорт* : вебсайт. Оpubл. 29.11.2024. URL: <https://traffic.od.ua/news/busua/1260839> (дата звернення: 10.07.2025).
20. Автобус. Міські маршрути. Mercedes-Benz O530 Citaro. *Харків транспортний* : вебсайт. Оpubл. 13.06.2025. URL: https://gortransport.kharkov.ua/ps_models/449/ (дата звернення: 18.07.2025).
21. Zhu K.-J., Jing Yu., Chang D. Y. A discussion on extent analysis method and applications of fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*. Feb. 1999. Vol. 116, No. 2. P. 450–456. DOI: 10.1016/S0377-2217(98)00331-2.
22. Saaty T. L., Ozdemir M. S., Cillo B., Vargas L. G., Tavana M. Encyclicons – Dictionaries of complex ANP decision models. *RWS Publications*, 2021. 390 p.
23. Wang S., Zhu X., Shang P., Liu W., Lin X. Two-Echelon Pickup and delivery problem using public transport in city logistics. *Journal of Advanced Transportation*. Aug 2024. ID 1203246. P. 1–22. DOI: 10.1155/2024/1203246.
24. Vinogradova-Zinkevič I. Comparative sensitivity analysis of some fuzzy AHP methods. *MDPI. Mathematics*. Dec. 2023. Vol. 11 (24):4984. DOI: 10.3390/math11244984.
25. Ding J. J., Li L. J., Xu H. B., Lv J. J. Adaptive fusion algorithm with DST and PCR5. *Conference: IET International Radar Conference*, January 2015. DOI: 10.1049/cp.2015.1009.
26. Швед А. В. Розробка методики оцінювання значень функцій належності на основі групової експертизи у методі нечіткого дерева рішень. *Радіoeлектроніка, інформатика, управління*. 2024. № 2. С. 106–116. DOI: 10.15588/1607-3274-2024-2-11.
27. Desert T., Dezert J., Smarandache F. Improvement of proportional conflict redistribution rules of combination of basic belief assignments. *Journal of Advances in Information Fusion*. 2021. Vol. 16, No. 1. P. 48–73.
28. Горпенко Д. Р., Болтънков В. О. Порівняльний аналіз методів розв'язання оперативних задач транспортної логістики. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2023. Т. 13, № 1–2. С. 34–47. DOI: 10.15276/imms.v13.no1-2.34.

References (transliterated)

1. Kostiyuk Y. D., Romanenko O. A. Theoretical foundations of urban transport and logistics systems intellectualization. *Economic Innovations*, 2022, vol. 24, no. 4 (85), pp. 60–69. DOI: 10.31520/ei.2022.24.4(85).60-69.
2. Sodenkampa M. A., Tavana M., Caprio D. D. Modeling synergies in multi-criteria supplier selection and order allocation. *European Journal of Operational Research*, 2016, vol. 254, pp. 859–874. DOI: 10.1016/j.ejor.2016.04.015.
3. Shyriaieva S. V., Dankivska K. I. Osnovni skladovi multimodalnoi transportnoi merezhi [The main components of a multimodal transport network]. *Visnyk Nats. transportnoho un-tu. Seriya: "Tekhnichni nauky"* : nauk.-tekhn. zb. [Bulletin of the National Transport University. Series: "Technical Sciences" : scientific and technical collection.], 2015, vol. 1, no. 31, pp. 568–573. Available at: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/31_1_tech_2015/568-573.pdf (accessed: 10.05.2025). [In Ukrainian]
4. Kyrychenko H. I., Strelko O. H., Berdnychenko Yu. A., Petrykovets O. V., Pavliuk Ye. I. Suchasni tendentsii rozvytku multimodalnoi systemy perevezennia vantazhiv [Current trends in the development of the multimodal freight transportation system]. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky* [Scientific Notes of the V. I. Vernadskyi TNU. Series: Technical Sciences], 2019, vol. 30, is. 69, part 2, no. 3, pp. 148–153. DOI: 10.32838/2663-5941/2019.3-2/26. [In Ukrainian]
5. Sarkisian H., Zinevych O., Molyboha R., Dubytskyi O., Pavliuk V. Implementing logistics technologies to optimize road transport flows: Urban planning, traffic capacity, and safety. *Edelweiss Applied Science and Technology*, 2025, vol. 9, no. 2, pp. 384–394. DOI: 10.55214/25768484.v9i2.4492.
6. Min Z., Gorovyi D. The economical advantages and disadvantages of urban passenger transport modes according to the purposes of urban passenger logistics. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Economic sciences*, 2020, vol. 4, pp. 40–44. DOI: 10.20998/2519-4461.2020.4.40.
7. Kosenko V. V. Method for analyzing and assessing the risk cost of an innovative project. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management*, 2019, no. 1 (1326), pp. 18–23. DOI: 10.20998/2413-3000.2019.1326.3.
8. Shakhov A. V., Piterska V. M. Otsinka ryzykiv v innovatsiynykh proektakh metodom dostovirnykh ekvivalentiv [Risk assessment in innovation projects using the method of reliable equivalents]. *Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Stratehichne upravlinnia, upravlinnia portfeliamy, prohramamy ta proektamy* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management], 2017, no 2 (1224), pp. 35–40. DOI: 10.20998/2413-3000.2017.1224.6. [In Ukrainian]
9. Sherstnyuk O. I., Kolesnikov O. Ye. Vykorystannia metodu ranzhyruvannia pry formuvanni neobkhidnoho naboru kompetentsii komandy proektu [Using the ranking method when forming the necessary set of project team competencies]. *Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Stratehichne upravlinnia, upravlinnia portfeliamy, prohramamy ta proektamy* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management], 2018, no. 2 (1278), pp. 31–37. DOI: 10.20998/2413-3000.2018.1278.5. [In Ukrainian]
10. Shpylovyy I. F., Marunych V. S., Vakarchuk I. M., Kharuta V. C. Rozrobka modeli vidozkynta ta metodu vidozkynta personalu komandy proektu miskykh pasazhyrskykh perevezen [Development of an

- evaluation model and method for selecting personnel for the urban passenger transportation project team]. *Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Stratehichne upravlinnia, upravlinnia portfeliamy, prohramamy ta proektamy* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management], 2016, no. 2 (1174), pp. 95–98. DOI: 10.20998/2413-3000.2016.1174.21. [In Ukrainian]
11. Hrysiuk Yu. S., Labuta A. V. Modeliuvannia system rukhu informatsiinykh potokiv v prohramakh rozvytku transportu ta lohistyky [Modeling of information flow systems in transport and logistics development programs]. *Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Stratehichne upravlinnia, upravlinnia portfeliamy, prohramamy ta proektamy* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management], 2014, no. 3 (1046), pp. 78–84. DOI: 10.20998/2413-3000.2014.1046.11. [In Ukrainian]
 12. Totsenko V. G. Methods and tools for decision support. *Data Recording, Storage & Processing*, 2007, vol. 9, no. 3, pp. 98–104. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/50898> (accessed: 30.06.2025). [In Ukrainian]
 13. Burenko V. O. Hrupovi ekspertni otsinky obrobky informatsii v kompiuternykh systemakh «rozumnoho mista» [Group expert assessments of information processing in "Smart City" computer systems]. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu* [Bulletin of the Kherson National Technical University], 2024, no. 2 (89), pp. 118–125. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.2.16>. [In Ukrainian]
 14. Matseliukh Yu. R., Lytvyn V. V. Application of the K-means clustering method in the organisation of passenger transport in a smart city. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, 2025, no. 1 (31), pp. 83–101. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2025.1.083>. [In Ukrainian]
 15. Saaty T. L., Vargas L. G. Decision making with the analytic network process. 2nd Ed. Springer, 2013. 564 p.
 16. Nedashkovskaya N. I. Investigation of methods for improving consistency of a pairwise comparison matrix. *Journal of the Operational Research Society*, 2018, vol. 69, is. 12, pp. 1947–1956. DOI: 10.1080/01605682.2017.1415640.
 17. Kolodnyi V. V., Zubko V. V. Method and information technology for ranging alternatives based on visual ternary comparisons. *Information technology and computer engineering*, 2024, no. 1, pp. 23–31. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2024-59-1-23-31>. [In Ukrainian]
 18. Saaty T. L., Wei L. Complete structural functions and connections of the nervous system. *RWS Publications*, 2023.
 19. V Odesi opryliudnyly rozklad inkluzivnykh miskykh avtobusiv na hruden [Odessa has published the schedule of inclusive city buses for December]. *Pasazhyrskyi transport* [Passenger transport]: web site. Publ. 29.11.2024. Available at: <https://traffic.od.ua/news/busua/1260839> (accessed: 10.07.2025). [In Ukrainian]
 20. Miski marshruty. Mercedes-Benz O530 Citaro [Bus. City routes. Mercedes-Benz O530 Citaro]. *Kharkiv transportnyi* [Kharkiv Transportations]: web site. Publ. 13.06.2025. Available at: https://gortransport.kharkov.ua/ps_models/449/ (accessed: 18.07.2025). [In Ukrainian]
 21. Zhu K.-J., Jing Yu., Chang D. Y. A discussion on extent analysis method and applications of fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, Feb. 1999, vol. 116, no. 2, pp. 450–456. DOI:10.1016/S0377-2217(98)00331-2.
 22. Saaty T. L., Ozdemir M. S., Cillo B., Vargas L. G., Tavana M. Encyclicons – Dictionaries of complex ANP decision models. *RWS Publications*, 2021. 390 p.
 23. Wang S., Zhu X., Shang P., Liu W., Lin X. Two-Echelon Pickup and delivery problem using public transport in city logistics. *Journal of Advanced Transportation*, Aug 2024, ID 1203246, pp. 1–22. DOI: 10.1155/2024/1203246.
 24. Vinogradova-Zinkevič I. Comparative sensitivity analysis of some fuzzy AHP methods. *MDPI. Mathematics*, Dec. 2023, vol. 11 (24):4984. DOI: 10.3390/math11244984.
 25. Ding J. J., Li L. J., Xu H. B., Lv J. J. Adaptive fusion algorithm with DST and PCR5. *Conference: IET International Radar Conference*, January 2015. DOI:10.1049/cp.2015.1009.
 26. Shved A. V. Rozrobka metody otsiniuvannia znachen funktsii nalezhnosti na osnovi hrupovoi ekspertyzy u metody nechitkoho dereva rishen [Development of a methodology for estimating membership function values based on group expertise in the fuzzy decision tree method]. *Radioelektronika, informatyka, upravlinnia* [Radio electronics, Computer Science, Control], 2024, no. 2, pp. 106–116. DOI 10.15588/1607-3274-2024-2-11. [In Ukrainian]
 27. Desert T., Dezert J., Smarandache F. Improvement of proportional conflict redistribution rules of combination of basic belief assignments. *Journal of Advances in Information Fusion*, 2021, vol. 16, no. 1, pp. 48–73.
 28. Gorpenko D. R., Boltyonkov V. O. Comparative analysis of methods for solving operational problems of transport logistics. *Informatics and mathematical methods in modeling*, 2023, vol. 13, no. 1–2, pp. 34–47. DOI: 10.15276/imms.v13.no1-2.34. [In Ukrainian]

Надійшла (received) 13.02.2025

Відомості про авторів / About the Authors

Буренко Володимир Олександрович (Burenko Volodymyr Oleksandrovych) – магістр з комп'ютерних наук, PhD-студент за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв; e-mail: volodymyr.burenko22@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0862-5879>

Чернов Сергій Костянтинович (Chernov Serhii Kostiantynovych) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри управління проектами, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв; e-mail: 19chsk56@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9069-0409>