

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА “АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ”

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

***“ ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОСЛУГ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ З
ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕГРОВАНОГО ПІДХОДУ НЕЧІТКОЇ
МОДЕЛІ НА ОСНОВІ ЗНАЧЕННЯ КОРЕЛЯЦІЇ КЕНДАЛЛА ”***

ВИКОНАВ: СИМЧУК ВАДИМ ОЛЕГОВИЧ

КЕРІВНИК: ТАРАН ІГОР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Допущений до захисту

Зав. кафедрою АТ

«_____» листопада 2024 р.

Ю.А.Монастирський

Кривий Ріг – 2024

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
Кафедра “ Автомобільний транспорт ”
Освітня програма – Автомобільний транспорт

Затверджую:
Зав. кафедрою АТ
Ю.А.Монастирський
« » вересня 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ
СИМЧУКУ ВАДИМУ ОЛЕГОВИЧУ

1. Тема роботи “ *Оцінка якості послуг громадського транспорту з використанням інтегрованого підходу нечіткої моделі на основі значення кореляції Кендалла* ” затверджена наказом по університету від «16» вересня 2024 р. № 838с
2. Термін здачі закінченої роботи «30» листопада 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: *наукові дослідження та публікації за темою роботи.*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: *Вступ, Вихідні дані та методи дослідження, Узагальнення результатів дослідження, Висновки, Список використаних джерел*
5. Перелік графічного матеріалу *Графіки та діаграми по результатам досліджень.*
6. Дата видачі завдання - 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів випускної роботи	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Аналіз стану питання</i>	<i>10.09.24 – 01.10.24</i>	
2	<i>Методичні засади</i>	<i>02.10.24 – 20.10.24</i>	
3	<i>Дослідження та аналіз результатів</i>	<i>21.10.24 – 21.11.24</i>	
4	<i>Формулювання висновків</i>	<i>22.11.24 – 24.11.24</i>	
5	<i>Оформлення презентаційної частини</i>	<i>25.11.24 – 30.11.24</i>	

Завдання видав керівник

ТАРАН ІГОР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Завдання прийняв

СИМЧУК ВАДИМ ОЛЕГОВИЧ

Зміст

Зміст	3
Вступ.....	4
1. Вступ.....	6
2. Постановка задач дослідження	11
2.1. Основні характеристики нечітко-ієрархічного аналітичного процесу.	11
2.2. Характеристики конкордансу Кендалла	18
3. Результати дослідження	21
4. Висновки	31
Список використаних джерел	34

Вступ

Пандемія COVID-19 вплинула на громадський транспорт у всьому світі, і її наслідки необхідно оцінити та глибоко вивчити всі аспекти громадського транспорту. Тому було створено аналіз для вивчення впливу пандемії на рішення щодо якості послуг громадського транспорту, щоб мати краще бачення потреб різних зацікавлених сторін для підтримки прибуткового функціонування системи. Участь зацікавлених сторін у складному, багатокритеріальному прийнятті рішень часто призводить до дуже різних результатів у пріоритизації атрибутів рішення. Методи рангової кореляції, як правило, вимірюють ступінь згоди або незгоди між групами оцінювачів. Однак багатокритеріальна методологія може визначати не тільки порядкові, а й кардинальні пріоритети. Отже, крім позицій атрибутів, значення ваги також мають значення в остаточному рішенні. Ця робота має на меті застосувати більш складну міру групової згоди, ніж рангова кореляція. Спочатку для з'ясування агрегованих ваг використовується нечітко-ієрархічний аналітичний процес, потім обчислюються значення кореляції Кендалла (сумарна кількість спостережень, що йдуть за поточними спостереженнями з більшим значенням рангів Y . сумарна кількість спостережень, що йдуть за поточними спостереженнями з меншим значенням рангів Y при цьому рівні ранги не враховуються) число пов'язаних рангів у ряді X і Y відповідно., щоб виявити думки зацікавлених сторін. Нарешті, підхід до узгодження був перевірений на реальному прикладі: рішення про розвиток громадського транспорту в місті яке досліджується. Аналіз показав, що, застосовуючи метод Кендалла, можна отримати більш глибоке уявлення про пріоритетні характеристики різних груп оцінювачів.

Ключові слова: нечітко-ієрархічний аналітичний процес; громадський транспорт; транспортне планування; прийняття рішень за багатьма критеріями кореляція Кендалла.

1. Вступ

Пандемія COVID-19 вплинула на всі сектори, в тому числі і на систему громадського транспорту. На відміну від звичайної поведінки урядів, спрямованої на стимулювання людей користуватися громадським транспортом, під час пандемії вона почала мотивувати людей користуватися своїми автомобілями. На противагу цьому були вжиті такі заходи, як комендантська година, соціальне дистанціювання та інші заходи для мінімізації поширення вірусу. Під час пандемії країни зіткнулися з проблемою, пов'язаною зі звичайними подорожами, закликаючи до перекваліфікації існуючої дорожньої інфраструктури та транзитних систем — нетрадиційного дизайну доріг та покращення пішохідних і велосипедних доріжок, способів посилення мобільності після пандемії. Крім того, пандемія COVID-19 викликала певне занепокоєння щодо бачення інфраструктури, що призвело до зміни точки зору кожного. Однак економічна система і транспортний попит можуть бути вдосконалені і розширені за допомогою короткострокового і довгострокового планування, придбання державного фінансування, а також сприяння державно-приватному партнерству. Крім того, довгострокові наслідки пандемії COVID-19 можуть сприяти більш постійним змінам у розумній роботі та іншій повсякденній діяльності, зниженні вимог до мобільності та загального використання викопної енергії. Ці розробки можуть прискорити перехід до сталого розвитку, сприяючи дослідженням і новим практикам, що виникли в результаті пандемії COVID-19 [1].

Громадський транспорт в місті яке досліджується зазнав негативного впливу, оскільки громадські автобуси є власниками приватних осіб або невеликих компаній, економічні наслідки виникли безпосередньо для власників і пасажирів. У цій роботі представлено інтегрований підхід,

модель нечітко-ієрархічного аналітичного процесу з використанням кореляції Кендалла, що поєднує вимоги осіб, які приймають рішення, для створення стійкої транзитної системи. Проведена модель була протестована в місті яке досліджується в період пандемії COVID-19 з обстеження якості місцевого громадського автобусного транспорту та його бажаної модифікації пасажирами, непасажирами та муніципальними службовцями.

У транспортних науках часто виявляються конфліктуючі групи зацікавлених сторін і практики, і рівень їх узгодження може бути життєво важливим показником запланованого або реалізованого рішення. Різноманіття преференцій може спричинити покарання однієї або кількох груп зацікавлених сторін, що зробить втручання в транспортну систему нестійким у довгостроковій перспективі.

Однак, як ми повинні називати різноманіття груп оцінювачів в опитуваннях переваг? Що може бути найкращим способом виміряти та вказати ступінь змін у пріоритетному ранжуванні атрибутів рішень, пов'язаних із транспортом?

У багатокритеріальних методах прийняття рішень на основі цінності та корисності:

- Аналітичний процес ієрархії [2],
- Аналітичний мережевий процес [3],
- Найкращий-найгірший метод [4],
- Проста техніка багатоатрибутного оцінювання [5]
- Метод Свінгу [6],

результати є як порядковими, так і кардинальними.

Незважаючи на це, існуюче наукове рішення для визначення ступеня згоди між групами оцінювачів зосереджується лише на порівнянні рейтингів, тобто на порядковій характеристиці результатів прийняття рішень за багатьма критеріями. Методи кореляції рангів Кендалла або

Спірмена, що застосовуються для узгодження, залежать від кількості зацікавлених сторін. Навіть найновіші та найдосконаліші моделі [7] концентруються на самих рейтингах як результатах. Тим не менш, ваговими значеннями або альтернативними оцінками нехтують у процедурі узгодження та створення консенсусу.

Процес прийняття рішень часто потребує вдосконалення, а також інструментів для полегшення прийняття рішень. Отже, були розроблені методи прийняття рішень за багатьма критеріями для полегшення роботи осіб, які приймають рішення.

Вчені з різних галузей використовували методи прийняття рішень за багатьма критеріями для вирішення проблем прийняття рішень. Наприклад, посилення [8] застосувало процес аналітичної ієрархії (АНР) для покращення показників сектору громадського транспорту шляхом підвищення продуктивності регіональних міських операторів. Автор [9] використовував процес аналітичної ієрархії для вирішення проблем системи міського громадського транспорту в країні, що розвивається. У той же час, у роботі [10] застосовано метод Дельфі, метод мережі агенцій міжнародного та національного рівнів, які прагнуть спільного міжгалузевого підходу до вирішення глобальної кризи забруднення та її наслідків для здоров'я та економіки (GANP), метод обчислення потоків (PROMETHEE) для оцінки систем громадського транспорту в місті Тегеран, в роботі [11] переглянуто підхід PROMETHEE в секторі громадського транспорту, в роботі [12] об'єднано процес аналітичної ієрархії (АНР) та інтерпретативне структурне моделювання (ISM) для внесення змін до переваг пасажирів та експертних знань про транспортні системи. В роботі [13] побудовано гібридний метод інтеграції прогнозів попиту для застосування його в автомобільній промисловості. В роботі [14] використана оптимальність Парето з процесом аналітичної ієрархії (АНР) при розробці послуг громадського транспорту. В роботі [15]

використаний процес аналітичної ієрахії для вибору постачальників телекомунікаційної системи. В роботі [16] запропоновано нову методику прийняття рішень за багатьма критеріями для оцінки якості пропозиції громадського транспорту. В роботі [17] застосовано процес аналітичної ієрахії разом з методом найбільшого-найменшого для оцінки факторів поведінки водіїв. У той час як різні дослідники [18, 19] намагаються вплинути на рішення, використовуючи політичні моделі та симуляційні дослідження.

Багатокритеріальні методи прийняття рішень стали популярними для вирішення та підтримки проблем прийняття рішень у сфері транспорту. Наприклад, [20] застосував гібридний підхід, заснований на процесі аналітичної ієрахії (АНР) і теорії Демпстера Шафера, для оцінки впливу екологічно чистих транспортних заходів. [21] використовував підхід прийняття рішень за багатьма критеріями для вибору стійкої транспортної системи. В роботі [22] розроблено політику сталого транспорту з використанням підходу АНР, протестувавши кілька транспортних політик і стратегій. В роботі [23] використана теорія прийняття рішень за багатьма критеріями та ІРА у секторі перевалки для оцінки якості міжнародного порту. В роботі [24] використане нечітке прийняття рішень за багатьма критеріями для оцінки якості обслуговування в аеропортах.

Комерційною, політичною та культурною столицею є місто яке досліджується. Вона розташована в стратегічному регіоні Близького Сходу. Тут проживає 4 мільйони людей, дана країна є однією з країн з найбільшою кількістю біженців [25]. Така гуманітарна поведінка має значні наслідки для міста яке досліджується, особливо для інфраструктурних компонентів в місті яке досліджується, а саме для сектору громадського транспорту, через неготовність прийняти велику кількість біженців. Тому потрібна надійна, стійка транспортна система.

Дорожній рух та громадський транспорт стали головною проблемою для громадян. Покращення економічного становища міста необхідне для мінімізації фінансового навантаження шляхом покращення та інвестування в сектор громадського транспорту. Отже, економічна криза позитивно зміниться. Наприклад, доступ до ринку праці та ділового району сприятиме збільшенню доходів робітників та продуктивності бізнесу [26]. Інвестиції в сектор громадського транспорту змусять більше туристів відвідати дану країну, що прямо та опосередковано відобразиться на економіці країни (шляхом створення нових робочих місць) [27]. Дослідники вивчають дорожній рух, щоб покращити життя громадян, мінімізувати затори та знизити рівень аварійності [28]. Країна має величезні людські, економічні втрати, соціальні та емоційні негативні наслідки. Відповідно, покращення системи громадського транспорту покращить трафік у місті. Наприклад, в роботі [29] проведені дослідження над витратами на проїзд і тимчасовими затримками для громадського транспорту. На противагу цьому, уряд вжив заходів для реалізації Плану сталої міської мобільності (SUM) для міста місті яке досліджується, щоб мати стратегічний план мобільності міста [30] та побудувати проект швидкісного автобусного транспорту (BRT) для покращення громадського транспорту в столиці. В роботі [31] представлена нова інтегрована модель для підтримки особи, яка приймає рішення, щодо покращення громадського автобусного транспорту в місті за допомогою інтегрованої моделі АНР-BWM.

2. Постановка задач дослідження

2.1. Основні характеристики нечітко-ієрархічного аналітичного процесу

Підхід нечітко-ієрархічного аналітичного процесу широко застосовувався науковцями та фахівцями в багатьох галузях і проблемах, головним чином в інженерних галузях, таких як транспортне машинобудування [32,33].

Це дослідження підкреслює та ранжує в місті яке досліджується критерії якості громадського транспорту, визначені підходом нечітко-ієрархічний аналітичний процес. В результаті, метод нечітко-ієрархічного аналітичного процесу був використаний для розмиття ієрархічного аналізу, дозволивши нечіткі числа для попарних порівнянь оцінювачів (P.C.s.). В результаті дерево ієрархії повинно встановити основний критерій серед чотирьох основних критеріїв і двадцяти чотирьох підкритеріїв. Після збору даних для агрегування відповідей оцінювачів було використано підхід геометричного середнього, а підсумкові бали були обчислені та пріоритезовані. Було проведено перевірку узгодженості, щоб переконатися в якості та достовірності зібраних даних. Математичні позначення для оцінки нечітко-ієрархічний аналітичний процес були використані з роботи [34]. Автор застосував прийом нечіткої логіки у згаданій роботі, розробивши розвідувальну зйомку з нечіткими трикутними масштабами. Наступні формули є простими застосуваннями в нашому дослідженні для новоствореної інтегративної моделі прийняття рішень. Вони детально знайомлять з формулами, щоб дати уявлення про обчислювальний процес.

Нечітке число \tilde{T} на \mathbb{R} є трикутним нечітким числом, якщо його функція приналежності $\mu_{\tilde{T}}(x): \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$ дорівнює формулі (1):

$$\mu_{\tilde{T}}(x) = \begin{cases} \frac{x-s}{m-s}, & s \leq x \leq m \\ \frac{r-x}{r-m}, & m \leq x \leq r \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (1)$$

Інакше, з рівняння (1), d і u визначити нижню і верхню межі нечіткого числа \tilde{T} і m є модальним значенням для \tilde{T} (див. Малюнок 1). Нечітке трикутне число може бути виставлене за формулою $\tilde{T}=(C, M, P)$.

Діючи закони трикутного нечіткого числа $\tilde{T}_1=(s_1, m_1, r_1)$ і $\tilde{T}_2=(s_2, m_2, r_2)$ — це послідовні формули, такі як додавання (2), множення (3), ділення (4) і зворотне (5) нечітких чисел.

У нашій процедурі були застосовані всі формули.

Агрегація \tilde{T}_1 а нд \tilde{T}_2 знаходиться в рівнянні (2):

$$\tilde{T}_1 \oplus \tilde{T}_2 = (s_1 + s_2, m_1 + m_2, r_1 + r_2) \quad (2)$$

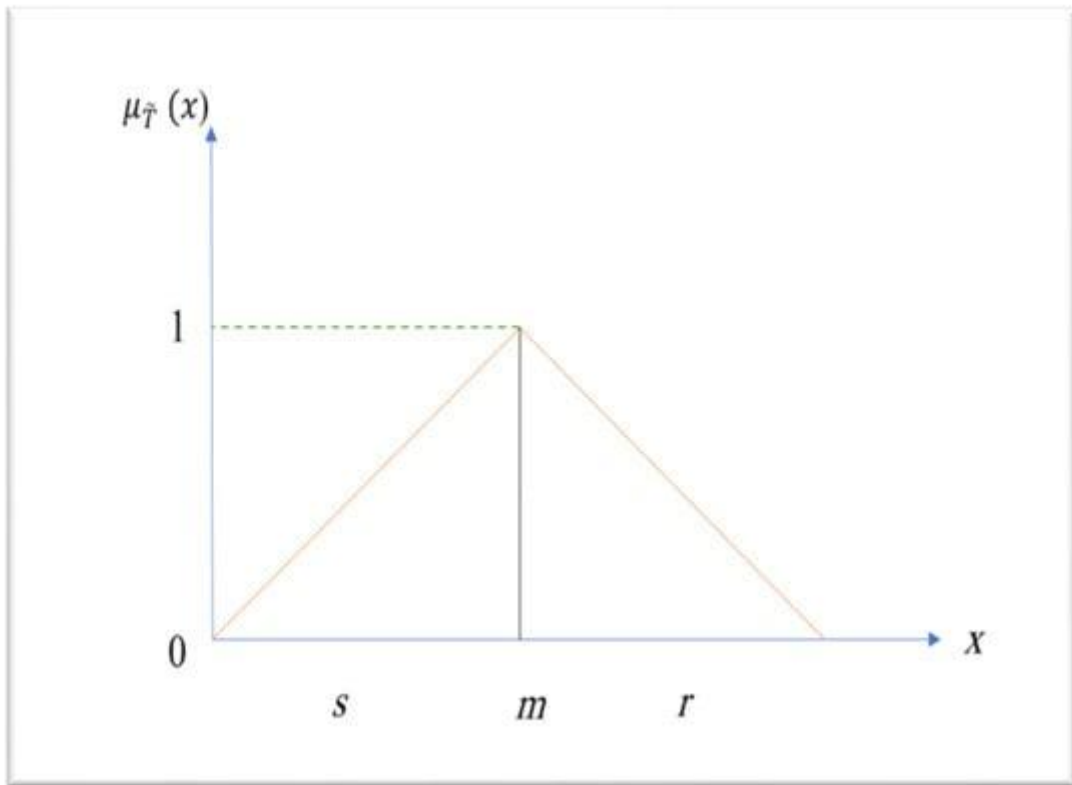
Множення \tilde{T}_1 а нд \tilde{T}_2 знаходиться в рівнянні (3):

$$\tilde{T}_1 \otimes \tilde{T}_2 = (s_1 s_2, m_1 m_2, r_1 r_2) \text{ or } s_1, s_2 > 0; m_1, m_2 > 0; r_1 r_2 > 0 \quad (3)$$

Розподіл нечіткого числа \emptyset показано в наступному рівнянні:

$$\tilde{T}_1 \oslash \tilde{T}_2 = (s_1/r_2, m_1/m_2, r_1/s_2) \text{ or } s_1, s_2 > 0; m_1, m_2 > 0; r_1 r_2 > 0 \quad (4)$$

Величина, обернена до нечіткого числа, показана в наступному рівнянні:



Малюнок 1. Функції приналежності трикутного нечіткого числа [41].

$$\tilde{T}^{-1}=(s_1, m_1, r_1)^{-1}=(1/r_1, 1/m_1, 1/s_1) \text{ for } s_1, s_2>0; m_1, m_2>0; r_1 r_2>0 \quad (5)$$

У поточному дослідженні обчислювальна техніка базувалася на послідовних нечітких числах, визначених Гумусом [35] і Сонцем [34].

На малюнку 2 представлені елементи якості послуг громадського транспорту. Враховуючи, що вищі зв'язки елементів рішення є ієрархічними, а залежностей між атрибутами дуже мало. Базова ієрархічна структура дозволила застосувати ФАГП. При побудові опитувальника була дотримана методологія нечітко-ієрархічної аналітичної процесу. Для першого рівня були поставлені питання: Порівняйте важливість поліпшення для критерію доступності і прямолінійності і так далі для всіх можливих пар. Отже, для другого рівня була дотримана та ж процедура. Така ж анкета була представлена всім зацікавленим сторонам (пасажиром, непасажиром і муніципальним службовцям).

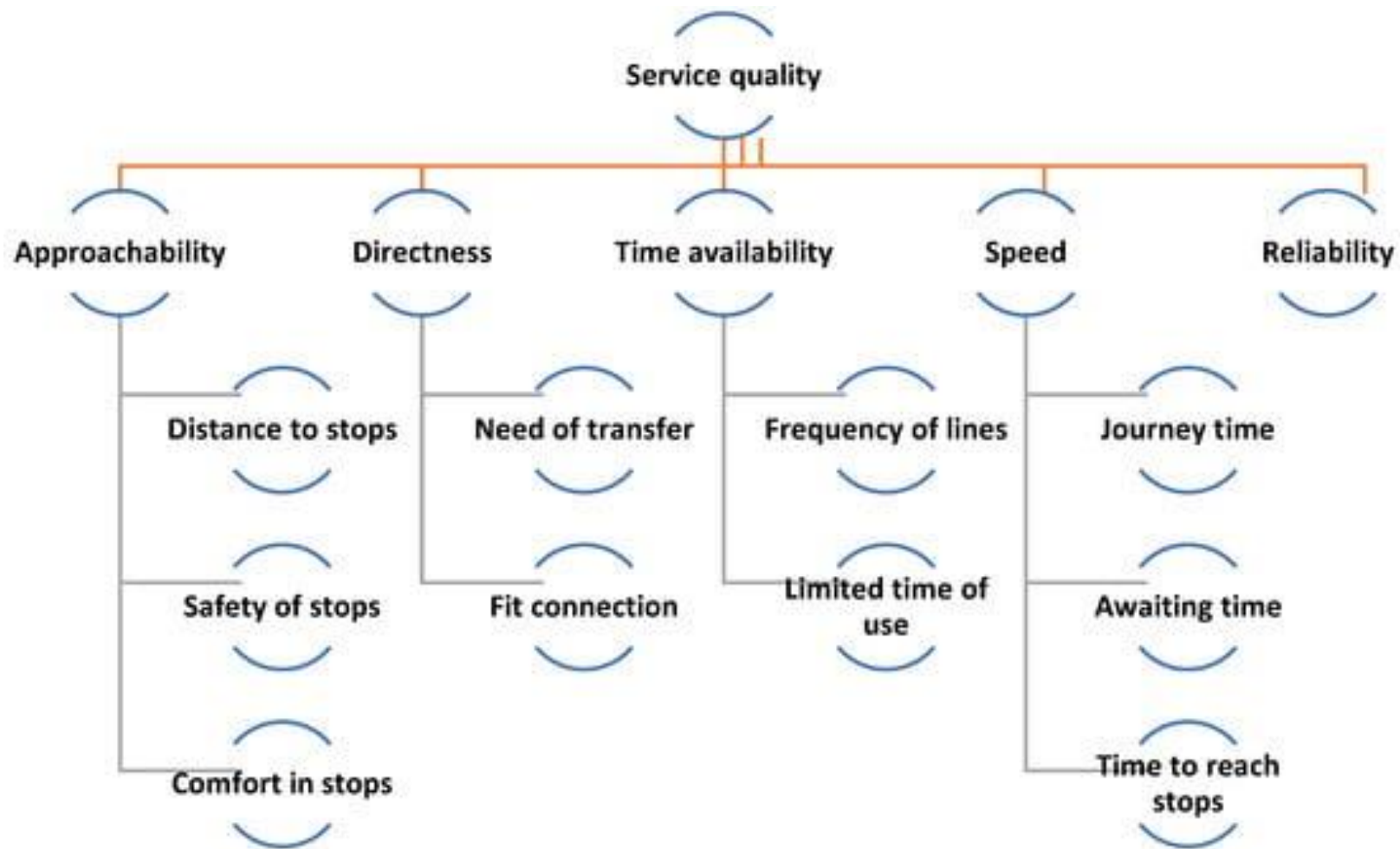
Пасажири: Мандрівник або потенційний мандрівник користується громадськими автобусами щодня, щотижня або щомісяця.

Непасажирі: люди, які використовують свої приватні автомобілі для пересування, але потенційні пасажирі в майбутньому.

Муніципальні службовці: Представники муніципалітету в департаменті транспорту.

Кількість учасників цього опитування становила 50 пасажирів, 30 непасажирів та 10 муніципальних службовців.

У таблиці 1 наведені числа з нечіткою шкалою та їх визначення для кожної групи. Використані матриці Р.С. були сформовані на основі ієрархічної структури критеріїв, як показано на рисунку 1. Лінгвістичні терміни були виділені ПК з питанням, які критерії є більш цінними, ніж інші, що стосуються основної мети.



Малюнок 2. Ієрархічна модель якості обслуговування [41].

$$\tilde{T} = \tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \tilde{a}_{13} & \tilde{a}_{14} & \tilde{a}_{15} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \tilde{a}_{23} & \tilde{a}_{24} & \tilde{a}_{25} \\ \tilde{a}_{31} & \tilde{a}_{32} & 1 & \tilde{a}_{34} & \tilde{a}_{35} \\ \tilde{a}_{41} & \tilde{a}_{42} & \tilde{a}_{43} & 1 & \tilde{a}_{45} \\ \tilde{a}_{51} & \tilde{a}_{52} & \tilde{a}_{53} & \tilde{a}_{54} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \tilde{a}_{13} & \tilde{a}_{14} & \tilde{a}_{15} \\ 1/\tilde{a}_{12} & 1 & \tilde{a}_{23} & \tilde{a}_{24} & \tilde{a}_{25} \\ 1/\tilde{a}_{13} & 1/\tilde{a}_{23} & 1 & \tilde{a}_{34} & \tilde{a}_{35} \\ 1/\tilde{a}_{14} & 1/\tilde{a}_{24} & 1/\tilde{a}_{34} & 1 & \tilde{a}_{45} \\ 1/\tilde{a}_{15} & 1/\tilde{a}_{25} & 1/\tilde{a}_{35} & 1/\tilde{a}_{45} & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Як

де

$$\tilde{a}_{ij} = \begin{cases} \tilde{9}^{-1}, \tilde{8}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{6}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{4}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{2}^{-1}, \tilde{1}, \tilde{2}, \tilde{3}, \tilde{4}, \tilde{5}, \tilde{6}, \tilde{7}, \tilde{8}, \tilde{9}, 1, i \neq j \\ i = j \end{cases}$$

Таблиця 1. Лінгвістична шкала шкали нечітких чисел.

№	Лінгвістична шкала	Цифрова шкала
9	Ідеально	(8, 9, 10)
8	Абсолютно	(7, 8, 9)
7	Дуже добре	(6, 7, 8)
6	Досить добре	(5, 6, 7)
5	Добре	(4, 5, 6)
4	Бажано	(3, 4, 5)
3	Непогано	(2, 3, 4)
2	Слабко важливий	(1, 2, 3)
1	Не важливий	(1, 1, 1)

Для накопичення нечітких середніх геометричних значень для кожної групи оцінювачів було реалізовано техніку нечіткого геометричного значення [36].

$$\tilde{r}_i = \left(\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \otimes \tilde{a}_{i3} \otimes \tilde{a}_{i4} \otimes \tilde{a}_{i5} \right)^{1/n}. \quad (7)$$

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i [\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \tilde{r}_3 \oplus \tilde{r}_4 \oplus \tilde{r}_5]^{-1}. \quad (8)$$

де \tilde{a}_{ij} - нечітким порівняльним значенням розмірності i до критерію j , таким чином, \tilde{r}_i Це Г.М. методика нечіткого порівняння значення критерію i до кожного критерію.

\tilde{w}_i - нечітка вага i -го критерію, який ілюструється трикутним нечітким числом, $\tilde{w}_i = (lw_i, mw_i, hw_i)$. Об'єкт lw_i , mw_i , і hw_i характеризують верхнє, середнє та нижнє значення нечіткої ваги i -го розміру.

Коефіцієнт узгодженості для всіх матриць попарного порівняння (Р.С.) був меншим за 0,1, що є прийнятним для завершення нечіткого аналізу АНР, як припустив Сааті [37]. Підсумкові бали власних векторів дають можливість встановити ранговий порядок переваг учасників громадського автобусного транспорту з питань системи, також враховуючи вагові бали попередніх рівнів, використовуючи наступне рівняння:

$$\tilde{w}_{A_i} = \frac{\tilde{w}_j}{\tilde{w}} \frac{\tilde{w}_{ij}}{\sum_{k=1}^n \tilde{w}_{ik}} = \left(\frac{\tilde{w}_j}{\tilde{w}} \frac{1}{\sum_{k=1}^n \tilde{w}_{ik}} \right) \tilde{w}_{ij}. \quad (9)$$

де $j = 1, \dots, m$ і $\tilde{w} = \sum_{l=1}^m \tilde{w}_l$;

$\tilde{w}_j > 0$ ($j = 1, \dots, m$) являє собою відповідну координату ваги з попереднього рівня.

$\tilde{w}_{ij} > 0$ ($i = 1, \dots, n$) - власний вектор, обчислений з матриці на поточному рівні.

\tilde{w}_{Ai} ($i = 1, \dots, n$) - обчислена вагова оцінка елементів поточного рівня.

2.2. Характеристики конкордансу Кендалла

Як зазначалося раніше, метою цього проведеного дослідження був збір балів переваг, пов'язаних із розвитком громадського автобусного транспорту, та аналіз відмінностей між думками трьох видатних зацікавлених сторін оцінювання. Ці точки зору виражаються раніше представленими w_{Ai} . Підсумкові бали (9) здобули в групі з розумом. Однак слід підкреслити, що для таких випадків, коли в процесі оцінювання можуть бути розділені гармонійні групи з різними інтересами, експертизою і т.п., Рівняння агрегації (5) може бути застосовано тільки в межах однорідної групи, але не між групами. Наприклад, у випадку місті яке досліджується, три майже однорідні групи:

Пасажири, не пасажири та представники муніципальних службовців можуть бути розділені. Потім рівняння (5) було розумно застосовано до груп. Таким чином, застосування нечітко-ієрархічного аналітичного процесу може продемонструвати переваги кожної групи: можна отримати чотири різні рейтинги елементів якості постачання, які відображають оцінки важливості кожної групи, яка приймає рішення, пов'язаної з необхідністю розробки елементів системи громадського транспорту. Нарешті, для оцінки ступеня згоди або ступеня узгодження між пасажирами, непасажирами і муніципальними службовцями був застосований коефіцієнт конкордантності Кендалла (W) [38]. Це непараметричний метод для трьох або більше різних ранжувань, який

$$R_i = \sum_{j=1}^m r_{ij}$$

можна застосувати для оцінки узгодження між кількома залученими групами.

(10)

де R_i сумарний агрегований рейтинг за кожним критерієм i, r_{ij} . Ранг, присвоєний критерію i групою учасників j, m - кількість рейтингових груп рейтингу n факторів.

$$R_i = \frac{m(n+1)}{2} \quad (11)$$

$$S = \sum_{j=1}^n (R_i - R)^2 \quad (12)$$

де S — статистичне відхилення суми квадратів над сумами рядків ранжування R_j а R - середнє значення R_i . Після цього статистика « W » Кендалла знаходиться від одиниці до нуля, і її можна отримати з формули:

$$W = \frac{1 - \frac{2S}{m^2(n^3 - n)}}{2} \quad (13)$$

Після застосування формули результатом буде число, яке визначає ступінь узгодження між різними групами, як показано в таблиці 2.

Таблиця 2. Шкала ступеня угоди Кендалла W .

W	Інтерпретація
0	Немає згоди
0,10	Слабка згода
0,30	Помірна згода
0,60	Повна згода

1	Ідеальна згода
---	----------------

3. Результати дослідження

Таблиця 3 та рисунки 3, 4 демонструють переваги стейкхолдерів щодо рівня 1. Чітко видно, що групи пасажирів та посадових осіб погоджуються з тим, що критерій «Швидкість» має бути на першому місці серед покращень. У той час як у тих, хто не є пасажирями, критерій «Доступність часу» в першу чергу підлягав покращенню, зацікавлені сторони мають різні переваги на рівні 1, що, безсумнівно, впливає на рейтинг і оцінку рівня 2. Відповідно, збільшення кількості автобусів для кожного маршруту дозволить підвищити швидкість і задовольнити пасажирів і муніципальних службовців, а також компенсувати збитки, завдані зменшенням кількості пасажирів за одну поїздку під час пандемії. Крім того, окремі смуги для громадських автобусів зменшать час очікування. Однак «Доступність часу» стала на першу позицію з точки зору непасажирської групи за важливістю. Відповідно, збільшення годин роботи покращило б роботу громадського транспорту в місті. Цікаво, що пріоритети для стейкхолдерів, які потрібно поставити на перший рівень, змінилися під час пандемії. Наприклад, у наших попередніх дослідженнях у 2019, 2020 роках відповідно [9,31] пасажирів насамперед мали атрибут безпеки подорожей, які потрібно покращити. При цьому зараз критерій швидкості є пріоритетним для пасажирів.

Таблиця 4 та рис. 5, 6 демонструють переваги всіх зацікавлених сторін для рівня 2. Критерій «Час у дорозі» є основним критерієм для групи пасажирів, «Частота ліній» є критичним атрибутом, який потребує вдосконалення, виходячи з групи непасажирів. На противагу цьому, атрибут «Обмежений час використання» був предметом занепокоєння муніципальних чиновників. Оскільки на першому рівні між особами, які приймають рішення, немає узгодженого рішення, на рівні 2 очікуються різні
преференції.

Таблиця 3. Остаточна оцінка ваги зацікавлених сторін для рівня 1.

Критерії	Пасажири, кінцева вага	Пасажири, ранг	Непасажири, кінцева вага	Непасажири, ранг	Муніципальні чиновники, кінцева вага	Муніципальні чиновники, ранг
Доступність	0,0628	5	0,0775	5	0,0628	5
Безпосередність	0,0980	4	0,1032	4	0,0980	4
Час доступності	0,3102	2	0,3624	1	0,3102	2
Швидкість	0,3661	1	0,2976	2	0,3661	1
Надійність	0,1629	3	0,1593	3	0,1629	3

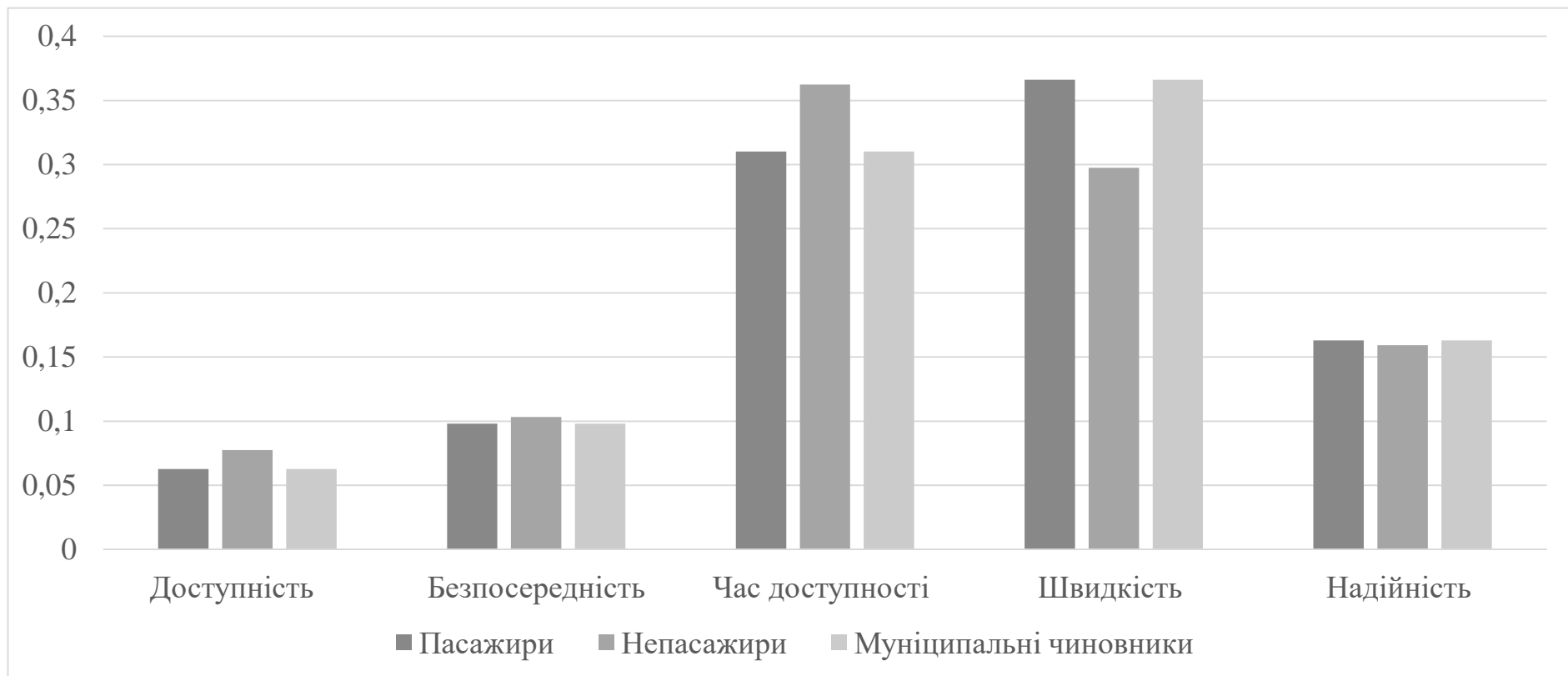


Рис. 3. Кінцева вага по кожному критерію остаточної оцінки зацікавлених сторін для рівня 1

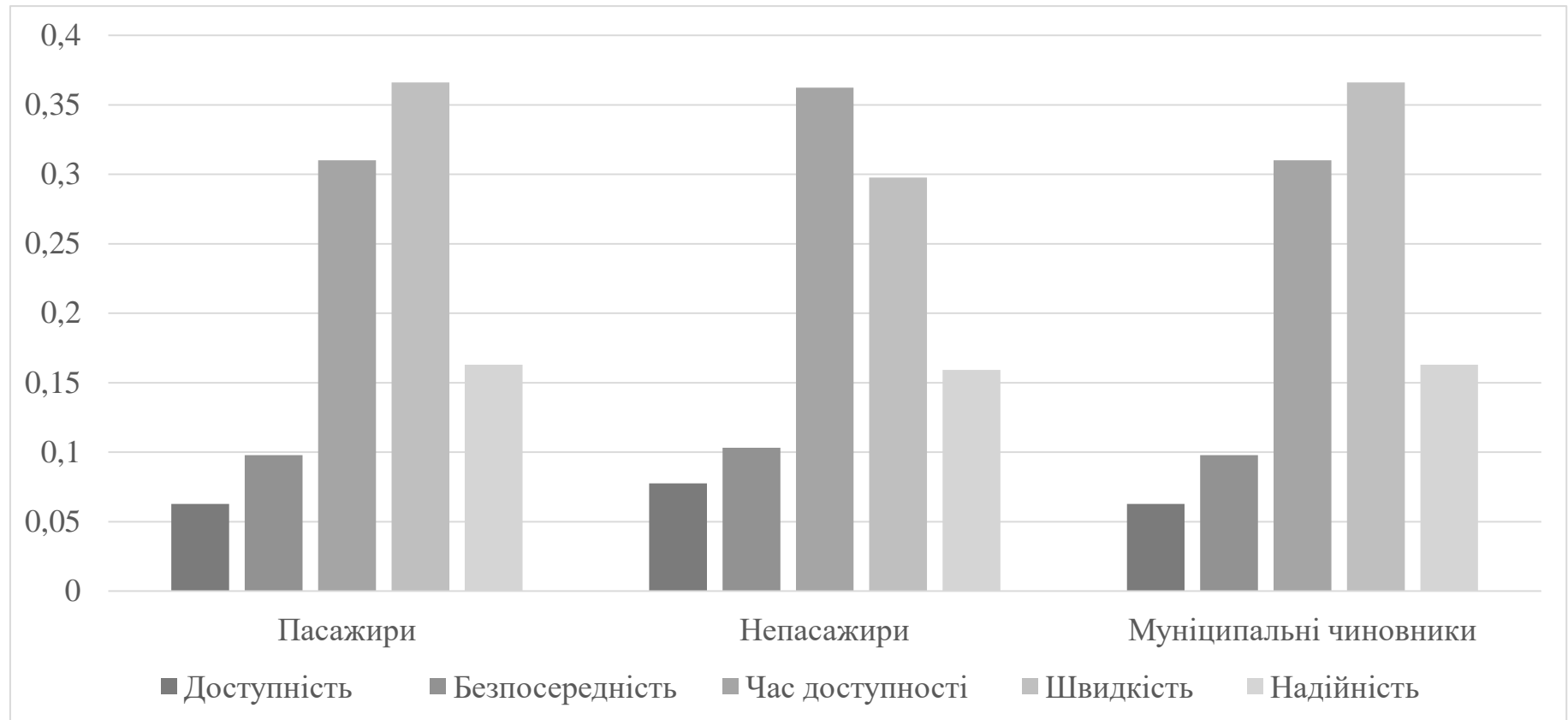


Рис. 4. Кінцева вага по групам остаточної оцінки зацікавлених сторін для рівня 1

Таблиця 4. Підсумкова оцінка ваги зацікавлених сторін для 2-го рівня.

Критерії	Пасажири, кінцева вага	Пасажири, ранг	Непасажири, кінцева вага	Непасажири, ранг	Муніципальні чиновники, кінцева вага	Муніципальні чиновники, ранг
Відстань до зупинки	0,0315	8	0,0377	8	0,0261	8
Безпека зупинок	0,0183	9	0,0228	9	0,0175	9
Комфортність зупинок	0,0130	10	0,0170	10	0,0192	10
Час у дорозі	0,1831	1	0,1473	3	0,1431	2
Час очікування	0,0631	5	0,0471	6	0,1086	5
Час до зупинки	0,1199	4	0,1033	4	0,1145	3
Потреба в переказі	0,0595	6	0,0632	5	0,0581	6
Під'єднання	0,0385	7	0,0400	7	0,0399	7
Частота ліній	0,1786	2	0,2039	1	0,1145	4
Обмежений час використання	0,1316	3	0,1585	2	0,1958	1

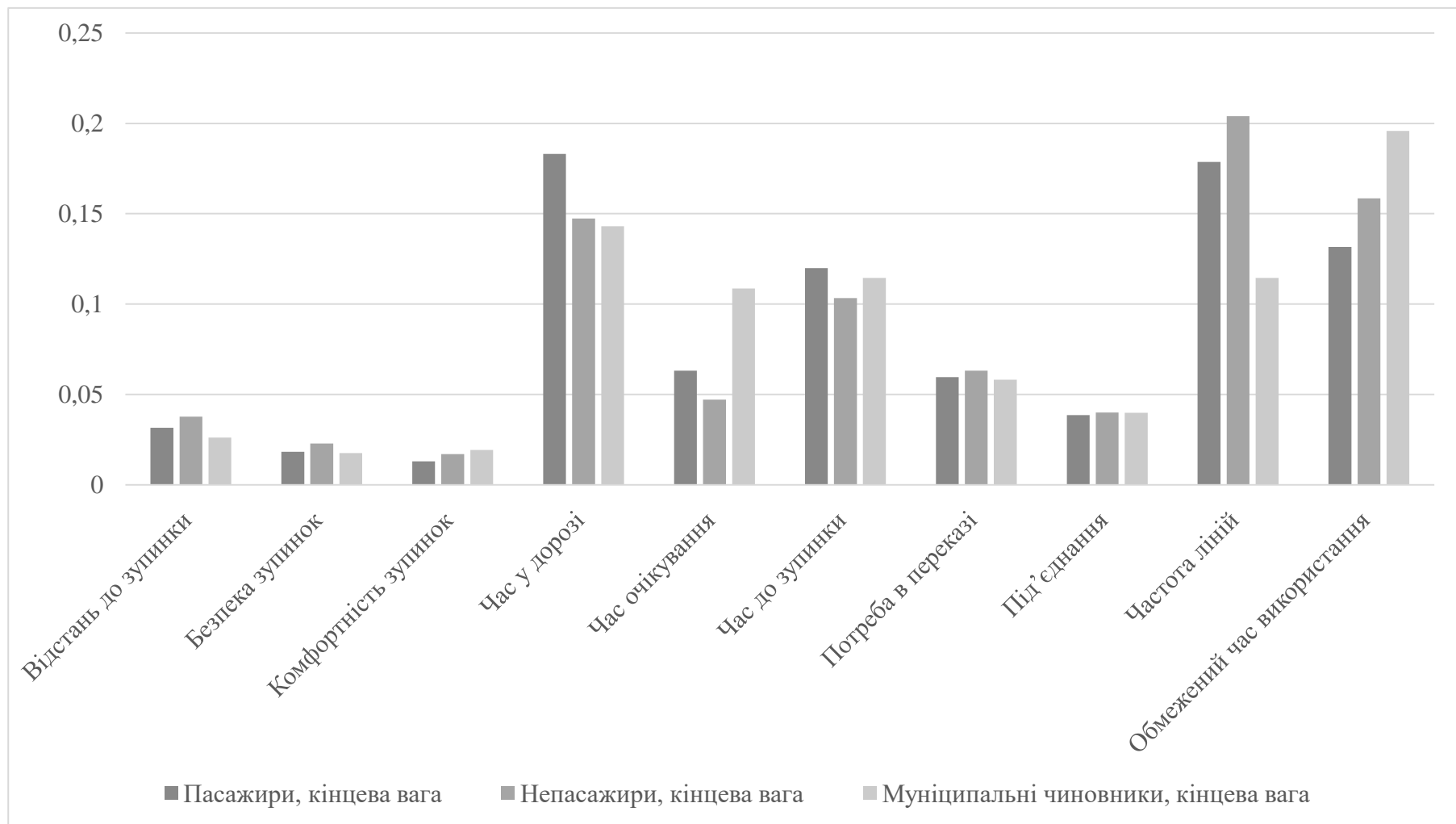


Рис. 5. Кінцева вага по кожному критерію остаточної оцінки зацікавлених сторін для рівня 2

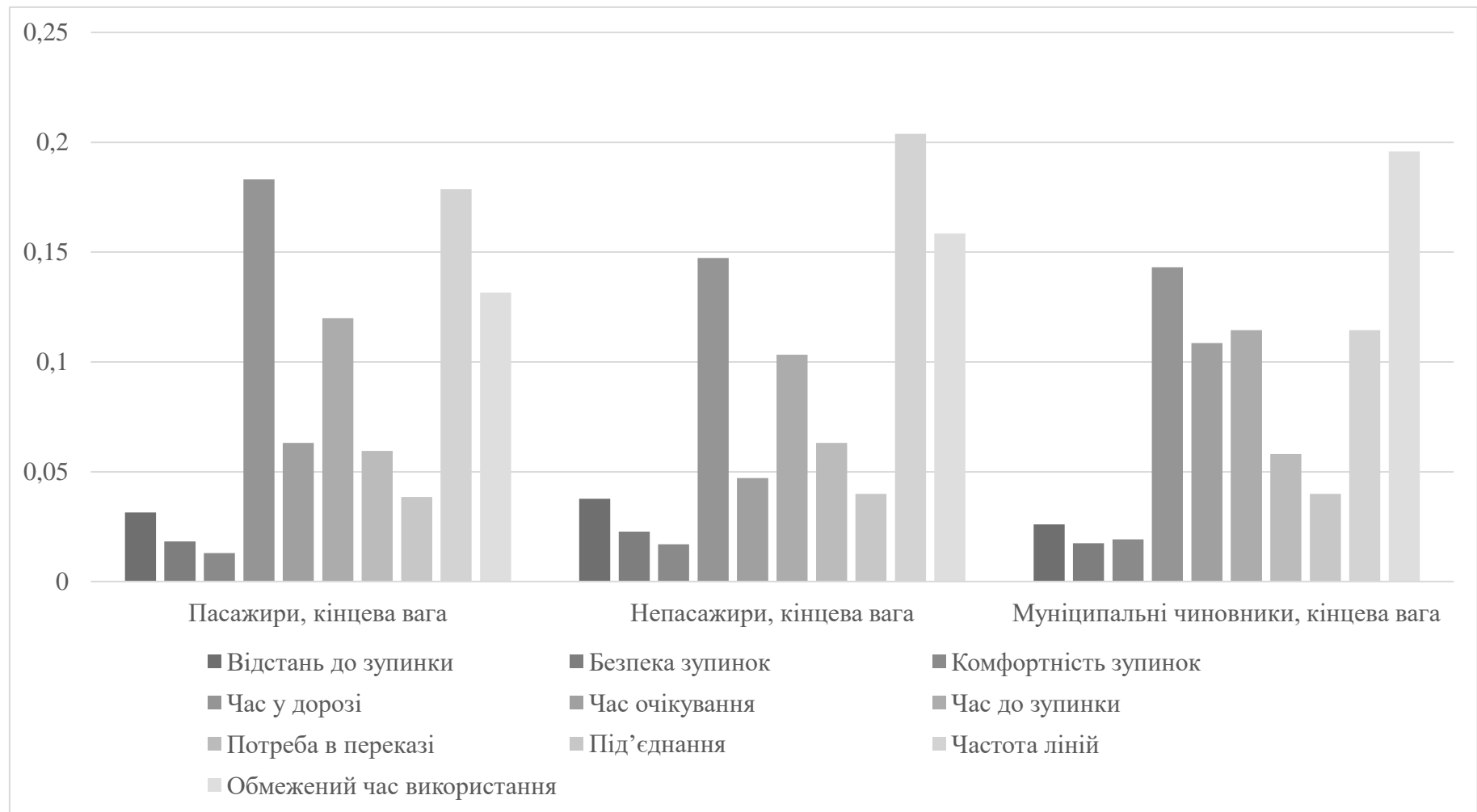


Рис. 6. Кінцева вага по групам остаточної оцінки зацікавлених сторін для рівня 2

Тим не менш, у той же час, це добре для проведення стратегічного генерального плану дорожнього руху для міста, включаючи пріоритетні атрибути, які потребують розвитку та вдосконалення, щоб працювати над ним на ранній стадії, а не працювати без чітких базових показників. Нові правила та обмеження, пов'язані з COVID-19, змінили пріоритети для муніципальних службовців, наприклад, у дослідженні 2020 року [31]. Їхня увага була зосереджена на вдосконаленні критерію придатності з'єднання, тоді як тепер вони зацікавлені в тому, щоб покращити атрибут обмеженого часу використання, оскільки пандемія вплинула на цей критерій.

Як видно з таблиці 3 і таблиці 4, існує значна різниця між різними групами оцінювачів. Коефіцієнт конкордантності Кендалла (W) був проведений для виявлення ступеня згоди між різними групами оцінювачів (пасажирами, непасажирами та муніципальними службовцями). Виходячи з таблиці 5, на першому рівні існувала «сильна згода» між іншими групами оцінювачів.

На рівні 2 (табл. 6) коефіцієнт конкордантності Кендалла (W) також вказує на те, що згода між різними групами оцінювачів є сильною відповідно до інтервалів, наведених у таблиці 6. Рейтинговий аналіз виявив різні думки щодо необхідних елементів, які необхідно розробити для однієї і тієї ж системи громадського автобусного транспорту. Це може бути витлумачено через різні інтереси та мотивацію груп (переважно між пасажирами з максимальним збільшенням парку автобусів та представниками муніципалітету з мінімізацією загального бюджету) або недостатнім досвідом чи інформацією для сторони.

Відповідно, це дослідження виявило сильну згоду та пріоритет серед зацікавлених сторін; На відміну від попередніх досліджень [9,16,31], пандемія могла змінити пріоритети для стейкхолдерів.

Таблиця 5. Коефіцієнт конкордантності *Кендалла* (W) для рівня 1.

Критерії	Пасажири, ранг	Непасажири, ранг	Муніципальні чиновники, ранг	R_i	$(R_i - R)^2$
Доступність	5	5	5	15	36
Прямість	4	4	4	12	9
Доступність часу	2	1	2	5	16
Швидкість	1	2	1	4	25
Надійність	3	3	3	9	0

Таблиця 6. Коефіцієнт конкордантності Кендалла (W) для рівня 2.

Критерії	Пасажири, ранг	Непасажири, ранг	Муніципальні чиновники, ранг	R_i	$(R_i - R)^2$
Відстань до зупинки	8	8	8	24	5.06
Комфортність зупинок	10	10	10	30	
Безпека зупинок	9	9	9	27	27.56
Час у дорозі	6	5	6	17	22.56
Час очікування	7	7	7	21	0.5625
Час до зупинки	2	1	4	7	217.56
Потреба в переказі	3	2	1	6	248.06
Під'єднання	1	3	2	6	248.06
Частота ліній	5	6	6	14	33.06
Обмежений час використання	4	4	3	11	115.56
N=10	M=3	S=710.5	R=21.75	W=0.9565	

4. Висновки

На основі отриманих результатів можна очікувати, що розрахунок Кендалла довів різницю між думками стейкхолдерів про громадський транспорт. Слід підкреслити, що один тільки нечітко-ієрархічний аналітичний процес виявив значні переваги користувачів. Крім того, застосування методу Кендалла продемонструвало, що підхід Кендалла може розпізнати сильний зв'язок між трьома групами для обох рівнів. При цьому учасники оцінювали своє сприйняття в одних і тих же опитувальниках. Таким чином, можна стверджувати, що у своїй майбутній транспортній стратегії особи, які приймають рішення в Департаменті транспорту муніципалітету місті яке досліджується, повинні поділитися своїми думками з громадськістю.

В цілому, нечітко-ієрархічний аналітичний процес, змінений аналізом Кендалла і груповою координацією, виявився належним методом оцінки попиту учасників транспорту на вдосконалення системи. Однак замість автоматичного загального агрегування рекомендується чітке розмежування між пасажирами, непасажирськими громадянами та муніципальними службовцями для отримання більш складних результатів через різну мотивацію та досвід у розвитку системи. У цих умовах настійно рекомендується застосовувати метод Кендалла та нечітко-ієрархічний аналітичний процес для аналізу відстані між різними аспектами зацікавлених сторін.

Як зауваження для подальших досліджень, методи оптимізації можуть бути обрані для створення згоди між різними групами на об'єктивній основі та отримання остаточного рейтингу переваг факторів розвитку, що містять усі аспекти. Успішна заявка може призвести до створення належної системи оцінки для тендерних транспортних проектів,

в якій інтегровані технічні міркування щодо вартості та характеристики нинішніх і майбутніх пасажирів.

Дане дослідження має кілька недоліків. По-перше, обсяг вибірки був невеликим. По-друге, у нас було лише шість автостанцій через обмеження руху, які не виправдали наших очікувань. Відповідно, результати не обов'язково могли поширюватися на все місто з цієї обмеженої території. По-третє, більшість результатів були зумовлені обов'язковими змінами. Урядові обмеження спричинили багато змін у мобільності, і для йорданців вони не були варіантом. По-четверте, важко порівнювати результати з іншими країнами зі схожими або відмінними ознаками пандемії, оскільки їхній вплив невідомий. Це дослідження, тим не менш, сприяє вивченню мобільності.

Аналіз результаті досліджень у місті яке досліджується, показує, що місто має стратегічне розташування. На противагу цьому, це місце потрібно більше використовувати для залучення бізнесу та підприємців шляхом покращення мережі громадського транспорту, необхідних удосконалень на рівні законодавства та нормативних актів, а також на рівні транспортної мережі. Прагнення вдосконалити всю систему позитивно вплине на економічне становище міста. Наприклад, туризм буде зростати, якщо у вас є надійна транспортна система, щоб не мати проблем з пересуванням по місту, не будучи обдуреним приватними автомобільними компаніями [39]. З іншого боку, доступ до ринків і робочих місць буде комфортнішим і плавнішим без будь-яких заторів. Відповідно, роботодавці та працівники виграють від транспортної мережі. Складні рішення, які необхідно прийняти для успішної системи, включають фізичну мережу, а також законодавство та закони, що регулюють весь транспортний процес [40]. У цьому документі зроблена спроба продемонструвати новий підхід до прийняття рішень, який був запропонований для підтримки осіб, які приймають рішення, зробити правильний вибір, пов'язаний з

удосконаленням транспортної мережі. В місті яке досліджується є лише система громадських автобусів, і дослідження охопить систему громадського транспорту та зрозуміє її основну проблему.

Список використаних джерел

1. Мослем, С.; Кампісі, Т.; Шмельтер-Ярош, А.; Дулеба С.; Нахїдуззаман, К.; Тесор'єр, Г. Найкращий–гірший метод моделювання Вибір мобільності після COVID-19: докази з Італії. Сталий розвиток 2020, 12, 6824.
2. Дулеба С.; Мішина Т.; Shimazaki, Y. Динамічний аналіз якості постачання громадського автобусного транспорту за допомогою аhp. Транспорт 2012, 27, 268–275.
3. Пен С.-Х. Оцінка ландшафту для робіт з регулювання водотоку на вододілі за допомогою аналітичного мережевого процесу (ANP). Sustainability 2019, 11, 1540.
4. Рїзаї, Д. Найкращий-найгірший багатокритеріальний метод прийняття рішень. Омега 2015, 53, 49–57.
5. Рашид, Р.; Джавед, Х.; Рїзван, А.; Ясар, А.; Табїнда, А.Б.; Махфуз, Ю.; Ван, Ю.; Су, Ю. Стійкість і потенціал МЧР аналіз нових та традиційних біоенергетичних проектів у Південній Азії за допомогою багатокритеріального методу прийняття рішень. Навколишнє середовище. Наука. забруднення. тез. 2020, 27, 23081–23093.
6. Мустайокї, Дж.; Хамалайнен, Р.П.; Сало, А. Підтримка прийняття рішень за інтервалом SMART/SWING-включення неточності в SMART і методи SWING. Децис. Sci. 2005, 36, 317–339.
7. Мохаммаді, М.; Резаї, Дж. Байєсівський найкращий-гірший метод: імовірнісна модель групового прийняття рішень. Омега 2020, 96, 102075.
8. Буджелбене, І.; Дербель, А. Аналіз ефективності роботи операторів громадського транспорту в Тунїсі за допомогою методу АНР. Процедура обчис. Sci. 2015, 73, 498–508.

9. Альхарабше, А.; Мослем, С.; Дулеба С. Оцінка попиту пасажирів на розвиток міської транспортної системи. Модель АНР із застосуванням Аммана в реальному світі. *апл. Sci.* 2019, 9, 4759.

10. Нассереддін, М.; Ескандарі, Х. Інтегрований підхід MCDM для оцінки систем громадського транспорту в Тегерані. *Трансп. рез. Частина А Політична практика.* 2017, 106, 427–439.

11. Убахман, Л.; Дулеба С. Огляд методу Promethee в транспорті. *Виробник інж. Арк.* 2021, 27, 69–74.

12. Дулеба, С. Підхід ahp-ism для врахування громадських уподобань у рішенні щодо розвитку громадського транспорту. *Транспорт* 2019, 34, 662–671.

13. Сале-Фієрро, Т.Е.; Сауседо-Мартінес, Х.А.; Родрігес-Агілар, Р.; Вела-Харо, Дж. М. Прогнозування попиту за допомогою програмного обчислення Підхід: практичне дослідження автомобільної промисловості. *апл. Sci.* 2020, 10, 829.

14. Дулеба С.; Мослем, С. Вивчення оптимальності за Парето в аналітичному процесі ієрархії на реальних даних: застосування в громадському транспорті розвиток сервісу. *Експерт сист. апл.* 2019, 116, 21–30.

15. Чжан Х.; Лі, Х.; Лю, В.; Лі, Б.; Чжан, З. Застосування АНР у виборі постачальника 3PL системи 4PL. У працях 2004 Міжнародна конференція IEEE з систем, людина та кібернетика (IEEE Cat. No. 04CH37583), Гаага, Нідерланди, 10–13 жовтня 2005 р.; Том 2, стор. 1255–1260.

16. Альхарабше, А.; Мослем, С.; Убахман, Л.; Дулеба С. Інтегрований підхід багатокритеріального прийняття рішень і Грей Теорія оцінки систем міського громадського транспорту. *Сталий розвиток* 2021, 13, 2740.

17. Мослем С.; Фарук, Д.; Горбанзаде, О.; Блашке, Т. Застосування моделі АНР-BWM для оцінки поведінки водія. Фактори, пов'язані з безпекою дорожнього руху: практичне дослідження для Будапешта. *Symmetry* 2020, 12, 243.

18. Обейд, М.; Торок, А.; Ортега, Дж. Комплексна модель викидів, що поєднує автономні транспортні засоби з паркуванням і поїздкою та гравила транспортування електромобілів. *Сталий розвиток* 2021, 13, 4653.

19. Обейд, М.; Торок, А. Макроскопічне моделювання руху автономного транспортного засобу. *Транспортні засоби* 2021, 3, 12.

20. Авасті, А.; Чаухан, С. С. Використання АНР і теорії Демпстера-Шейфера для оцінки екологічних транспортних рішень. Навколишнє середовище. Модель. програмне забезпечення 2011, 26, 787–796.

21. Авасті, А.; Чаухан, С.С.; Омрані, Г. Застосування нечіткої системи TOPSIS в оцінці стійких транспортних систем. *Експерт сист. апл.* 2011, 38, 12270–12280.

22. Аль-Атаві, А.М.; Кумар, Р.; Салех, В. Індекс стійкості транспорту для міста Табук у Саудівській Аравії: аналітична ієрархія процес. *Транспорт* 2015, 31, 47–55.

23. Чоу, К.-К.; Дінь, Ж.-Ф. Застосування інтегрованої моделі з MCDM та ІРА для оцінки якості послуг перевантаження порт. *математика Пробл. інж.* 2013, 2013, 656757.

24. Chien-Chang, С. Оцінка якості обслуговування аеропорту за допомогою нечіткого багатокритеріального методу прийняття рішень: практичне дослідження Тайваньські аеропорти. *Експерт сист.* 2011, 29, 246–260.

25. УВКБ ООН. Інформаційний бюлетень ООН. 2012. Доступно в Інтернеті: https://reporting.unhcr.org/sites/default/files/UNHCRJordanFactSheet-November2019_0.pdf

26. Американська асоціація громадського транспорту. Економічний вплив інвестицій у громадський транспорт. 2014. Доступно онлайн:<https://www.apta.com/wp-content/uploads/Resources/resources/reportsandpublications/Documents/Economic-Impact-Public-Transportation-Investment-APTA.pdf>

27. Ле-Клен, Д.-Т.; Холл, С.М. Використання туристами громадського транспорту в місцях призначення—Огляд. *Curr. Выпуски Тур.* 2015, 18, 785–803.

28. Аль-Масайд, Н.Р. Дорожньо-транспортні пригоди в Йорданії. *Джордан Дж. Цив. інж.* 2009, 3, 331–343.

29. Штаят, А.; Абу Альфол, М.; Морідпур, С.; Аль-Хурр, Н.; Магабле, К.; Харахше І. Час очікування пасажирів громадського транспорту в Йорданії: величина та вартість. *Відкрити Transp. J.* 2019, 13, 227–235.

30. Смаді, А.; Менеджмент, Т.; Муніципалітет, Г.А. Тренінг з SUMP: Відгуки з Йорданії. Брест. 2013. Доступно онлайн: <https://civitas.eu/sites/default/files/documents/Jordan-AymanSamdi.pdf>

31. Мослем, С.; Альхарабше, А.; Ісмаїл, К.; Дулеба, С. Інтегрована модель підтримки прийняття рішень для оцінки громадського транспорту якості. *апл. Sci.* 2020, 10, 4158.

32. Фарук Д.; Мослем, С.; Туфаїл, Р.Ф.; Горбанзаде, О.; Дулеба С.; Максум, А.; Блашке, Т. Аналізуючи важливість критерії поведінки водія, пов'язані з безпекою дорожнього руху для різних культур водіння. *Міжн. J. Environ. рез. Громадське здоров'я* 2020, 17, 1893.

33. Мардані, А.; Завадскас, Е.К.; Халіфа, З.; Джусо, А.; Також К.М. Багатокритеріальні методи прийняття рішень у транспорті системи: систематичний огляд сучасної літератури. *Транспорт* 2015, 31, 359–385.

34. Сан, К.-К. Модель оцінки продуктивності шляхом інтеграції нечітких методів АНР і нечіткого TOPSIS. Експерт сист. апл. 2010, 37, 7745–7754.

35. Гумус, А.Т. Оцінка компаній, що займаються транспортуванням небезпечних відходів, за допомогою двоетапної методології fuzzy-АНР і TOPSIS. Експерт сист. апл. 2009, 36, 4067–4074.

36. Се Т.-Й.; Лу, С.-Т.; Цзен, Г.-Х. Нечіткий підхід MCDM для планування та вибору тендерів на проектування державних офісних будівель. Міжн. J. Proj. кер. 2004, 22, 573–584.

37. Саати Т.Л. Метод масштабування для пріоритетів в ієрархічних структурах. J. Math. психол. 1977, 15, 234–281.

38. Кендалл, М.Г.; Сміт, Б. Б. Проблема m рейтингів. Енн математика Стат. 1939, 10, 275–287.

39. Гронау В.; Кагермайер А. Ключові чинники успішного забезпечення громадським транспортом відпочинку та туризму. J. Transp. Геогр. 2007, 15, 127–135.

40. Сюй, П.; Ван, В.; Wei, С. Економічні та екологічні наслідки політики субсидування громадського транспорту: просторова CGE модель, Пекін. математика Пробл. інж. 2018, 2018, 3843281.