

МОДЕЛЮВАННЯ ВИБОРУ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОТРЕБ ЗАМОВНИКА В ПРОЦЕСІ ОРГАНІЗАЦІЇ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ

Лебідь Є. М.

Національний транспортний університет

Анотація. У роботі наведено імітаційну модель роботи транспортно-експедиторського підприємства в процесі організації мультимодальних перевезень. Розроблена модель передбачає визначення кількісних та якісних показників роботи посередницьких організацій, що здійснюють свою діяльність на різних комерційних умовах. Крім того, модель передбачає визначення необхідної кількості експедиторів для забезпечення роботи відділу мультимодальних перевезень транспортно-експедиторського підприємства залежності від попиту на послугу серед замовників.

Ключові слова: транспортно-експедиторське підприємство, експедитор, замовник, мультимодальні перевезення, імітаційна модель, ефективність

Вступ

Процес вибору транспортно-експедиторського підприємства для здійснення мультимодальних перевезень має суттєвий вплив на ефективність виконання зовнішньоторговельної угоди.

Залучення посередницької організації, здатної забезпечити мінімізацію часової та вартісної складової транспортного процесу є одним з головних аспектів формування конкурентоспроможності товару на міжнародному ринку, оскільки кожне профільне підприємство, що знаходиться в приватній власності, організовує процес обслуговування відповідно до наявного власного кадрового та матеріально-технічного забезпечення.

Ефективність управління внутрішньокорпоративними процесами виконавця має суттєвий вплив на зовнішні процеси щодо взаємодії як із замовником, так і з залученими посередницькими організаціями.

Для замовника транспортно-експедиторських послуг доцільним є вибір для співпраці підприємства, яке здатне здійснити доставку товару з дотриманням усіх вимог зовнішньоторговельного контакту.

Реалізація вибору посередницької організації є досить складним процесом і має безліч характеристик, які можливо врахувати або спрогнозувати лише з використанням сучасних програмних комплексів, одним з яких є розроблення імітаційної моделі (ІМ).

Аналіз публікацій

У роботі [1] автор зазначає, що моделювання глобальної логістичної мережі має містити всі задіяні види транспорту. Але в

цій публікації не розглядається ТЕП як одна зі складових процесу організації перевезень вантажів у міжнародному сполученні.

У статті [2] авторами розроблено багатофакторну модель, яка дозволяє визначити пріоритетність факторів, що впливають на ефективність управління ресурсом ТЕП. Але ця модель не дає можливості досліджувати вплив експедитора на організацію перевезень вантажів у міжнародному сполученні за різними митними режимами.

У роботі [3] зазначається, що саме імітаційне моделювання дає можливість досліджувати логістичні технології. На основі наявних логістичних технологій з використанням ІМ процесу можна вибрати ту, яка задовольняє всім вимогам, які необхідно врахувати під час організації процесу перевезень вантажів.

У статті [4] наведено ІМ, що не може бути застосована для дослідження процесу організації перевезень з використанням різноманітних видів транспорту, оскільки вона розроблена для імітації функціонування окремого транспортного засобу, а не системи загалом. Також ця ІМ не враховує певні особливості організації перевезень за різними митними режимами.

У роботі [5] авторами розроблено ІМ для вирішення проблеми планування в системах стохастичних мультимодальних вантажних перевезень. Модель використовується для пошуку оптимального графіка надання послуг на автомобільному транспорті в контексті мультимодальних перевезень. Проте ця ІМ не передбачає можливості дослідження впливу контингенту експедиторів та особли-

востей різних митних режимів під час організації міжнародних перевезень.

У статті [6] автори зазначають, що оптимальна організація різних видів транспорту в системі контейнерних мультимодальних перевезень безпосередньо впливає на показники ефективності. Для вирішення цієї проблеми авторами розроблена оптимізаційна модель на основі динамічного програмування та запропоновано алгоритм динамічного програмування для отримання оптимальної стратегії комбінації видів транспорту. Ця модель вирішує лише питання оптимальної комбінації різних видів транспорту для перевезення певних вантажів і не враховує вплив якості роботи експедитора на результати досліджень.

У роботі [7] авторами запропонована математична модель, яка надає можливість розглянути максимальну кількість альтернативних учасників доставки та врахувати величину зовнішнього додаткового прибутку від кооперації учасників. Але вона не реалізована у вигляді ІМ та не може бути використана для імітації роботи ТЕП під час дослідження організації міжнародних перевезень з огляду на різні митні режими.

Мета та постановка завдання

Об'єктом дослідження є діяльність виробничого або торгового підприємств, що потребують надання транспортно-експедиторських послуг для організації мультимодальних перевезень вантажів. Основним завданням є вибір транспортно-експедиторського підприємства (ТЕП), що задовольнить потреби замовника з доставки товару k -м маршрутом за вибраними ним критеріями ефективності: розглядається умова аналізу співпраці з транспортно-експедиторськими підприємствами, з якими був попередній досвід роботи; транспортно-експедиторські підприємства, які надають послуги з експедирування та митного оформлення.

Метою роботи є розроблення ІМ діяльності транспортно-експедиторського підприємства під час організації мультимодальних перевезень вантажів і методики вибору замовником посередницької організації, що відповідає задоволенню його індивідуальних потреб.

Це дасть можливість визначити середній час здійснення транспортно-експедиторського обслуговування кожним досліджуваним підприємством, визначити характеристики досліджуваного транспортно-експедиторського підприємства, дослідити та порівняти

показники ефективності співпраці з окремим досліджуваним транспортно-експедиторським підприємством.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання: формалізувати модель роботи транспортно-експедиторського підприємства під час організації перевезення вантажів у міжнародному сполученні; розробити ІМ діяльності транспортно-експедиторського підприємства під час організації мультимодальних перевезень вантажів; здійснити перевірку адекватності ІМ; проаналізувати процес моделювання; розробити методики вибору замовником транспортно-експедиторського підприємства, що відповідає задоволенню потреб замовника; вибрати транспортно-експедиторське підприємство для забезпечення потреб замовника під час організації мультимодальних перевезень вантажів.

Виклад основного матеріалу. Розроблення імітаційної моделі діяльності транспортно-експедиторського підприємства під час мультимодальних перевезень вантажів

Розглядається робота транспортно-експедиторського підприємства під час організації мультимодальних перевезень вантажів. Від замовників транспортно-експедиторських послуг надходять замовлення від контрагентів на перевезення вантажів маршрутами.

Замовники транспортно-експедиторських послуг мають різні умови співпраці з транспортно-експедиторськими підприємствами: тендер, договір, аукціон, редукація, загальні умови.

Метою є розроблення ІМ діяльності транспортно-експедиторського підприємства під час організації мультимодальних перевезень вантажів для визначення таких параметрів:

- визначення середнього часу процесу транспортно-експедиторського обслуговування кожним досліджуваним підприємством;

- визначення характеристик досліджуваного транспортно-експедиторського підприємства.

На процес функціонування транспортно-експедиторського підприємства впливає безліч факторів.

Іх можна поділити на відомі: $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, на які впливати не можна, та керовані: $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$.

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ – вихідні параметри, які залежить від векторів A і X , тобто Y – це певна функція $Y = \Phi(A; X)$.

У загальному вигляді модель функціонування діяльності транспортно-експедиторського підприємства під час організації мультимодальних перевезень вантажів можна записати структурою

$$Y = \left\{ \begin{matrix} a_1, a_2, \dots, a_m \\ x_1, x_2, \dots, x_k \end{matrix} \right\}. \quad (1)$$

Керованими факторами X моделі є такі:

- інтенсивність λ_k надходження замовлень на перевезення вантажів k -м маршрутом;
- умови співпраці (тендер, договір, аукціон, редукація, загальні умови) PR_j з j -м транспортно-експедиторським підприємством, які визначають пріоритетність в обслуговуванні;

Некерованими факторами A моделі є такі:

– середній час $m_{ij} \pm \sigma_{ij}$ i -ї роботи W_i на кожному етапі транспортно-експедиторського обслуговування j -м підприємством;

– кількість експедиторів M_j на j -му транспортно-експедиторському підприємстві, що обслуговують Замовника.

Процесом оброблення заявки транспортно-експедиторським підприємством є типи робіт (табл. 1), які мають бути проведені до того часу, як вона буде повністю здійсненою. Тривалість проведення кожного процесу розглядається як випадкова величина з заданим законом розподілу.

Параметри, необхідні для моделювання випадкової величини, визначаються під час статистичного оброблення інформації натурних досліджень.

Як основний порядок обслуговування заявок прийнято порядок FIFO (першим надійшов – першим обслуговується).

Таблиця 1 – Види робіт експедитора під час організації мультимодальних перевезень

ID роботи	Види робіт
ST_1	<i>Етап 1. Планування робіт</i>
W_{11}	Приймання та розгляд звернення Замовника
W_{12}	Планування маршруту
W_{13}	Вибір перевізників
W_{14}	Формування комерційної пропозиції для Замовника
ST_2	<i>Етап 2. Прийняття заявок від Замовника</i>
W_{21}	Отримання офіційного замовлення на здійснення послуг перевезення чи ТЕО
W_{22}	Укладення договору на перевезення чи ТЕО із Замовником
ST_3	<i>Етап 3. Розміщення заявки на перевезення</i>
W_{31}	Укладання договору на перевезення
W_{32}	Розміщення заявки (букінга) в судноплавній лінії
ST_4	<i>Етап 4. Контроль за дотриманням умов перевезення</i>
W_{41}	Оформлення транспортних документів
W_{42}	Здійснення контролю за завантаженням
W_{43}	Контроль місцезнаходження судна з контейнером на маршруті перевезення
W_{44}	Оформлення попередніх рахунків Замовнику за перевезення
W_{45}	Інформування митного відділу про терміни прибуття вантажу
W_{46}	Здійснення контролю за проходженням митного оформлення вантажів
W_{47}	Здійснення контролю за проходженням митного очищення
W_{48}	Організація перевезення наступним видом транспорту (за необхідності)
W_{49}	Здійснення контролю за вивантаженням товарів
ST_5	<i>Етап 5. Обмін документацією з Замовником та з перевізником за результатами робіт</i>
W_{51}	Обмін документами з перевізником
W_{52}	Організація формування рахунку Замовнику
W_{53}	Обмін документів із Замовником
ST_6	<i>Етап 6. Аналіз здійснення процесу</i>
W_{61}	Закриття заявки
W_{62}	Врегулювання невідповідностей у процесі надання послуги
W_{63}	Врегулювання претензійних вимог Замовника

Вихідними факторами – відгуками Y моделі – є такі:

- середня тривалість транспортно-експедиторського обслуговування t_{kj} j -м підприємством під час організації мультимодальних перевезень k -м маршрутом;
- середня тривалість очікування у черзі на транспортно-експедиторське обслуговування w_{kj} j -м підприємством k -м маршрутом;
- середня довжина черги на транспортно-експедиторське обслуговування η_{kj} j -м підприємством k -му маршрутом;
- частка заявок v_{kj} , що обслужені j -м підприємством без простою в черзі під час організації мультимодальних перевезень k -м маршрутом;
- коефіцієнт завантаження експедиторів ψ_{kj} j -го підприємства під час організації мультимодальних перевезень k -м маршрутом.

Показниками ефективності, що визначають мету моделювання, тобто вибір оптимального транспортно-експедиторського підприємства для організації мультимодальних перевезень k -м маршрутом, є відгуки моделі Y .

Обмеження імітаційної моделі пов'язані з умовами, що накладаються на вхідний потік заявок, які потребують транспортно-експедиторського обслуговування (він є найпростішим, тобто відсутні термінові заявки, а також відсутні явища, що змінюють закономірності часу транспортно-експедиторського обслуговування (відмови, збої устаткування тощо)).

Для дослідження діяльності підприємства під час транспортно-експедиторського процесу пропонується використовувати теорію масового обслуговування.

Запропонована модель діяльності транспортно-експедиторського підприємства реалізована в пакеті автоматизації імітаційного моделювання GPSS World [8]. Приклад тексту ІМ діяльності транспортно-експедиторського підприємства в GPSS World наведено на рис. 1.

Перевірка адекватності ІМ реальному об'єкту здійснювалась для випадку, коли можна визначити значення відгуків системи під час натурних випробувань. З цією метою перевірена гіпотеза про близькість середніх значень кожного відгуку моделі $\bar{Y}$ відомим середнім значенням відгуку реального об'єкта $\bar{Y}^*$. Проведено $N_1 = 5$ дослідів на реальному об'єкті та визначені значення $\{Y_i^*\}$, $i = \overline{1,5}$. За допомогою імітаційної моделі

проведено $N_2 = 5$ дослідів, за відгуками моделі отримані значення $\{Y_i\}$; $i = \overline{1,5}$.

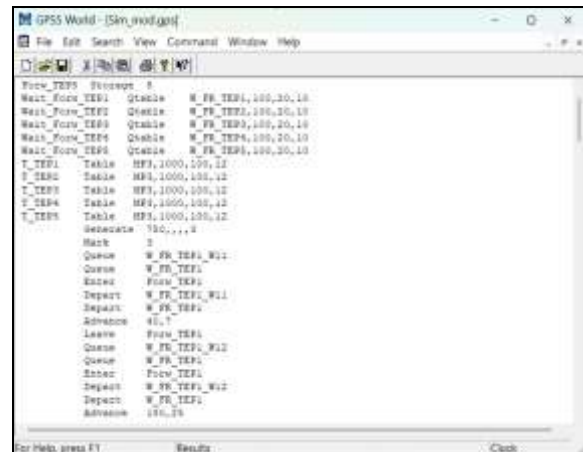


Рис. 1. Частковий програмний лістинг ІМ, реалізованої авторами в GPSS World

Здійснено аналіз математичного очікування та дисперсії відгуків моделі, а також системи (табл. 2) за допомогою таких співвідношень:

$$\bar{Y}_{Q_n}^* = \frac{1}{N_1} \sum_{k=1}^{N_1} Y_{Q_{nk}}^*;$$

$$D_n^* = \frac{1}{N_1 - 1} \sum_{k=1}^{N_1} (Y_{Q_{nk}}^* - \bar{Y}_{Q_n}^*)^2;$$

$$\bar{Y}_n = \frac{1}{N_2} \sum_{k=1}^{N_2} Y_{nk};$$

$$D_n = \frac{1}{N_2 - 1} \sum_{k=1}^{N_2} (Y_{nk} - \bar{Y}_n)^2. \quad (2)$$

Основою перевірки гіпотези є різниця $E_n = (\bar{Y}_n - \bar{Y}_{Q_n}^*)$, оцінкою дисперсії якої буде

$$D_{an} = \frac{(N_1 - 1) D_n + (N_2 - 1) D_n^*}{N_1 + N_2 - 2}. \quad (3)$$

Розраховані оцінки дисперсії D_{an} наведено в табл. 2.

Величини E_n і D_{an} є незалежними статистиками, тому можна використовувати t -статистику:

$$t_n = \left(\bar{Y}_n - \bar{Y}_{Q_n}^* \right) \sqrt{\frac{N_1 N_2}{D_{an} (N_1 + N_2)}}. \quad (4)$$

Таблиця 2 – Перевірка адекватності імітаційної моделі

Відгуки	Значення складових вибірки					Середнє значення відгуку $\bar{Y}_n$, $\bar{Y}_n^*$	Оцінка дисперсії відгуку $\bar{D}_n$, $\bar{D}_n^*$	Дисперсія різниці D_{an}	t -статистика t_n
	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$				
t_{1j}	1544	1438	1624	1468	1697	1554,2	11575,2	13872,60	1,238
t_{1j}^*	1320	1450	1650	1380	1510	1462	16170		
w_{1j}	190	198	161	157	259	193	1677,5	3573,75	0,767
w_{1j}^*	220	190	180	170	350	222	5470		
η_{1j}	1,1	2,4	0,8	1,4	2,8	1,7	0,74	1,22	0,716
η_{1j}^*	1	3	1	2	4	2,2	1,7		
v_{1j}	75	78	80	85	72	78	24,5	41,00	0,247
v_{1j}^*	80	85	75	80	65	77	57,5		
ψ_{1j}	0,77	0,81	0,78	0,84	0,73	0,786	0,00173	0,002	1,219
ψ_{1j}^*	0,82	0,8	0,75	0,85	0,9	0,824	0,00313		

Таблиця 3 – Визначення похибки імітації відгуків імітаційної моделі

Відгуки	$dY_n, \%$	Відгуки	$dY_n, \%$	Відгуки	$dY_n, \%$	Відгуки	$dY_n, \%$
t_{11}	2,4	t_{12}	1,5	t_{13}	1,9	t_{14}	2,5
w_{11}	2,2	w_{12}	1,9	w_{13}	1,8	w_{14}	2,3
η_{11}	1,8	η_{12}	1,6	η_{13}	1,5	η_{14}	2,1
v_{11}	1,9	v_{12}	1,4	v_{13}	1,2	v_{14}	1,8
ψ_{11}	0,8	ψ_{12}	0,7	ψ_{13}	1,0	ψ_{14}	1,9

За кількістю ступенів свободи

$\nu = N_1 + N_2 - 2 = 8$ та рівнем значення $\alpha = 0,05$ за таблицями розподілу Стюдента визначено критичне значення ($t_{кр} = 1,85$). Під час порівняльного аналізу кожного зі значень t -статистики в табл. 2 з $t_{кр}$ ($t_n \leq t_{кр}$) було доведено гіпотезу про близькість середніх значень відгуків моделі та реального об'єкта. Таким чином, можна говорити про адекватність ІМ і реального об'єкта.

Для визначення похибки відгуків ІМ діяльності транспортно-експедиторського підприємства було проведено 10 імітаційних експериментів в серединній точці значень параметрів ІМ.

У l -му імітаційному експерименті ($l = 1, 10$) параметри ІМ не змінювалися, а модифікувалися лише початкові значення алгоритмів базових генераторів. Під час імітаційного експерименту були сформовані вибірки з обсягом $N = 10$ кожного k -го відгуку ІМ $\{Y_{nk}\}$.

За ними обчислювалися оцінки математичного очікування та вибіркової дисперсії відгуків моделі ($\bar{Y}_n, \bar{D}_n$) за формулою (2).

Значення похибок dY_n у відсотках для ІМ, розраховані за формулою (5), наведені в табл. 3.

$$dY_n = \frac{t_{0,05}}{\bar{Y}_n} \sqrt{\frac{\bar{D}_n}{N-1}} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Точність імітації визначається за формулою

$$d_{SM} = \max_n \{dY_n\}. \quad (6)$$

Під час пробного імітаційного експерименту було визначено, що верхня межа похибки імітації дорівнює $d_{SM} = 2,5 \%$ за допустимих 3% . Таким чином, похибка імітації є несуттєвою для цього дослідження.

Згідно зі звітами, під час моделювання діяльності транспортно-експедиторського підприємства в процесі перевезення вантажів k -м маршрутом ($k = 1$ – Шанхай – Гданськ – Київ, $k = 2$ – Шанхай – Рига – Київ, $k = 3$ – Шанхай – Констанца – Київ) отримані результати, які наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Результати моделювання транспортно-експедиторського обслуговування

Підприємства	ТЕП № 1	ТЕП № 2	ТЕП № 3	ТЕП № 4	ТЕП № 5
Умови співпраці	Аукціон	Редукціон	Тендер	Договір	Загальні умови
Пріоритет обслуговування	3	4	1	2	5
Маршрут № 1 Шанхай – Гданськ – Київ ($k = 1$)					
t_{1j} , хв	1544	1438	1624	1468	1697
w_{1j} , хв	190	198	161	157	259
η_{1j}	1,1	2,4	0,8	1,4	2,8
v_{1j} , %	75	78	80	85	72
ψ_{1j}	0,77	0,81	0,78	0,84	0,73
Маршрут № 2 Шанхай – Рига – Київ ($k = 2$)					
t_{2j} , хв	1524	1586	1776	1271	1664
w_{2j} , хв	187	219	176	136	254
η_{2j}	0,9	2	1	1,7	2,5
v_{2j} , %	80	76	79	87	72
ψ_{2j}	0,78	0,79	0,78	0,89	0,74
Маршрут № 3 Шанхай – Констанца – Київ ($k = 3$)					
t_{3j} , хв	1653	1618	1626	1378	1676
w_{3j} , хв	203	223	161	148	256
η_{3j}	1,1	1,8	1,4	2,2	1,5
v_{3j} , %	74	75	80	86	72
ψ_{3j}	0,75	0,79	0,78	0,85	0,73

Розглянуто діяльність п'яти транспортно-експедиторських підприємств із різними комерційними умовами співробітництва (тендер, договір, аукціон, редукціон, загальні умови). На підставі результатів моделювання стає можливим за отриманими показниками ефективності приймати рішення щодо взаємодії з транспортно-експедиторськими підприємства з огляду на індивідуальні потреби замовника.

Також аналіз діяльності транспортно-експедиторських підприємств здійснюється на основі різних якісних та кількісних показників. Завдання визначення їхнього складу зводиться до того, щоб вони максимально враховували зміст та особливості об'єкта аналізу, а також однозначно визначали мету моделювання – вибір транспортно-експедиторського підприємства, що задовольнить потреби замовника з доставки вантажу.

Для порівняльного аналізу транспортно-експедиторських підприємств використано групи показників чи факторів (локальних критеріїв), що визначають різний рівень їхнього технічного, технологічного та організаційного забезпечення.

Як кількісні, так і якісні показники мають різні одиниці вимірювання, неоднаковий ступінь впливу (вага) та різну його спрямованість на підсумковий показник ефективності (узагальнений критерій) вибору оптимального для замовника транспортно-експедиторського підприємства.

Можна визначити дві групи показників, що мають пряму та зворотну спрямованість впливу на підсумковий показник ефективності. Для зведення показників однієї групи до показників іншої необхідно знайти величини, що обернені до даних.

Для кожної групи факторів визначається матриця показників F_i ($i = \overline{1, n}$), які мають єдину спрямованість на підсумковий узагальнений показник ефективності оцінюваних транспортно-експедиторських підприємств (табл. 5). Значення показників F_i визначається ваговими коефіцієнтами W_i ($i = \overline{1, n}$), що є внеском кожного показника до узагальненого критерію щодо кожної групи факторів.

За кожним фактором вибирається мінімальне значення показників ефективності:

$$I_i^* = \min_j \{I_{ij}\}. \quad (7)$$

де W_i ($i = \overline{1, n}$) – вага i -го показника ефективності; I_{ij} ($i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$) – значення i -го показника ефективності для j -го транспортно-експедиторського підприємства.

Оскільки показники ефективності мають різні одиниці вимірювання, вихідні дані необхідно звести до деякого діапазону $([0, \dots, 1])$, здійснивши їх нормалізацію способом розподілу оптимального показника I_i^* на показники I_{ij} , що визначають ТЕП _{j} (табл. 6).

Таблиця 5 – Матриця показників ефективності ТЕП

Показник	Вага	ТЕП ₁	ТЕП ₂	...	ТЕП _j	...	ТЕП _m	Оптимальні показники
F_1	W_1	I_{11}	I_{12}	...	I_{1j}	...	I_{1m}	I_1^*
F_2	W_2	I_{21}	I_{22}	...	I_{2j}	...	I_{2m}	I_2^*
...	...	...	...	...	...	...	...	...
F_i	W_i	I_{i1}	I_{i2}	...	I_{ij}	...	I_{im}	I_i^*
...	...	...	...	...	...	...	...	...
F_n	W_n	I_{n1}	I_{n2}	...	I_{nj}	...	I_{nm}	I_n^*

Таблиця 6 – Матриця співвідношення показників ефективності ТЕП

Показники	Вага	ТЕП ₁	ТЕП ₂	...	ТЕП _j	...	ТЕП _m	Оптимальні показники
1	2	3	4	5	6	7	8	9
F_1	W_1	I_1^*/I_{11}	I_1^*/I_{12}	...	I_1^*/I_{1j}	...	I_1^*/I_{1m}	$I_1^*/I_1^* = 1$
F_2	W_2	I_2^*/I_{21}	I_2^*/I_{22}	...	I_2^*/I_{2j}	...	I_2^*/I_{2m}	$I_2^*/I_2^* = 1$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
F_i	W_i	I_i^*/I_{i1}	I_i^*/I_{i2}	...	I_i^*/I_{ij}	...	I_i^*/I_{im}	$I_i^*/I_i^* = 1$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
F_n	W_n	I_n^*/I_{n1}	I_n^*/I_{n2}	...	I_n^*/I_{nj}	...	I_n^*/I_{nm}	$I_n^*/I_n^* = 1$
FG_j		$\sum_{i=1}^n W_i \cdot \frac{I_i^*}{I_{i1}}$	$\sum_{i=1}^n W_i \cdot \frac{I_i^*}{I_{i2}}$		$\sum_{i=1}^n W_i \cdot \frac{I_i^*}{I_{ij}}$		$\sum_{i=1}^n W_i \cdot \frac{I_i^*}{I_{im}}$	$\sum_{i=1}^n W_i$

Для порівняльного аналізу транспортно-експедиторських підприємств з огляду на вагові коефіцієнти W_i визначається узагальнений показник ефективності ТЕП_j:

$$FG_j = \sum_{i=1}^n W_i \cdot \frac{I_i^*}{I_{ij}}, \quad j = (\overline{1, m}). \quad (8)$$

Узагальнений показник ефективності для оптимального ТЕП дорівнює

$$FG^* = \sum_{i=1}^n W_i \cdot \frac{I_i^*}{I_i^*} = \sum_{i=1}^n W_i, \quad j = (\overline{1, m}). \quad (9)$$

Інтегральний показник ефективності визначається способом зіставлення узагальненого показника ефективності для оптимального ТЕП з узагальненим показником оцінюваного ТЕП_j:

$$IG_j = FG^* - FG_j, \quad j = (\overline{1, m}). \quad (10)$$

Чим менший інтегральний показник ефективності оцінки ТЕП, тим вищою є ефективність оцінюваного транспортно-експедиторського підприємства, тим ближче оцінюване ТЕП_j до оптимального.

Для порівняльного аналізу транспортно-експедиторських підприємств використано L груп показників, що визначають ТЕП_j. За

l -ою групою факторів визначається інтегральний показник ефективності IG_{lj} . Узагальнений інтегральний показник ефективності оцінюваного ТЕП_j визначається як

$$I_j = \sum_{l=1}^L IG_{lj}. \quad (11)$$

Проранжувавши ТЕП_j за збільшенням інтегральних показників ефективності IG_j або узагальнених інтегральних показників I_j , можна вибрати транспортно-експедиторське підприємство, що задовольнить потреби замовника під час організації перевезень вантажів.

Для визначення рівня ефективності роботи транспортно-експедиторських підприємств та вибору замовником ТЕП_j, що відповідає задоволенню потреб замовника під час організації мультимодальних перевезень вантажів, використано дві групи показників:

– кількісні показники, що є результатами імітаційного моделювання транспортно-експедиторського обслуговування під час організації мультимодальних перевезень вантажів маршрутами Шанхай – Гданськ – Київ, Шанхай – Рига – Київ, Шанхай – Констанца – Київ (див. табл. 4);

– якісні показники аналізу співпраці з транспортно-експедиторськими підприємствами.

Внаслідок імітаційного моделювання роботи п'яти транспортно-експедиторських підприємств визначено значення показників ефективності ТЕП: середня тривалість транспортно-експедиторського обслуговування за k -м маршрутом (F_{k1}); середня тривалість очікування в черзі на транспортно-експедиторське обслуговування за k -м маршрутом (F_{k2}); середня довжина черги на транспортно-експедиторське обслуговування за k -м маршрутом (F_{k3}); частка заявок за k -м маршрутом, що обслужені без простою в черзі (F_{k4}); коефіцієнт завантаження експедиторів під час обслуговування на k -му маршруті (F_{k5}) (табл. 7).

Показник F_{k4} має пряму спрямованість на підсумковий показник ефективності. Показ-

ник F_{k4} зведено до показників, що мають зворотну спрямованість на підсумковий показник ефективності. Вони мають однакове значення впливу на підсумковий показник ефективності, отже, вагові коефіцієнти W є однаковими та враховуються під час розрахувань.

Оскільки показники ефективності мають різні одиниці вимірювання, то вихідні дані зведені до діапазону $[0, \dots, 1]$ способом нормалізації даних (табл. 8). Узагальнені показники ефективності транспортно-експедиторських підприємств FG_{kj} ($k = \overline{1, 3}; j = \overline{1, 5}$), оптимальні FG_k^* , розраховані за формулами (8–9) та наведені в табл. 8

Таблиця 7 – Матриця показників ефективності ТЕП

Показники		ТЕП ₁	ТЕП ₂	ТЕП ₃	ТЕП ₄	ТЕП ₅	Оптимальні показники
Маршрут № 1 Шанхай – Гданськ – Київ ($k = 1$)							
F_{11}	t_{1j}	1544	1438	1624	1468	1697	1438
F_{12}	w_{1j}	190	198	161	157	259	157
F_{13}	η_{1j}	1,1	2,4	0,8	1,4	2,8	0,8
F_{14}	v_{1j}	0,0133	0,0128	0,0125	0,0118	0,0139	0,0118
F_{15}	ψ_{1j}	0,77	0,81	0,78	0,84	0,73	0,73
Маршрут № 2 Шанхай – Рига – Київ ($k = 2$)							
F_{21}	t_{2j}	1524	1586	1776	1271	1664	1271
F_{22}	w_{2j}	187	219	176	136	254	136
F_{23}	η_{2j}	0,9	2	1	1,7	2,5	0,9
F_{24}	v_{2j}	0,013	0,013	0,013	0,011	0,014	0,011
F_{25}	ψ_{2j}	0,78	0,79	0,78	0,89	0,74	0,74
Маршрут № 3 Шанхай – Констанца – Київ ($k = 3$)							
F_{31}	t_{3j}	1653	1618	1626	1378	1676	1378
F_{32}	w_{3j}	203	223	161	148	256	148
F_{33}	η_{3j}	1,1	1,8	1,4	2,2	1,5	1,1
F_{34}	v_{3j}	0,0135	0,0133	0,0125	0,0116	0,0139	0,0116
F_{35}	ψ_{3j}	0,75	0,79	0,78	0,85	0,73	0,73

Таблиця 8 – Матриця співвідношення показників ефективності ТЕП

Показники		ТЕП ₁	ТЕП ₂	ТЕП ₃	ТЕП ₄	ТЕП ₅	Оптимальні показники
1		2	3	4	5	6	7
Маршрут № 1 Шанхай – Гданськ – Київ							
F_{11}	t_{1j}	0,931	1,000	0,885	0,980	0,847	1
F_{12}	w_{1j}	0,826	0,793	0,975	1,000	0,606	1
F_{13}	η_{1j}	0,727	0,333	1,000	0,571	0,286	1
F_{14}	v_{1j}	0,887	0,922	0,944	1,000	0,849	1
F_{15}	ψ_{1j}	0,948	0,901	0,936	0,869	1,000	1
FG_{1j}		4,32	3,95	4,741	4,42	3,59	5

Продовження табл.8

1	2	3	4	5	6	7	
Маршрут № 2 Шанхай – Рига – Київ							
F_{21}	t_{2j}	0,834	0,801	0,716	1,000	0,764	1
F_{22}	w_{2j}	0,727	0,621	0,773	1,000	0,535	1
F_{23}	η_{2j}	1,000	0,450	0,900	0,529	0,360	1
F_{24}	v_{2j}	0,846	0,846	0,846	1,000	0,786	1
F_{25}	ψ_{2j}	0,949	0,937	0,949	0,831	1,000	1
FG_{2j}		4,36	3,66	4,183	4,36	3,44	5
Маршрут № 3 Шанхай – Констанца – Київ							
F_{31}	t_{3j}	0,834	0,852	0,847	1,000	0,822	1
F_{32}	w_{3j}	0,729	0,664	0,919	1,000	0,578	1
F_{33}	η_{3j}	1,000	0,611	0,786	0,500	0,733	1
F_{34}	v_{3j}	0,859	0,872	0,928	1,000	0,835	1
F_{35}	ψ_{3j}	0,973	0,924	0,936	0,859	1,000	1
FG_{3j}		4,40	3,92	4,416	4,36	3,97	5

Таблиця 9 – Інтегральні показники ефективності ТЕП

Маршрут доставки вантажу	Інтегральні Показники	ТЕП ₁	ТЕП ₂	ТЕП ₃	ТЕП ₄	ТЕП ₅
Шанхай – Гданськ – Київ	IG_{1j}	0,68	1,05	0,26	0,58	1,41
Шанхай – Рига – Київ	IG_{2j}	0,64	1,34	0,82	0,64	1,56
Шанхай – Констанца – Київ	IG_{3j}	0,60	1,08	0,58	0,64	1,03

Таблиця 10 – Якісні показники аналізу співпраці з ТЕП

Показники		ТЕП ₁	ТЕП ₂	ТЕП ₃	ТЕП ₄	ТЕП ₅
F_1	Екологічність у комунікаціях	0,12	0,142	0,2	0,16	0,14
F_2	Зменшення кількості процесів до покупки послуги	0,083	0,052	0,22	0,16	0,16
F_3	Оперативність оброблення звернень	0,13	0,15	0,07	0,18	0,2
F_4	Знання своєї аудиторії та специфіки доставки категорій товарів	0,16	0,18	0,08	0,06	0,07
F_5	Всі канали взаємодії у централізованій системі	0,147	0,15	0,08	0,08	0,11
F_6	Персоналізація	0,12	0,17	0,14	0,1	0,03
F_7	Лояльність	0,13	0,14	0,1	0,17	0,19
F_8	Безперешкодна комунікація	0,11	0,016	0,11	0,09	0,1

Інтегральні показники ефективності IG_{kj} ($k=1,3; j=1,5$) транспортно-експедиторського обслуговування під час організації мультимодальних перевезень вантажів за маршрутами Шанхай – Гданськ – Київ, Шанхай – Рига – Київ, Шанхай – Констанца – Київ розраховані за формулою (10) та наведені в табл. 9.

Оскільки чим меншим є інтегральний показник ефективності IG_{kj} ТЕП_j, тим вищою є ефективність транспортно-експедиторського підприємства, що оцінюється, то за першою

групою показників отримані такі результати за маршрутами доставки вантажу:

- Шанхай – Гданськ – Київ: ТЕП₅, ТЕП₂, ТЕП₁, ТЕП₄, ТЕП₃;
- Шанхай – Рига – Київ: ТЕП₅, ТЕП₂, ТЕП₃, ТЕП₁, ТЕП₄;
- Шанхай – Констанца – Київ: ТЕП₂, ТЕП₅, ТЕП₄, ТЕП₁, ТЕП₃.

У межах дослідження визначено показники аналізу рівня якості сервісу, що надавався транспортно-експедиторськими підприємствами.

Оскільки показники F_1-F_8 мають пряму спрямованість на підсумковий показник ефективності, то знайдено зворотні величини (табл. 11).

Здійснено нормалізацію вихідних даних (табл. 12). Узагальнені показники ефективності транспортно-експедиторських підприємств FG_j ($j=\overline{1,5}$) й оптимальні FG_k^* без урахування вагових коефіцієнтів W . Інтегральні показники ефективності IG_j ($j=\overline{1,5}$) розраховані за формулами (8–10) та наведені в табл. 12.

З огляду на групи показників ефективності, що визначають ТЕП_j, узагальнені інтегральні показники ефективності I_k ($k=\overline{1,3}$) транспортно-експедиторського обслугову-

вання під час організації мультимодальних перевезень вантажів за маршрутами Шанхай – Гданськ – Київ, Шанхай – Рига – Київ, Шанхай – Констанца – Київ, розраховані за формулою (11), наведені в таблиці 13.

Проранжувавши ТЕП_j за збільшенням узагальнених інтегральних показників ефективності I_{kj} за двома групами показників, отримано такі результати за маршрутами доставки вантажу:

– Шанхай – Гданськ – Київ: ТЕП₅, ТЕП₂, ТЕП₄, ТЕП₁, ТЕП₃;

– Шанхай – Рига – Київ: ТЕП₅, ТЕП₂, ТЕП₃, ТЕП₄, ТЕП₁;

– Шанхай – Констанца – Київ: ТЕП₂, ТЕП₅, ТЕП₄, ТЕП₃, ТЕП₁.

Таблиця 11 – Матриця показників ефективності ТЕП

Показники	ТЕП ₁	ТЕП ₂	ТЕП ₃	ТЕП ₄	ТЕП ₅	Оптимальні показники
F_1	8,33	7,04	5,00	6,25	7,14	5,00
F_2	12,05	19,23	4,55	6,25	6,25	4,55
F_3	7,69	6,67	14,29	5,56	5,00	5,00
F_4	6,25	5,56	12,50	16,67	14,29	5,56
F_5	6,80	6,67	12,50	12,50	9,09	6,67
F_6	8,33	5,88	7,14	10,00	33,33	5,88
F_7	7,69	7,14	10,00	5,88	5,26	5,26
F_8	9,09	62,50	9,09	11,11	10,00	9,09

Таблиця 12 – Матриця співвідношення узагальнених та інтегральних показників ефективності ТЕП

Показники	ТЕП ₁	ТЕП ₂	ТЕП ₃	ТЕП ₄	ТЕП ₅	Оптимальні показники
F_1	0,60	0,71	1,00	0,80	0,70	1
F_2	0,38	0,24	1,00	0,73	0,73	1
F_3	0,65	0,75	0,35	0,90	1,00	1
F_4	0,89	1,00	0,44	0,33	0,39	1
F_5	0,98	1,00	0,53	0,53	0,73	1
F_6	0,71	1,00	0,82	0,59	0,18	1
F_7	0,68	0,74	0,53	0,89	1,00	1
F_8	1,00	0,15	1,00	0,82	0,91	1
FG_j	5,89	5,58	5,68	5,60	5,64	8
IG_j	2,11	2,42	2,32	2,40	2,36	0

Таблиця 13 – Узагальнені інтегральні показники ефективності ТЕП

Маршрут доставки вантажу	Інтегральні показники	ТЕП ₁	ТЕП ₂	ТЕП ₃	ТЕП ₄	ТЕП ₅
Шанхай – Гданськ – Київ	I_{1j}	2,79	3,47	2,58	2,98	3,77
Шанхай – Рига – Київ	I_{2j}	2,75	3,76	3,14	3,04	3,92
Шанхай – Констанца – Київ	I_{3j}	2,71	3,50	2,90	3,04	3,39

На основі отриманих значень інтегральних показників замовник має можливість під час перевезення вантажів за різними мультимодальними маршрутами вибирати підприємство з огляду на пріоритети щодо кількісних та якісних характеристик обслуговування.

Висновки

Сучасні інтеграційні процеси потребують від українських суб'єктів зовнішньоекономічної діяльності прийняття управлінських рішень, здатних забезпечити високий рівень ефективності виконання умов зовнішньоторговельної угоди та здійснення всіх етапів робіт як покупцем і продавцем, так і залученими посередницькими організаціями.

Процес здійснення мультимодальних перевезень передбачає вибір ТЕП, що за кількісними та якісними показниками роботи відповідає заданим умовам перевезення.

Співставлення характеристик процесу обслуговування дозволяє визначити пріоритетні показники та на основі їх аналізу прийняти найбільш ефективне рішення про співпрацю.

Література

1. Furuichi M. Cross-border logistics practices, policies, and its impact. 2021. 47–69. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814060-4.00003-4>
2. Sokolova O., Soloviova O., Borets, I., Vysotska I. Development of conceptual provisions to effectively manage the activities of a multimodal transport operator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 1 38–50. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225522>
3. Kubasakova I., Senko, Š. Simulation of Goods Transport. *Communications in Computer and Information Science*. 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59270-7_22
4. Migawa K., Sołtysiak A., Czyżewska M. Method of assessment of the transport system functioning with the application of the simulation model of the operating process. *MATEC Web of Conferences*. 2019. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201930201016>
5. Layeb S., Jaoua A., Jbira A., Makhoulf, Y. A simulation-optimization approach for scheduling in stochastic freight transportation. *Comput. Ind. Eng.* 2018. 126. 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.09.021>
6. Hao C., Yue Y. Optimization on Combination of Transport Routes and Modes on Dynamic Programming for a Container Multimodal Transport System. *Procedia Engineering*. 2016. 137. 382–390. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.01.272>

7. Нагорний Є. В., Шраменко Н. Ю., Орда О. О. Математична модель вибору раціональних стратегій поведінки транспортно-експедиторських підприємств при взаємодії із суб'єктами транспортного ринку на умовах кооперації. *Автомобільний транспорт*. 2017. Вип. 40. С. 12–19. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/at_2017_40_4
8. GPSS World Reference Manual. Minuteman Software. Holly Springs NC. 2001. P. 305.

References

1. Furuichi, M. (2021). Cross-border logistics practices, policies, and its impact. 47–69. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814060-4.00003-4>
2. Sokolova, O., Soloviova, O., Borets, I., & Vysotska, I. (2021). Development of conceptual provisions to effectively manage the activities of a multimodal transport operator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 1. 38–50. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225522>
3. Kubasakova, I., & Senko, Š. (2020). Simulation of Goods Transport. *Communications in Computer and Information Science*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59270-7_22
4. Migawa, K., Sołtysiak, A., & Czyżewska, M. (2019). Method of assessment of the transport system functioning with the application of the simulation model of the operating process. *MATEC Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201930201016>
5. Layeb, S., Jaoua, A., Jbira, A., & Makhoulf, Y. (2018). A simulation-optimization approach for scheduling in stochastic freight transportation. *Comput. Ind. Eng.* 126. 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.09.021>
6. Hao, C., & Yue, Y. (2016). Optimization on Combination of Transport Routes and Modes on Dynamic Programming for a Container Multimodal Transport System. *Procedia Engineering*. 137. 382–390. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.01.272>
7. Nahorni, Y., Shramenko, N. & Orda A. (2017). «Математична модель вибору раціональних стратегій поведінки транспортно-експедиторських підприємств при взаємодії із суб'єктами транспортного ринку на умовах кооперації. *Автомобільний транспорт*. Kharkiv. 40. С. 12. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2017.40.0.12>
8. GPSS World Reference Manual. Minuteman Software. Holly Springs NC. 2001. P. 305.

Лебідь Євгеній Михайлович, к. т. н., доц. каф. транспортного права та логістики,
тел.: +38(073)017–71–67, e-mail:
yevhenii2018lebid@gmail.com,
Національний транспортний університет,
вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010,
Україна.

Modeling the Selection of a Freight Forwarding Company to Meet Customer Needs in the Organization of Multimodal Cargo Transportation

Problem: The issue of efficiency in the delivery of goods in international transportation is particularly relevant given the high level of competition among intermediary organizations in the freight forwarding services market. Each business entity offers a different range of services to customers, which vary in terms of cost, duration, and service quality. To establish reliable partnerships, it is advisable to agree on cooperation conditions between the client and the service provider that align with the strategic goals of both organizations. **Goal.** The objective of this study is to develop a simulation model of the activities of a freight forwarding company in organizing multimodal cargo transportation, as well as to create a methodology for clients to select a freight forwarding company that best meets their needs. **Methodology.** The evaluation of the performance indicators of freight forwarding companies that provide services to clients under various commercial conditions is carried out based on a simulation model developed in the GPSS software environment. This approach allows for the identification of deviations in the generalized efficiency indicators of freight forwarding companies, taking into account customer requirements regarding cooperation terms and delivery routes. **Results.** The application of modern software solutions in the activities of production and trade enterprises enables a comparative analysis of the effectiveness of cooperation with various foreign economic entities and facilitates managerial decision-making regarding the servicing of individual orders or the establishment of long-term partnerships. A key advantage of the proposed model is its

ability to assess both qualitative and quantitative indicators of freight forwarding companies' performance, considering the individual requirements of the client. **Originality.** The proposed simulation model for selecting a freight forwarding company to meet customer needs in organizing multimodal cargo transportation allows for a justified choice of an intermediary organization, considering the commercial cooperation terms, service quality, and efficiency indicators. **Practical Value.** The practical significance of this study lies in the fact that the proposed simulation model can be applied for planning the operations of a freight forwarding company when servicing clients who require cargo delivery via various multimodal routes. This is achieved through formalizing the time characteristics of operations performed at each service stage and evaluating the quality of service provided by company personnel. Additionally, clients can use this software solution to select an intermediary organization based on previous interaction experience and transportation route considerations.

Keywords: freight forwarding company, forwarder, client, multimodal transportation, simulation model, efficiency.

Lebid Ievgenii, PhD, Associate Professor,
Department of Transport Law and Logistics,
E-mail: yevhenii2018lebid@gmail.com, contact tel.:
+38(073) 017-71-67,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1794-8060>
National Transport University
Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka str., 1, Kyiv,
01010, Ukraine.