

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОБУДОВИ, ПОРІВНЯННЯ ТА ВИБОРУ МАРШРУТІВ ТА СХЕМ ДОСТАВКИ В СИСТЕМІ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

¹Одеський національний морський університет

²Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

У статті пропонується застосування методичного підходу до вибору оптимального маршруту мультимодального перевезення на основі модуля, інтегрованого в інформаційну систему транспортно-експедиторської компанії. Функціями модуля є побудова оптимальної схеми доставки та задоволення всіх вимог замовника мультимодального перевезення, як внутрішнього, так і міжнародного, з урахуванням мінливих обставин в умовах нестабільності, що викликані воєнним станом та необхідністю переорієнтації звичних маршрутів постачання.

В умовах воєнних дій така методика автоматизованого пошуку та порівняння альтернативних маршрутів дає змогу враховувати змінні умови, що складаються в реальному часі, водночас вантажопотік має супроводжувати інформаційний потік, який би був доступний також у реальному часі. Запропонована структура бази даних, наведені структури запитів для розробки маршрутів, розроблені форми вихідних документів. Визначені критерії порівняння маршрутів різного виміру: різниця відстані перевезення вантажів, витрати на зміну наявної системи перевезень вантажів, підвищення рівня безпеки перевезень, вчасність поставки, зменшення витрат на доставку партії товарів, різниця у часі доставки. Запропоновано рішення багатокритеріальної задачі прийняття рішень шляхом нормалізації критеріїв та методу адитивної оптимізації. Методику визначення кращого маршруту та схеми постачання реалізовано в модулі «прийняття рішень», який інтегровано в інформаційну систему транспортно-експедиторської компанії.

Унаслідок практичної реалізації запропонованої методики побудови, порівняння та вибору маршрутів та схем доставки в системі мультимодальних перевезень на базі інтегрованого в інформаційну систему транспортно-експедиторської компанії модуля оператор мультимодального перевезення буде мати можливість швидкого реагування на зміни зовнішніх обставин, застерігати аварійні та конфліктні ситуації, контролювати процес перевезення на всьому шляху та, за необхідності, вносити корективи в маршрут і схему доставки, обираючи більш безпечний та ефективний варіант.

Ключові слова: мультимодальні перевезення, види транспорту, вибір маршруту, корегування маршруту, інформаційна система, багатокритеріальний аналіз, прийняття рішень.

Постановка проблеми

Повномасштабне вторгнення в нашу країну суттєво змінило економічно-виробничі відносини в промисловості та аграрному секторі, зламало напрацьовані зв'язки та маршрути постачання сировини і продуктів виробництва не тільки в середині країни, але й на міжнародному рівні.

До війни морські порти України забезпечували 75 % експорту (і 90 % експорту сировини), наприклад, зернових – 95,6 %, чорних металів – 94,7 %, олії – 90,2 % [1]. Через військове вторгнення окуповані або заблоковані порти Бердянськ, Маріуполь, Миколаїв, Ольвія, Скадовськ, Херсон та інші, окуповані ще у 2014 році. Частково заблоковані всі інші морські порти, маючи на увазі рамки Чорноморської зернової угоди. Авіаційний транспорт України також припинив свою роботу. В цих умовах більшість вантажопотоків переорієнтувалася на залізничний та автомобільний транспорт, який доставляє вантажі до річкових портів на Дунаї та до європейських портів. Саме тому виникла безліч факторів, які не притаманні у мирний час і які необхідно враховувати при координації руху вантажопотоків та в процесі розробки схем постачання.

Вирішенням задач пошуку оптимальних схем постачання присвячені роботи як вітчизняних, так і зарубіжних авторів. Деякі автори вирішували задачі тільки із залученням одного виду транспорту. О. О. Писарчук та Т. І. Конрад [2] представили визначені фактори, показники та критерії оптимальності маршруту перевезення вантажів залізничним рухомим складом на базі інфологічної моделі. В роботі [3] запропоновано методику підвищення ефективності мультимодальних вантажних перевезень шляхом оптимального розподілу вантажного і пасажирського руху поїздів.

Вирішення завдань оптимізації маршрутів із залученням різних видів транспорту представлені у роботах українських учених. У роботі [4] Ю. Силантьєвої розглянуті сценарії доставки різними видами

транспорту (автомобільним, залізничним та морським) партій вантажів, запропоновані критерії вибору виду сполучення, досліджено вплив «єдиного вікна» на ефективність міжнародних вантажних перевезень. У статті [5] пропонується вирішення багатокритеріальної задачі вибору оптимального маршруту перевезення вантажів в умовах обмежених ресурсів. Технологія базується на синергетичному об'єднанні інфологічної моделі факторів, показників і критеріїв оптимальності маршруту та удосконаленої математичної моделі оптимального розподілу транспортних потоків. У роботі [6] авторів Є С Альошинського і С. О. Світличної запропонована методика визначення варіантів маршрутизації міжнародних вантажопотоків, включно з автомобільними, залізничними перевезеннями та річковим транспортом, з метою розвантаження портових зон, де зазвичай зосереджений великий обсяг вантажів. У статті [7] визначені основні чинники впливу на ефективність контейнерних перевезень із використанням різних видів транспорту в міжнародному сполученні в режимі експорту та імпорту із застосуванням методу головних компонент. У роботі [8] В. Ю. Король вирішується завдання обґрунтування маршрутів міжнародних контейнерних перевезень різними видами транспорту на базі багатоетапної моделі з логічними змінними, що регулюють використання видів транспорту.

Усі дослідження мають вагому теоретичну значимість, але життя вносить свої корективи, як-от, наприклад, переосмислення та пошук нових рішень в умовах воєнного сьогодення, з можливістю вибору маршрутів перевезень у змінних умовах, із корегуванням напрямку та виду транспорту в реальному часі.

Отже, в умовах воєнного стану, коли великий відсоток транспортно-логістичної інфраструктури або зруйнований, або недоступний та не працюють вже налагоджені схеми поставок, необхідно шукати нові, більш мобільні методи побудови маршрутів, які б враховували змінні умови у реальному часі. Блокування та окупація українських портів вимагає створювати нові маршрути із задіянням наземних видів транспорту для виходу на європейські порти, водночас мобільність корегування схем доставки з варіантами як видів транспорту, так і транспортних засобів має відбуватися майже у реальному часі.

Метою статті є автоматизації побудови, порівняння та вибору маршрутів та схем доставки в системі мультимодальних перевезень з урахуванням мінливих обставин в умовах нестабільності, що викликано воєнним станом та необхідністю переорієнтації звичних маршрутів постачання.

Результати дослідження

Усі дії з організації міжнародних перевезень в Україні спираються на Закон про мультимодальні перевезення, прийнятий у листопаді 2021 р. Згідно із статтею 13 про права та обов'язки оператора мультимодальних перевезень оператор має право «обирати або змінювати вид транспорту та маршрут мультимодального перевезення, діючи в інтересах замовника послуги мультимодального перевезення, за умови внесення змін до договору мультимодального перевезення, за згодою сторін та дозволу митного органу, якщо товари та транспортні засоби, що перевозяться, перебувають під митним контролем під час здійснення міжнародних перевезень» [9].

З метою побудови оптимальної схеми доставки та задоволення всіх вимог замовника як внутрішнього, так і міжнародного мультимодального перевезення пропонується застосування методичного підходу до вибору оптимального маршруту мультимодального перевезення на основі модуля, інтегрованого в інформаційну систему транспортно-експедиторської компанії (ТЕК).

У схемі доставки доцільно враховувати змінні умови, що складаються в реальному часі, водночас вантажопотік має супроводжувати інформаційний потік, який би був доступний також у реальному часі. Ця інформація має містити відомості не тільки про стан транспортних засобів та вантажів у певний час, але й відомості про стан і умови функціонування терміналів, портів та прикордонних пунктів на шляху руху вантажів.

Якщо з'являється оперативна інформація щодо зміни ситуації на залізниці через нестачу локомотивів чи парку вагонів, через загрозу обстрілів або руйнування колій, автошляхів та інфраструктури, а в морському порту через блокування його або небезпеку чи у разі нестачі вантажних пристроїв, завантаженості складських, контейнерних майданчиків, або через затори на певному прикордонному пропускному пункті, оператор може прийняти рішення щодо зміни маршруту, виключення залізничної, автомобільної та / або морської складових із маршруту, обрати інший транспортний засіб та схему доставки, розділити партію вантажу, якщо це можливо і не суперечить договору про мультимодальне перевезення, змінити пункти митного пропуску та інше. За таких умов оператор мультимодального перевезення повинен мати доступ і використовувати інтернет-ресурси з постійно оновлюваною в реальному часі актуальною інформацією, а також можливість використання спеціальних модулів інформаційної системи ТЕК для планування, аналізу, зміни та розробки маршрутів.

Сучасні інформаційні технології та засоби ідентифікації дають можливість отримувати інформацію про стан подій, завантаженість доріг, місце знаходження транспортного засобу, температурний режим рефрижераторних вантажів та інше в реальному часі. Використання технології блокчейн дає змогу учасникам перевізного процесу отримувати захищену, цілісну та достовірну інформацію у будь-якій точці світу. Прикладом використання технології блокчейн є використання її судноплавною компанією Maersk для оптимізації доставки вантажів по всьому світу, а також розробка компанії IBM на базі технології блокчейн та RFID-ідентифікації дозволяють відстежувати місце знаходження та стан транспортних засобів, а використання спеціальних датчиків дає можливість контролювати температурні режими для певної категорії вантажів. Усі дані заносяться до єдиної бази даних, користувачі якої мають можливість отримувати інформацію про переміщення транспортного засобу, зміну маршруту, зупинки, аварійні ситуації, порушення температурного режиму, час прибуття, час розвантаження та інше.

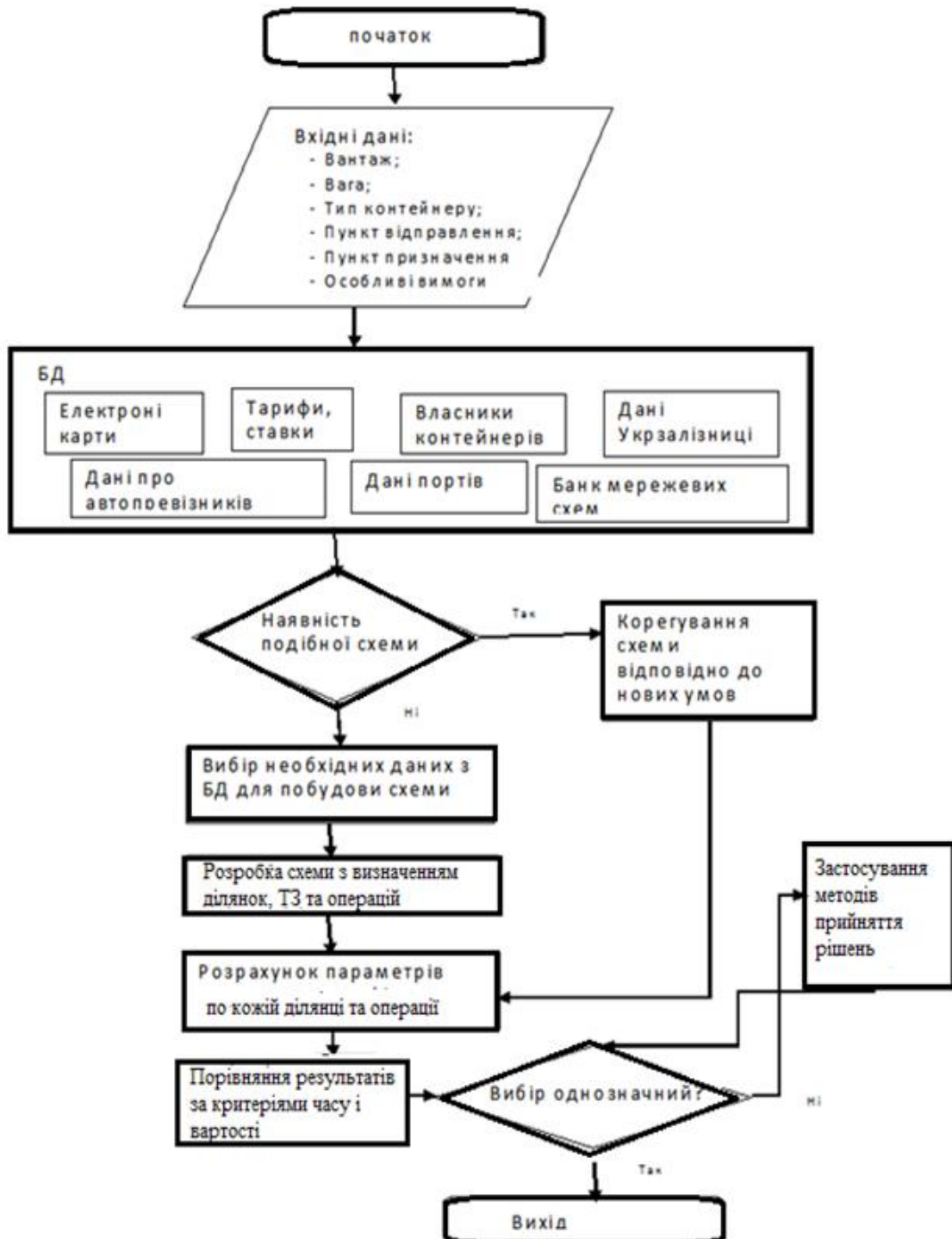


Рис. 1. Блок-схема модуля вибору оптимальної схеми доставки

Створення системи вибору маршруту постачання вантажів у системі мультимодальних перевезень передбачає проектування та розробку бази даних та відповідного програмного забезпечення для роботи з нею та формування необхідних електронних документів, які забезпечують виконання організаційних, технологічних та фінансових умов перевезення на маршруті.

Початкова фаза створення системи маршруту постачання вантажів передбачала створення бази даних цієї системи. Загальний вигляд схеми бази представлено нижче на рис. 2

Формування таблиць бази даних передбачало розбиття інформаційних сутностей системи вибору маршруту постачання єдиної вантажної одиниці (наприклад, контейнера) на довідкові (материнські) та оперативні (дочірні) таблиці.

Подальша робота з базою даних передбачала створення оперативної (дочірньої) таблиці, яка б відповідала кінцевому результату функціонування системи вибору маршруту постачання контейнерних вантажів, а саме: інформаційному формуванню обраного маршруту.

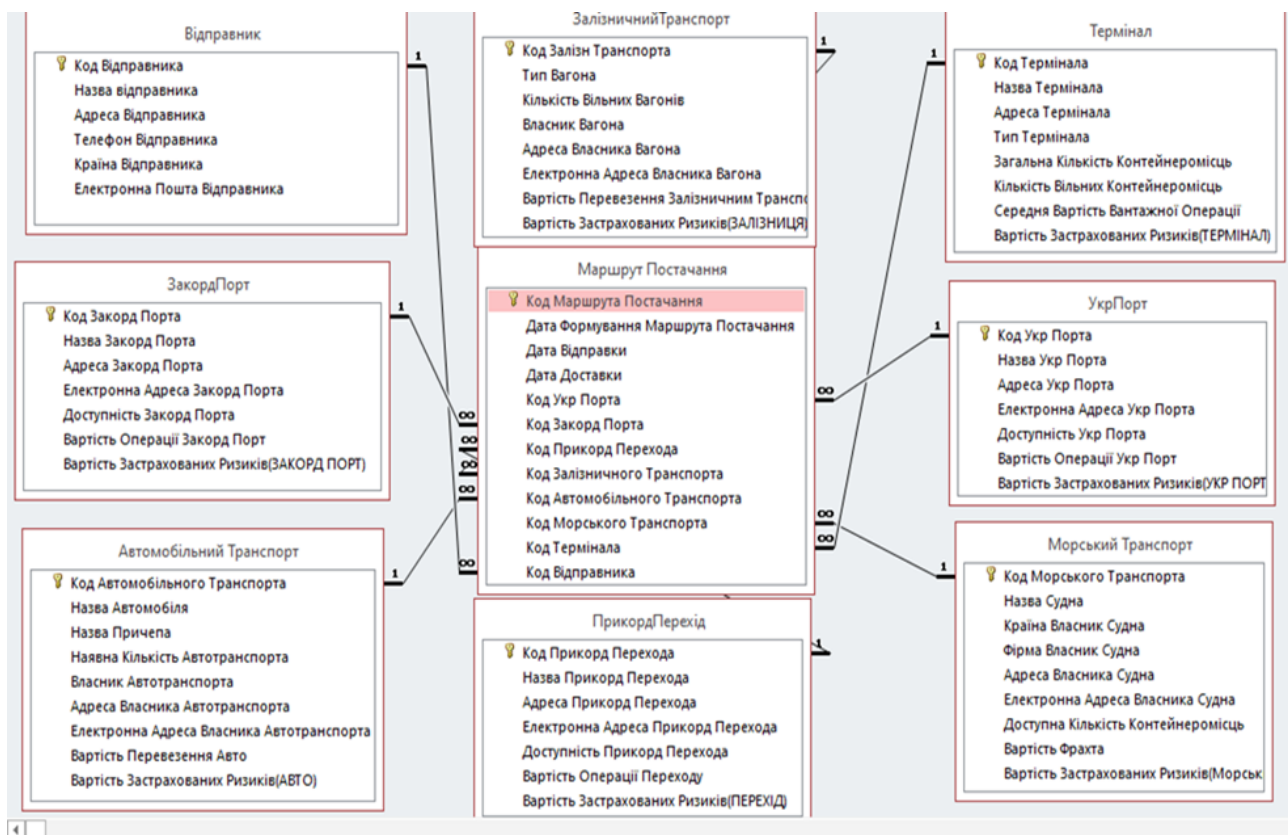


Рис. 2. Схема бази даних системи вибору маршруту постачання вантажів у системі мультимодальних перевезень

Для безпосереднього формування електронної технологічної карти маршруту постачання контейнерних вантажів були сформовані запити до бази даних такого виду:

- запит до бази даних формування технологічної карти маршруту в мультимодальному постачанні контейнерних вантажів із використанням морського, автомобільного та залізничного транспорту.

Структура запиту SQL:

```
SELECT [Маршрут Постачання]. [Дата Формування Маршрута Постачання],
[Автомобільний Транспорт].*, [Відправник].*, [ЗакордПорт].*, [ЗалізничнийТранспорт].*,
[Морський Транспорт].*, [ПрикордПерехід].*, [Термінал].*, [УкрПорт].*
```

```
FROM [УкрПорт] INNER JOIN (([ПрикордПерехід] INNER JOIN ([Морський Транспорт]
INNER JOIN ([ЗалізничнийТранспорт] INNER JOIN ([ЗакордПорт] INNER JOIN ([Відправник]
INNER JOIN ([Автомобільний Транспорт] INNER JOIN [Маршрут Постачання] ON
[Автомобільний Транспорт].[Код Автомобільного Транспорту] = [Маршрут
Постачання].[Код Автомобільного Транспорту]) ON ([Відправник].[Код Відправника] =
[Маршрут Постачання].[Код Відправника]) AND ([Відправник].[Код Відправника] =
```

[Маршрут Постачання].[Код Терміналу])) ON ЗакордПорт.[Код Закорд Порту] = [Маршрут Постачання].[Код Закорд Порту]) ON ЗалізничнийТранспорт.[Код Залізн Транспорту] = [Маршрут Постачання].[Код Залізничного Транспорту]) ON [Морський Транспорт].[Код Морського Транспорту] = [Маршрут Постачання].[Код Морського Транспорту]) ON ПрикордПерехід.[Код Прикорд Переходу] = [Маршрут Постачання].[Код Прикорд Переходу]) INNER JOIN Термінал ON [Маршрут Постачання].[Код Терміналу] = Термінал.[Код Терміналу]) ON УкрПорт.[Код Укр Порту] = [Маршрут Постачання].[Код Укр Порту]
 WHERE (Термінал.[Доступність]="доступний" AND УкрПорт.[Доступність]="доступний" AND ЗакордПорт.[Доступність]="доступний" AND ПрикордПерехід.[Доступність]="доступний");

- запит до бази даних формування технологічної карти маршруту в мультимодальному постачанні контейнерних вантажів із використанням автомобільного та залізничного транспорту.

Структура запиту SQL:

```
SELECT [Маршрут Постачання].[Дата Формування Маршруту Постачання],
[Автомобільний Транспорт].*, Відправник.*, ЗалізничнийТранспорт.*, ПрикордПерехід.*,
Термінал.*
FROM (ПрикордПерехід INNER JOIN (ЗалізничнийТранспорт INNER JOIN (ЗакордПорт
INNER JOIN (Відправник INNER JOIN ([Автомобільний Транспорт] INNER JOIN
[Маршрут Постачання] ON [Автомобільний Транспорт].[Код Автомобільного
Транспорту] = [Маршрут Постачання].[Код Автомобільного Транспорту]) ON
(Відправник.[Код Відправника] = [Маршрут Постачання].[Код Відправника]) AND
(Відправник.[Код Відправника] = [Маршрут Постачання].[Код Терміналу])) ON
ЗалізничнийТранспорт.[Код Залізн Транспорту] = [Маршрут Постачання].[Код
Залізничного Транспорту]) ON ПрикордПерехід.[Код Прикорд Переходу] = [Маршрут
Постачання].[Код Прикорд Переходу]) INNER JOIN Термінал ON [Маршрут
Постачання].[Код Терміналу] = Термінал.[Код Терміналу])
WHERE (Термінал.[Доступність]="доступний" AND
ПрикордПерехід.[Доступність]="доступний");
```

- запит до бази даних формування технологічної карти маршруту в мультимодальному постачанні контейнерних вантажів із використанням автомобільного транспорту.

Структура запиту SQL:

```
SELECT [Маршрут Постачання].[Дата Формування Маршруту Постачання],
[Автомобільний Транспорт].*, Відправник.*, ПрикордПерехід.*, Термінал.*
FROM (ПрикордПерехід INNER JOIN (ЗакордПорт INNER JOIN (Відправник INNER JOIN
([Автомобільний Транспорт] INNER JOIN [Маршрут Постачання] ON [Автомобільний
Транспорт].[Код Автомобільного Транспорту] = [Маршрут Постачання].[Код
Автомобільного Транспорту]) ON (Відправник.[Код Відправника] = [Маршрут
Постачання].[Код Відправника]) AND (Відправник.[Код Відправника] = [Маршрут
Постачання].[Код Терміналу])) ON ПрикордПерехід.[Код Прикорд Переходу] =
[Маршрут Постачання].[Код Прикорд Переходу]) INNER JOIN Термінал ON [Маршрут
Постачання].[Код Терміналу] = Термінал.[Код Терміналу])
WHERE (Термінал.[Доступність]="доступний" AND
ПрикордПерехід.[Доступність]="доступний")
```

Для прийняття рішень щодо варіантів схем доставки в модулі «застосування методів прийняття рішень» необхідно визначитися із системою критеріїв оцінювання. Пропонуються такі критерії (при зміні маршруту):

- різниця відстані перевезення вантажів;
- витрати на зміну наявної системи перевезень вантажів;
- підвищення рівня безпеки;
- вчасність поставки;

- зменшення витрат на доставку партії товарів;
- різниця у часі доставки.

Як бачимо, всі критерії є різні за виміром, тому виникає необхідність вирішення багатокритеріальних задач прийняття рішень, які реалізуються загальновідомими методами в модулі «застосування методів прийняття рішень».

У цьому випадку в модулі «прийняття рішень» реалізовано метод згортання критеріїв, а саме метод адитивної оптимізації; з визначенням адитивного критерію оптимальності (1) [10].

$$F_i(a_{ij}) = \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot a_{ij}, \quad (1)$$

де λ_j – вагові коефіцієнти, які визначають міру переваги j -го критерію порівняно з іншими критеріями в кількісній формі.

Тобто коефіцієнти λ_j визначають ступінь важливості j -го критерію оптимальності. Водночас більш важливому критерію приписується більша вага, а сума коефіцієнтів, яка ототожнює загальну важливість усіх критеріїв, має дорівнювати одиниці.

Для використання цього критерію необхідно нормалізувати визначені вище критерії, оскільки вони неоднорідні, тобто мають різні одиниці виміру. Для цього в модулі прийняття рішень реалізована процедура нормалізації критеріїв.

Під процедурою нормалізації критеріїв розуміється послідовність обчислень, що приводить усі критерії до єдиного, безрозмірного масштабу виміру відповідно до принципу максимальної ефективності (2) [10].

$$\begin{aligned} \hat{a}_{ij} &= \frac{a_{ij}}{a_j^+}, \quad j = \overline{1, l}; \\ \hat{a}_{ij} &= 1 - \frac{a_{ij}}{a_j^+}, \quad j = \overline{l+1, n}; \\ \hat{a}_{ij} &= \frac{a_{ij} - a_j^-}{a_j^+ - a_j^-}, \quad j = \overline{1, l}; \\ \hat{a}_{ij} &= \frac{a_j^+ - a_{ij}}{a_j^+ - a_j^-}, \quad j = \overline{l+1, n}; \end{aligned} \quad (2)$$

Оптимальним обирається той варіант, який забезпечує максимальне значення функції цілі (1).

Висновки

Отже, створений модуль інформаційної підтримки системи вибору схеми доставки відтворює інформаційну модель постачання вантажів у системі мультимодальних перевезень та забезпечує запропоновану методіку необхідною інформацією для прийняття управлінських, фінансових та технологічних рішень оператором мультимодальних перевезень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Вантажооборот морських портів України скоротився на 420 тис. т на добу. URL: <https://gmk.center.ua/news/vantazhooborot-morskih-portiv-ukraini-skorotivsya-na-420-tis-t-na-dobu/> (дата звернення: 24.03.2023).
- [2] Інфологічна модель факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажів залізничним рухомим складом / О. О. Писарчук та ін. *Вісник інженерної академії*. 2019. № 1. С. 148–156.
- [3] Методика многокритериального распределения транспортных потоков в мультимодальной транспортной сети / А. А. Писарчук и др. *Новітні технології: зб. наук. праць*. Київ: Вид-во УНТ, 2018. Вип. 3(7). С. 81–88.
- [4] Силантьєва Ю. Моделювання процесу доставки вантажів у змішаному сполученні. *Науково-технічні дослідження у галузі транспорту* / ред. Д. В. Ломотько. Івано-Франківськ: Академія технічних наук України, 2022. Т 2. С. 143–179.
- [5] Писарчук О. О., Конрад Т. І. Технологія автоматизованого управління транспортними потоками в мультимодальній транспортній мережі *Наукоємні технології*. 2020. № 48(4). С. 451–459.

[6] Альошинський Є. С., Світлична С. О., Багно А. М. Дослідження можливих варіантів доставки міжнародних вантажопотоків при змішаних перевезеннях у межах транспортної системи України. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2014. Вип. 144. С. 45–50.

[7] Халіпова Н. В., Леснікова І. Ю. Моделювання та аналіз контейнерних перевезень в Україні. *Вісник АМСУ*. Серія «Економіка». 2014. № 1(51). С. 149–160.

[8] Король В. Ю. Обґрунтування маршрутів доставки вантажів при транспортно-експедиторському обслуговуванні контейнеропотоків. *Вісник Одеського національного морського університету*. 2018. Вип. 2(55). С. 82–95.

[9] Закон України № 1887-ІХ Про мультимодальні перевезення. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1887-20#Text>

[10] Бережная Е. В., Бережной В. И. Математические методы моделирования экономических систем: учеб. пособ. Москва: Финансы та статистика, 2001. 368 с.

Кічкіна Олена Іванівна – канд. техн. наук, доцент, професор кафедри «Експлуатація портів та технологія вантажних робіт», e-mail: ki4kinaoi@ukr.net

Одеський національний морський університет, м. Одеса

Кічкін Олексій Вікторович – старший викладач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, e-mail: kichkin@ukr.net

Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, м. Київ

O. Kichkina¹
O. Kichkin²

Automation of the construction, comparison and selection of delivery routes and schemes in the multimodal transportation system

¹Odesa National Maritime University

²Volodymyr Dahl East Ukrainian National University

The article proposes the application of a methodical approach to choosing the optimal route of multimodal transportation based on a module integrated into the information system of a freight forwarding company. The functions of the module are to build an optimal delivery scheme and meet all customer requirements, both domestic and international multimodal transportation, taking into account the changing circumstances in the conditions of instability caused by the state of war and the need to reorient the usual delivery routes.

In the conditions of military operations, this method of automated search and comparison of alternative routes allows taking into account changing conditions that develop in real time, while the cargo flow should be accompanied by an information flow that would also be available in real time. The proposed structure of the database, the structures of requests for development routes., developed forms of source documents. The criteria for comparing routes of different dimensions are defined: the difference in the distance of cargo transportation, the costs of changing the existing system of cargo transportation, increasing the level of transportation safety, delivery time, reducing the cost of delivering a batch of goods, the difference in delivery time. A solution to the multi-criteria decision-making problem by normalizing the criteria and the additive optimization method is proposed. The method of determining the best route and supply scheme is implemented in the "decision-making" module, which is integrated into the information system of the transport forwarding company.

The result of the practical implementation of the proposed method of construction, comparison and selection of routes and delivery schemes in the system of multimodal transportation based on the integrated module in the information system of the transport and forwarding company is the possibility of quick response to changes in external circumstances, warnings of emergency and conflict situations, control of the transportation process along the entire route and , if necessary, making adjustments to the route and delivery scheme, choosing a safe and effective option by the operator of multimodal transportation.

Key words: multimodal transportation, types of transport, route selection, route adjustment, information system, multi-criteria analysis, decision-making.

Kichkina Olena – Ph. D. (Eng.), associate professor, professor of the department «Operation of ports and technology of cargo works», e-mail: ki4kinaoi@ukr.net

Kichkin Oleksiy – senior lecturer at the department of railway, road transport and lifting and transport vehicles, e-mail: kichkin@ukr.net