

УДК 656:519.8

DOI 10.47049/2226-1893-2025-1-144-160

ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМИ ДОСТАВКИ РЕФРИЖЕРАТОРНИХ КОНТЕЙНЕРІВ МЕТОДОМ ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

О.О. Волохов

здобувач вищої освіти доктора філософії з транспортних технологій

Одеський національний морський університет, Одеса, Україна

Анотація: Доставка рефрижераторних контейнерів є важливою складовою міжнародних логістичних систем, яка забезпечує збереження температурно-чутливих вантажів, таких як продукти харчування, фармацевтична продукція та інші товари, що потребують особливих умов транспортування. Ефективне планування транспортування рефрижераторних контейнерів є складним завданням через необхідність врахування численних факторів, серед яких витрати, час доставки, надійність, доступність ресурсів, екологічні аспекти та відповідність міжнародним стандартам.

У статті розглянуто використання методу аналізу ієрархії (Analytic Hierarchy Process, АНР) для обґрунтування оптимальної схеми доставки рефрижераторних контейнерів. АНР є інструментом багатокритеріального аналізу, який дозволяє структурувати процес прийняття рішень за рахунок ієрархічного поділу проблеми, встановлення пріоритетів між критеріями та обґрунтування вибору на основі їх порівняння.

Основною метою дослідження є побудова ієрархічної моделі, яка включає ключові критерії, що впливають на вибір логістичної схеми. У дослідженні враховано такі критерії, як вартість доставки, час доставки та надійність транспортування.

На основі проведеного аналізу запропоновано оптимальні маршрути та транспортні засоби для перевезення рефрижераторних контейнерів.

Результати дослідження демонструють, що метод АНР є ефективним інструментом для прийняття рішень у галузі логістики, оскільки дозволяє врахувати як кількісні, так і якісні аспекти. Запропонований підхід може бути використаний для оптимізації транспортних процесів не лише у сфері рефрижераторних перевезень, але й у ширшому контексті управління логістичними системами. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації логістичних процесів на підприємствах, що здійснюють перевезення рефрижераторних вантажів.

Ключові слова: доставка рефрижераторних контейнерів, метод аналізу ієрархії, логістика, багатокритеріальний аналіз, транспортні системи.

UDC 656:519.8

DOI 10.47049/2226-1893-2025-1-144-160

JUSTIFICATION OF THE REFRIGERATED CONTAINER DELIVERY SCHEME USING THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS METHOD

O. Volokhov

candidate for higher education of doctor of philosophy in transport technologies

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine

Abstract. *Refrigerated container delivery is an important component of international logistics systems, ensuring the safety of temperature-sensitive cargo, such as food, pharmaceuticals and other goods requiring special transportation conditions.*

Effective planning of refrigerated container transportation is a complex task due to the need to take into account numerous factors, including costs, delivery time, reliability, resource availability, environmental aspects and compliance with international standards.

The article considers the use of the Analytic Hierarchy Process (AHP) method to justify the optimal refrigerated container delivery scheme. AHP is a multi-criteria analysis tool that allows you to structure the decision-making process by hierarchically dividing the problem, establishing priorities between criteria and justifying the choice based on their comparison.

The main objective of the study is to build a hierarchical model that includes key criteria that influence the choice of a logistics scheme. The study takes into account such criteria as delivery cost, delivery time and transportation reliability.

Based on the analysis, optimal routes and vehicles for the transportation of refrigerated containers were proposed.

The results of the study demonstrate that the AHP method is an effective tool for decision-making in the field of logistics, as it allows taking into account both quantitative and qualitative aspects. The proposed approach can be used to optimize transport processes not only in the field of refrigerated transportation, but also in the broader context of logistics systems management. The results obtained can be used to optimize logistics processes at enterprises transporting refrigerated cargo.

Keywords: *refrigerated container delivery, analytic hierarchy process, logistics, multi-criteria analysis, transport systems.*

Вступ. У статті досліджується можливість застосування аналітичного ієрархічного процесу для вирішення проблем, пов'язаних з переміщенням рефрижераторними контейнерами. Сектор перевезення вантажів за допомогою рефрижераторних контейнерів є надзвичайно важливим, оскільки забезпечує ефективне зберігання і транспортування товарів, які потребують контрольованої температури. Проекти, які

пов'язані з інвестиціями в цю інфраструктуру, мають специфічні характеристики: вони, як правило, не орієнтовані на отримання прибутку, мають тривалий термін експлуатації та часто фінансуються державними чи місцевими адміністраціями, забезпечуючи соціальні потреби. Процес ухвалення рішень в цій сфері є складним, адже рішення стосуються майбутніх інвестицій і вимагають сучасного, гнучкого підходу. Методи оцінки проєктів у сфері доставки рефрижераторних контейнерів численні й зазвичай базуються на різних критеріях. Найпоширенішими є економічні показники, але для довгострокових та якісних рішень необхідно враховувати також технологічні, технічні та екологічні критерії. Тому важливо впроваджувати багатокритеріальні методи прийняття рішень, які допоможуть знайти рішення для різних проблем, пов'язаних із рефрижераторними контейнерами. В даній роботі розглянуто, як АНР застосовується для вирішення окремих задач у цій галузі.

Постановки проблеми. Доставка рефрижераторних контейнерів відіграє критичну роль у забезпеченні безпечного та ефективного транспортування температурно чутливих вантажів. Однак, у сучасних умовах зростаючої конкуренції, змінності ринку та посилення вимог до якості обслуговування, процес ухвалення рішень щодо доставки стає дедалі складнішим. Вирішення численних проблем, пов'язаних з логістикою, управлінням ресурсами та вибором постачальників, вимагає використання багатокритеріальних підходів. Отже, постає необхідність розробки адаптованої моделі АНР, яка зможе ефективно інтегрувати ці критерії в процес прийняття рішень для доставки рефрижераторних контейнерів. Це дозволить не лише підвищити ефективність логістичних операцій, але й забезпечити відповідність сучасним вимогам до якості та безпеки.

Актуальність дослідження. Визначається зростаючою потребою в оптимізації процесів логістики та транспортування товарів, що потребують контролю температури, таких як продукти харчування, медичні препарати та інші товари, чутливі до температурних змін. Рефрижераторні контейнери забезпечують збереження цих вантажів, але ефективне планування їх доставки вимагає врахування великої кількості факторів: від маршрутів і часу до специфіки умов зберігання та експлуатації обладнання.

Тому адаптація цього методу до системи доставки таких вантажів дозволить підвищити ефективність планування, зменшити витрати та мінімізувати ризики, пов'язані з псуванням вантажу або затримками у постачанні.

Крім того, застосування АНР в логістиці доставки рефрижераторних контейнерів є відносно новою галуззю досліджень. Така адаптація матиме значення не тільки для теоретичних аспектів менеджменту логістичних процесів, але й для практичного впровадження у транспортних компаніях, що прагнуть підвищити конкурентоспроможність і забезпечити надійність своїх послуг.

Мета. Метою даного дослідження є адаптація АНР до системи доставки рефрижераторних контейнерів з метою підвищення ефективності процесу прийняття рішень в умовах багатокритеріальної оцінки. Дослідження прагне створити структуру,

що дозволяє врахувати специфіку логістичних вимог, пов'язаних із транспортуванням температурно чутливих вантажів, та сприяти оптимізації логістичних процесів.

Завдання. Аналіз та впровадження методу АНР до прийняття рішень у сфері доставки рефрижераторних контейнерів. Визначення ключових критеріїв для оцінки ефективності системи доставки, з урахуванням економічних, технологічних, екологічних та інших аспектів. Розробка адаптованої моделі АНР, що враховує специфіку доставки рефрижераторних контейнерів, з метою інтеграції багатокритеріальних підходів у процес прийняття рішень.

Аналіз літературних даних:

1. Scientific applications of the ANP method in transport problems [1].

Ця стаття розглядає різноманітні наукові застосування методу АНР у вирішенні транспортних проблем. Автори аналізують, як АНР може бути використаний для оцінки альтернативних варіантів в умовах багатокритеріального прийняття рішень. Основна увага приділяється перевагам методу, таким як структуризація складних проблем і залучення експертних оцінок. Однак у статті не розглядається детальний процес адаптації АНР до специфічних транспортних сценаріїв чи конкретних кейсів.

2. Implementation of analytic hierarchy process in solving transport problems [2].

Дослідження фокусується на впровадженні методу АНР у практику вирішення транспортних проблем. Автори описують різні приклади використання АНР для оцінки проєктів і прийняття рішень у транспортному секторі. Вони також підкреслюють необхідність врахування різноманітних критеріїв, таких як економічні, соціальні та екологічні. Проте стаття не надає глибокого аналізу можливих обмежень АНР у контексті транспортних проєктів.

3. Combining Analytic Hierarchy Process (ANP) with role-playing games for stakeholder engagement in complex transport decisions [3].

У цій статті досліджується інтеграція методу АНР з рольовими іграми для залучення зацікавлених сторін у складних транспортних рішеннях. Автори пропонують, як комбінування цих методів може покращити комунікацію між учасниками та сприяти кращому розумінню проблем. Стаття підкреслює важливість участі зацікавлених сторін у процесі прийняття рішень. Однак в ній недостатньо уваги приділено практичним аспектам реалізації цієї комбінації в реальних транспортних сценаріях.

4. ANP model for the container port choice in the multiple-ports region [4].

Автор розробляє модель, яка імітує поведінку судноплавних компаній при виборі порту та визначає вагомість кожного фактора, що впливає на це рішення. До основних факторів віднесено: портові збори, ефективність операцій, розмір та ефективність контейнерних майданчиків, економічний стан припортової зони та глибину причалів. Однак у статті не розглянуто специфічні вимоги до перевезення рефрижераторних контейнерів, такі як: необхідність спеціалізованої інфраструктури для обслуговування рефрижераторних контейнерів, додаткові витрати на енерго-

постачання та підтримку температурного режиму, особливості логістики та зберігання швидкопсувних товарів.

Викладення основного матеріалу. Метод АНР використовується у всьому світі для прийняття рішень в різноманітних ситуаціях: від управління на міждержавному рівні до розв'язання галузевих і приватних проблем в бізнесі, промисловості, охороні здоров'я і освіті. Може використовуватись як індивідуально, так і при груповому ухваленні рішень.

Процес аналітичної ієрархії - це добре відомий метод, який використовується для спрощення прийняття складних рішень за допомогою математики та психології. Був задіяний Томас Л. Сааті, відомий професор одного з провідних університетів Піттсбурзького університету. Аналітична ієрархія прагне розробити цілісну структуру проблеми, виділяючи різні цілі та альтернативи для досягнення цілей [5].

В логістиці використовують для:

- вибору оптимального маршруту доставки;
- оцінки постачальників або логістичних операторів;
- оптимізації складу та управління запасами;
- визначення пріоритетів у доставці вантажів;
- зниження витрат на логістику;
- планування розподілу транспортних засобів;
- аналізу ризиків і невизначеностей;
- оцінки ефективності транспортних засобів.

Використання АНР, призначено для ранжирування проєктів. Однак ранжирування проєктів – це однорівневий процес. Тобто – якщо один або кілька критеріїв складаються з підкритеріїв, які комбінуються для отримання загального значення цих критеріїв. Аналітичний ієрархічний процес включає в себе способи комбінування цих підкритеріїв в явному вигляді. Таким чином, процедура використовує ієрархію, де кожен критерій поділяється на підкритерії, за вимогою експертів відповідно до розуміння ситуації, в якій виконується ранжування проєктів. Це дає можливість пошуку причинно-наслідкових зв'язків між метою (наприклад, вибором найкращого проєкту), критеріями (наприклад, технічними перевагами) і підкритеріями. І може використовуватися навіть при вирішенні повсякденних питань та управлінських рішень [6-7]. Наступним кроком після встановлення ієрархічної структури є зважування критеріїв і підкритеріїв з визначенням сукупних оцінок кожного проєкту на різних рівнях, отже для всього проєкту в цілому. Сукупна оцінка служить мірилом достоїнств проєкту: чим вона вище, тим більше у проєкту переваг. Як і в моделях ранжирування проєктів, аналітичний ієрархічний процес починається зі складання списку проєктів-кандидатів і підбору вихідної інформації, на основі якої буде проводитися ранжування. Під вихідною інформацією розуміється: проєктна пропозиція, стратегічні і тактичні плани.

Для адаптації АНР до системи доставки рефрижераторних контейнерів розробляємо багаторівневу ієрархічну структуру, яка включає наступні рівні (рис. 1):

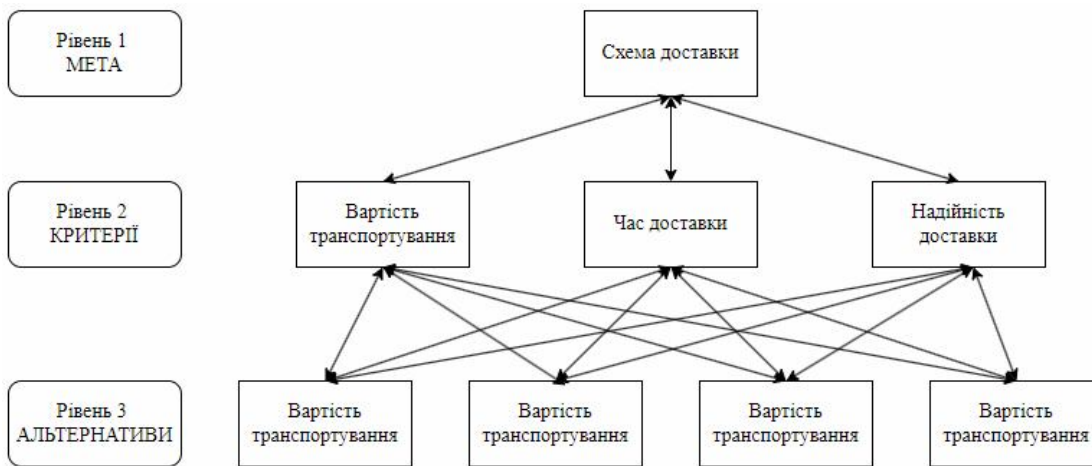


Рис. 1. Ієрархічна структура моделі обґрунтування вибору схеми

На оцінку критерію «Вартість транспортування» мають вплив такі елементи як: фрахт перевізника, митні збори, страхування вантажу, плата за обробку контейнера, складування та зберігання.

На оцінку критерію «Час доставки» – транзитний час, час на завантаження\розвантаження, митне оформлення.

На оцінку критерію «Надійність доставки» – дотримання умов договору щодо термінів та якості доставки в цілому, серед яких: фізико-хімічна збереженість вантажу через дотримання температурного режиму, відсутність пошкоджень вантажу та контейнера.

Цю структуру також можна розподілити на більші критерії, якщо це потрібно, на такі як: ідентифікатор, пункт призначення, вага, вартість, розмір, дата прибуття, дата відправлення [8].

Рівень 1 (Загальна мета): Оптимізація системи доставки рефрижераторних контейнерів.

Рівень 2 (Критерії), K_i ($i=1, \dots, I$; $i \in n$):

- Критерій 1 (K_1): Вартість транспортування, $i = 1$;
- Критерій 2 (K_2): Час доставки, $i = 2$;
- Критерій 3 (K_3): Надійність доставки, $i = 3$.

Рівень 3 (Критерії), A_j ($j = 1, \dots, J$; $j \in n$):

- Альтернатива 1 (A_1): Морський транспорт, $i = 1$;
- Альтернатива 2 (A_2): Автомобільний транспорт, $i = 2$;
- Альтернатива 3 (A_3): Залізничний транспорт, $i = 3$;
- Альтернатива 4 (A_4): Комбіновані перевезення, $i = 4$.

Формування матриці парних порівнянь – це ключовий етап методу АНР, який дозволяє кількісно оцінити відносну важливість критеріїв та альтернатив шляхом їх порівняння. У цій матриці кожен елемент показує, наскільки один критерій (або альтернатива) є важливішим за інший відносно конкретної мети.

Для оцінювання відносної важливості критеріїв чи альтернатив використовується шкала Сааті, в якій оцінки ранжуються від 1 до 9 (табл. 1) [9].

Таблиця 1

Опис та значення оцінок критеріїв

Значення оцінки Q	Опис значення
1	Обидва критерії (або альтернативи) однаково важливі
3	Один критерій (альтернатива) трохи важливіший за інший
5	Один критерій (альтернатива) значно важливіший за інший
7	Один критерій (альтернатива) набагато важливіший за інший
9	Один критерій (альтернатива) абсолютно важливіший за інший
2, 4, 6, 8	Проміжні значення для кращої точності

Відносна важливість будь-якого елемента, що порівнюється з самим собою, дорівнює одиниці, тобто діагональ матриці складається з одиниць. При заповненні матриці використовується властивість зворотної симетрії: симетричні клітини заповнюються зворотними величинами. Отримавши сукупність матриць, можна приймати рішення на основі їх аналізу та розрахунку узагальнених оцінок альтернатив [10].

Порівнюючи між собою пару критеріїв K_i , один приймається за базовий ($K_i^{\bar{o}}$).

Якщо критерій $K_i^{\bar{o}}$ є більш важливим за критерій K_i , то у відповідній клітинці матриці буде стояти значення оцінки ($Q_i^{K_i^{\bar{o}}}$) за шкалою Сааті. У випадку, коли $K_i^{\bar{o}} = K_i$, оцінка має значення $Q_i^{K_i^{\bar{o}}} = 1$.

Прикладом використання методу АНР при обґрунтуванні схеми доставки рефрижераторного контейнера пропонуються наступні схеми (рис. 2):

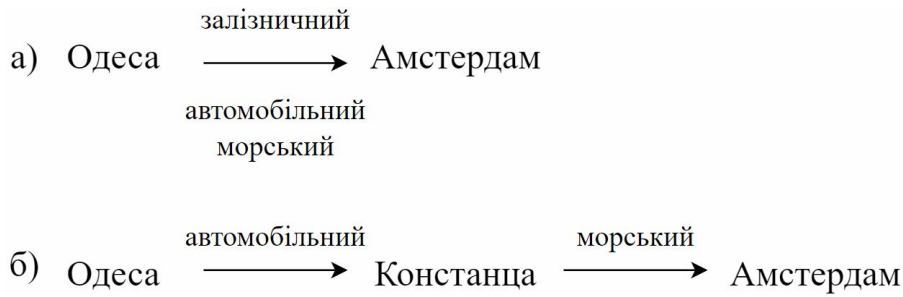


Рис. 2. Проектні схеми доставки рефрижераторного контейнера:
а) прями перевезення; б) комбіновані

Для вирішення задачі обґрунтування системи доставки рефрижераторних контейнерів даним методом, вихідні експертні оцінки представлені у табл. 2.

Таблиця 2

Парні порівняння

№ критерію, i	K_i	Вартість транспортування		
		(K_1)	Час доставки (K_2)	Надійність доставки (K_3)
1	Вартість транспортування K_1^{δ}	$Q_1^{K_1^{\delta}} = 1$	$Q_2^{K_1^{\delta}} = \frac{1}{3}$	$Q_3^{K_1^{\delta}} = 1/7$
2	Час доставки K_2^{δ}	$Q_1^{K_2^{\delta}} = 3$	$Q_2^{K_2^{\delta}} = 1$	$Q_3^{K_2^{\delta}} = \frac{1}{5}$
3	Надійність доставки K_3^{δ}	$Q_1^{K_3^{\delta}} = 7$	$Q_2^{K_3^{\delta}} = 5$	$Q_3^{K_3^{\delta}} = 1$
Сума $\sum Q_i^{K_i}$		11,000	6,333	1,343

Як видно з табл. 2, для певних вихідних умов, критерій «Надійність доставки» (K_3), є найбільш вагомим із розглянутих і має найвищу оцінку $Q_1^{K_3^{\delta}} = 7$ у

порівнянні з критерієм «Вартість транспортування» (K_1) та оцінку $Q_2^{K_3^{\sigma}} = 5$ порівняно з критерієм «Час доставки» (K_2), отже в таблиці парних порівнянь виставляємо оцінку 3. Таким чином, зворотне порівняння K_1 до K_3 буде мати оцінку $Q_3^{K_1^{\sigma}} = 1/7$, а порівняння K_2 до $K_3 - Q_2^{K_2^{\sigma}} = 1/5$. Аналогічне оцінювання відбувається за іншими парами критеріїв і заноситься в табл. 2.

Після виставлення оцінок за критеріями виконується нормалізація оцінок. Для цього, по-перше, знаходиться сума оцінок кожного критерія – за стовпцем ($Q_i^{K_i^{\sigma}}$) (табл. 2).

$$\sum Q_i^{K_i} = \sum_{i=1}^I Q_i^{K_i^{\sigma}} \quad (1)$$

Як приклад, наведено розрахунок суми оцінок за критерієм «Вартість транспортування» (K_1):

$$\sum Q_1^{K_1} = Q_1^{K_1^{\sigma}} + Q_1^{K_2^{\sigma}} + Q_1^{K_3^{\sigma}} = 1 + 3 + 7 = 11$$

Результати розрахунків за іншими критеріями представлені в табл. 2.

Наступним кроком відбувається нормалізація кожної оцінки критерію ($Q_{H_i}^{K_i}$), шляхом поділу кожної оцінки на суму

$$Q_{H_i}^{K_i} = \frac{Q_i^{K_i^{\sigma}}}{\sum Q_i^{K_i}} \quad (2)$$

$$Q_{H_1}^{K_1} = \frac{Q_1^{K_1^{\sigma}}}{\sum Q_1^{K_1^{\sigma}}} = \frac{1}{11} = 0,091$$

Аналогічні розрахунки робляться за всіма критеріями (табл. 3). Надалі, щоб знайти вагу (\bar{W}_i) кожного критерія, знаходимо середнє арифметичне значення кожного критерію. Вага кожного критерія представлена також у табл. 3.

$$\bar{W}_i = \frac{\sum_{i=1}^I Q_{H_i}^{K_i}}{I} \quad (3)$$

$$\bar{W}_1 = \frac{0,091 + 0,053 + 0,103}{3} = 0,083$$

Таблиця 3

Нормалізована матриця

№ критерію, i	K_i $K_i^{\bar{o}}$	(K_1)	(K_2)	(K_3)	Вага (\bar{W}_i)
1	$K_1^{\bar{o}}$	$Q_{H_1}^{K_1} = 0,091$	$Q_{H_2}^{K_1} = 0,053$	$Q_{H_3}^{K_1} = 0,106$	0,083
2	$K_2^{\bar{o}}$	$Q_{H_1}^{K_2} = 0,273$	$Q_{H_2}^{K_2} = 0,158$	$Q_{H_3}^{K_2} = 0,149$	0,193
3	$K_3^{\bar{o}}$	$Q_{H_1}^{K_3} = 0,636$	$Q_{H_2}^{K_3} = 0,789$	$Q_{H_3}^{K_3} = 0,745$	0,724

У результаті розрахунків видно, що критерій K_3 має найвищу пріоритетність (0,724), за ним K_2 (0,193) та K_1 (0,083), який отримав найменшу вагу. Для кожного критерію створюємо матриці парних порівнянь альтернатив.

Для доставки рефрижераторних контейнерів з Одеси до Амстердаму запропоновано чотири альтернативи: автомобільний, залізничний, морський та комбінований транспорт. Оцінка їх за всіма критеріями відбувається за аналогічними для критеріїв формулами та результати розрахунків представлені у відповідній таблиці (табл. 4-7).

Таблиця 4

Формування матриці парних порівнянь
за критерієм «Вартість транспортування»

№ альтернативи j	A_j $A_j^{\bar{0}}$	Авто (A_1)	Залізничний (A_2)	Морський (A_3)	Комбінований (A_4)
1	$A_1^{\bar{0}}$	1	0,200	0,143	0,333
2	$A_2^{\bar{0}}$	5	1	0,200	3
3	$A_3^{\bar{0}}$	7	5	1	7
4	$A_4^{\bar{0}}$	3	0,333	0,143	1
Сума		16,000	6,533	1,486	11,333

Таблиця 5

Нормалізована матриця за критерієм «Вартість транспортування»

Номер альтернативи j	A_j $A_j^{\bar{0}}$	Авто (A_1)	Залізничний (A_2)	Морський (A_3)	Комбінований (A_4)	Вага $W_i^{A_j^{\bar{0}}}$ ($i=1; j= \overline{1,4}$)
1	$A_1^{\bar{0}}$	0,063	0,031	0,096	0,029	0,055
2	$A_2^{\bar{0}}$	0,313	0,153	0,135	0,265	0,216
3	$A_3^{\bar{0}}$	0,438	0,765	0,673	0,618	0,623
4	$A_4^{\bar{0}}$	0,188	0,051	0,096	0,088	0,106

Результати свідчать про те, що за критерієм «Вартість транспортування» найдорожчим є автомобільний транспорт ($W_1^{A_1^{\bar{0}}} = 0,055$), тоді як морський транспорт демонструє кращі результати ($W_1^{A_3^{\bar{0}}} = 0,623$), оскільки має більшу вагу за цим критерієм, що вказує на меншу вартість доставки рефрижераторних контейнерів. Ваги альтернатив за критеріями «Час доставки» та «Надійність» представлені у табл. 6 та 7 відповідно.

Таблиця 6

Нормалізована матриця для критерію «Час доставки»

Номер альтернативи j	A_j $A_j^{\bar{0}}$	Авто (A_1)	Залізничний (A_2)	Морський (A_3)	Комбінований (A_4)	Вага $W_i^{A_j^{\bar{0}}}$ ($I = 2; j = \overline{1,4}$)
1	$A_1^{\bar{0}}$	0,536	0,621	0,455	0,462	0,518
2	$A_2^{\bar{0}}$	0,179	0,207	0,273	0,308	0,241
3	$A_3^{\bar{0}}$	0,107	0,069	0,091	0,077	0,086
4	$A_4^{\bar{0}}$	0,179	0,103	0,182	0,154	0,154

За критерієм «Час доставки» вочевидь найшвидшим є автотранспорт ($W_2^{A_1^{\bar{0}}} = 0,518$). Також помірні результати має залізничний транспорт. $W_2^{A_2^{\bar{0}}} = 0,241$.

Таблиця 7

Нормалізована матриця для критерію «Надійність доставки»

№ альтернативи j	A_j $A_j^{\bar{0}}$	Авто (A_1)	Залізничний (A_2)	Морський (A_3)	Комбінований (A_4)	Вага $W_i^{A_j^{\bar{0}}}$ ($i = 1; j = \overline{1,4}$)
1	$A_1^{\bar{0}}$	0,063	0,015	0,088	0,074	0,060
2	$A_1^{\bar{0}}$	0,313	0,076	0,088	0,044	0,130
3	$A_3^{\bar{0}}$	0,438	0,530	0,618	0,662	0,562
4	$A_4^{\bar{0}}$	0,188	0,379	0,206	0,221	0,248

За критерієм «Надійності доставки» найкращими альтернативами є морський транспорт ($W_3^{A_3^{\bar{0}}} = 0,562$).

Отримання загальної оцінки для кожної альтернативи, відбувається визначенням добутку ваги альтернатив за кожним критерієм на вагу цього критерію за формулою

$$\bar{W}^{A_j^{\bar{0}}} = \sum_{i=1}^I \bar{W}_i^{A_j^{\bar{0}}} \bar{W}_i, \quad (j = \overline{1, j}) \quad (4)$$

Або у вигляді добутку матриць

$$\bar{W}^{A_j^{\bar{0}}} = \begin{vmatrix} \bar{W}_1 \\ \bar{W}_2 \\ \bar{W}_3 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \bar{W}_1^{A_1^{\bar{0}}} & \bar{W}_2^{A_1^{\bar{0}}} & \bar{W}_3^{A_1^{\bar{0}}} \\ \bar{W}_1^{A_2^{\bar{0}}} & \bar{W}_2^{A_2^{\bar{0}}} & \bar{W}_3^{A_2^{\bar{0}}} \\ \bar{W}_1^{A_3^{\bar{0}}} & \bar{W}_2^{A_3^{\bar{0}}} & \bar{W}_3^{A_3^{\bar{0}}} \\ \bar{W}_1^{A_4^{\bar{0}}} & \bar{W}_2^{A_4^{\bar{0}}} & \bar{W}_3^{A_4^{\bar{0}}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \bar{W}_1 \bar{W}_1^{A_1^{\bar{0}}} & \bar{W}_2 \bar{W}_2^{A_1^{\bar{0}}} & \bar{W}_3 \bar{W}_3^{A_1^{\bar{0}}} \\ \bar{W}_1 \bar{W}_1^{A_2^{\bar{0}}} & \bar{W}_2 \bar{W}_2^{A_2^{\bar{0}}} & \bar{W}_3 \bar{W}_3^{A_2^{\bar{0}}} \\ \bar{W}_1 \bar{W}_1^{A_3^{\bar{0}}} & \bar{W}_2 \bar{W}_2^{A_3^{\bar{0}}} & \bar{W}_3 \bar{W}_3^{A_3^{\bar{0}}} \\ \bar{W}_1 \bar{W}_1^{A_4^{\bar{0}}} & \bar{W}_2 \bar{W}_2^{A_4^{\bar{0}}} & \bar{W}_3 \bar{W}_3^{A_4^{\bar{0}}} \end{vmatrix} \quad (5)$$

$$\bar{W}^{A_1^{\bar{0}}} = (0,083 * 0,055) + (0,193 * 0,518) + (0,724 * 0,060) = 0,148.$$

Аналогічні розрахунки по всім альтернативам представлені в табл. 8.

Таблиця 8

Підсумкова таблиця

$A_j^{\bar{o}}$	$\bar{W}_i^{A_j^{\bar{o}}}$ ($i = \overline{1, 4}$; $j = \overline{1, 4}$)	$\bar{W}_i^{A_j^{\bar{o}}}$ ($i = \overline{2, 3}$; $j = \overline{1, 4}$)	$\bar{W}_i^{A_j^{\bar{o}}}$ ($i = \overline{3, 4}$; $j = \overline{1, 4}$)	$\bar{W}_i^{A_j^{\bar{o}}}$ ($j = \overline{1, 4}$)	\bar{W}_i ($i = \overline{1, 3}$)
	0,055	0,518	0,060	0,148	0,083
	0,216	0,241	0,130	0,159	0,193
	0,623	0,086	0,562	0,475	0,724
	0,106	0,154	0,248	0,218	-

За підсумковими результатами, авто транспорт (альтернатива $A_1^{\bar{o}}$) має найменшу вагу ($\bar{W}^{A_1^{\bar{o}}} = 0,148$ або 14,8 %), що свідчить про його загальну не ефективність за сукупністю критеріїв на проектному напрямку перевезень між пунктами Одеса – Амстердам. Кращим є варіант доставки із залученням до перевезень морський транспорт (альтернатива $A_3^{\bar{o}}$: $\bar{W}^{A_3^{\bar{o}}} = 0,475$ або 47,5 %) має найвищу оцінку.

Висновки. АНР є потужним інструментом для прийняття рішень у багато-критеріальних завданнях, таких як оптимізація системи доставки рефрижераторних контейнерів. Його основна перевага полягає в тому, що він дозволяє структурувати проблему, розділивши її на окремі критерії, оцінити їх вагу та порівняти можливі альтернативи. Це робить процес вибору прозорішим та підкріпленим кількісними показниками, що є важливим для прийняття обґрунтованих рішень у логістиці.

У рамках виконаної адаптації методу АНР до системи доставки рефрижераторних контейнерів були визначені основні критерії: вартість транспортування, час доставки, та надійність доставки. На основі матриць парних порівнянь і подальших обчислень ваги критеріїв, морський транспорт був визначений як найефективніша альтернатива з загальною оцінкою 0,724.

Переваги методу АНР:

1) прозорість та структурованість: Метод дозволяє розбити складну задачу на простіші етапи, що сприяє більш чіткому розумінню проблеми та впливу кожного критерію;

2) кількісна оцінка: Можливість оцінювати альтернативи за кількома критеріями одночасно дає змогу формувати зважені рішення на основі об'єктивних даних;

3) гнучкість: Метод можна легко адаптувати до будь-якої логістичної задачі чи іншої складної системи управління, що потребує врахування багатьох факторів.

Недоліки методу АНР:

1) суб'єктивність: результати методу можуть бути залежними від суб'єктивних оцінок експертів при порівнянні критеріїв або альтернатив. Якщо експерти мають різні думки, це може вплинути на остаточні результати;

2) складність при великій кількості критеріїв: коли кількість критеріїв та альтернатив значно зростає, матриці парних порівнянь стають надто громіздкими, що ускладнює процес розрахунків і потребує більше часу та ресурсів;

3) проблеми з узгодженістю: іноді важко досягти високого рівня узгодженості в оцінках критеріїв, особливо якщо оцінки суперечливі або мають сильні відхилення.

Подальший розвиток наукової статті. У майбутньому ця наукова стаття може бути розширена за кількома напрямками:

- Включення додаткових критеріїв: в наведених розрахунках не розглядаються додаткові критерії, отже їх можна додати, такі як екологічні аспекти, соціальні впливи або рівень ризику під час доставки, що забезпечить більш комплексний підхід до оцінки альтернатив.

- Моделювання різних сценаріїв: можна розробити кілька сценаріїв (наприклад, зміна ринку палива, зміни в законодавстві) для прогнозування ефективності альтернатив за різних умов. Це підвищить практичність застосування методу в реальних умовах.

- Використання інших методів підтримки рішень: стаття може бути розширена шляхом порівняння результатів АНР з іншими методами багатокритеріального прийняття рішень, такими як TOPSIS чи PROMETHEE, для перевірки надійності отриманих результатів.

- Розширення дослідження дозволить підвищити точність і практичність моделі, зробивши її кориснішою для використання у реальних транспортних операціях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Valentinas Podvezko, Askoldas Podviezko, Henrikas Sivilevicius. Scientific applications of the AHP method in transport problems. *Archives of Transport* 29(1):47-54. 2015. DOI:10.5604/08669546.1146966
2. Danijela Barić, Martin Starcevic. Implementation of analytic hierarchy process in solving transport problems. DOI:10.13033/ijahp.v7i2.251
3. Matteo Ignaccolo, Giuseppe Inturri, Mónica García-Melón, Nadia Giuffrida, Michela Le Pira, Vincenza Torrisi. Combining Analytic Hierarchy Process (AHP) with role-playing games for stakeholder engagement in complex transport decisions. *Transportation Research Procedia*, volume 27, 2017, pages 500-507. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.069>
4. Chien-Chang Chou. AHP model for the container port choice in the multiple-ports region. *Journal of Marine Science and Technology* 18(2). 2010. DOI:10.51400/2709-6998.2321
5. Метод аналітичної ієрархії. Що це таке? URL: https://azbyka.com.ua/uk/protsess-analiticheskoy-ierarhii/?srsltid=AfmBOooSn99kXkrrDk7GIYqUQVDyew_zw2zQLfZOfvasiLwkwXxdNDUB
6. Метод аналізу ієрархій (відео). URL: https://youtu.be/Cu224iwdbgc?si=vLn3JT_LfBna3tMk
7. Метод саати при прийнятті управлінських рішень. URL: http://www.econom.stateandregions.zp.ua/journal/2015/4_2015/17.pdf
8. Zakaria Bendaoud, Khadidja Yachba. *International Journal of Strategic Information Technology and Applications* 8(3):59-72. 2017. Towards A Decision Support System for Optimization of Container Placement in a Container Terminal. DOI:10.4018/IJSITA.2017070104
9. Метод аналізу ієрархій. URL: <https://dss.tg.ck.ua/ahp-help>
10. Дослідження методу аналізу ієрархій. URL: http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/5967/1/Kichuk_Doslidgenny_metody_analyzy_ierarchiy.pdf

REFERENCES

1. Valentinas Podvezko, Askoldas Podviezko, Henrikas Sivilevicius. Scientific applications of the AHP method in transport problems. *Archives of Transport* 29(1):47-54. 2015. DOI:10.5604/08669546.1146966.
2. Danijela Barić, Martin Starcevic. Implementation of analytic hierarchy process in solving transport problems. DOI:10.13033/ijahp.v7i2.251.

3. Matteo Ignaccolo, Giuseppe Inturri, Mónica García-Melón, Nadia Giuffrida, Michela Le Pira, Vincenza Torrasi. Combining Analytic Hierarchy Process (AHP) with role-playing games for stakeholder engagement in complex transport decisions. *Transportation Research Procedia*, volume 27, 2017, pages 500-507. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.069>.
4. Chien-Chang Chou. AHP model for the container port choice in the multiple-ports region. *Journal of Marine Science and Technology* 18(2). 2010. DOI:10.51400/2709-6998.2321.
5. Analytical hierarchy process. What is it? URL: https://azbyka.com.ua/uk/protsess-analiticheskoy-ierarhii/?srsltid=AfmBOooSn99kXkrDk7GIYqUQVDyew_zw2zQLfZOfvasiLwkwXxdNDUB.
6. Analytical hierarchy process (video). URL: https://youtu.be/Cu224iwdbgc?si=vLn3JT_LfBna3tMk.
7. Saati's method for making management decisions. URL: http://www.econom.stateandregions.zp.ua/journal/2015/4_2015/17.pdf.
8. Zakaria Bendaoud, Khadidja Yachba. *International Journal of Strategic Information Technology and Applications* 8(3):59-72. 2017. Towards A Decision Support System for Optimization of Container Placement in a Container Terminal. DOI:10.4018/IJSITA.2017070104.
9. Hierarchy analysis method. URL: <https://dss.tg.ck.ua/ahp-help>.
10. Research on the Analytical Hierarchy Method. URL: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/5967/1/Kichuk_Doslidzheny_metody_analyzy_ierarchiy.pdf.

Стаття надійшла до редакції 12.12.2024

Посилання на статтю: Волохов О.О. Обґрунтування схеми доставки рефрижераторних контейнерів методом analytic hierarchy process // *Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць*, 2025. № 1 (75). С. 144-160. DOI 10.47049/2226-1893-2025-1-144-160.

Article received 12.12.2024

Reference a journal artic: Volokhov O. Justification of the refrigerated container delivery scheme using the analytic hierarchy process method // *Herald of the Odesa National Maritime University: Coll. scient. works*, 2025. № 1 (75). P. 144-160. DOI 10.47049/ 2226-1893-2025-1-144-160.