

Д. М. КОЗАЧЕНКО, Ю. М. ГЕРМАНЮК (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕНІ

Виконаний аналіз конкурентних напрямків слідування вантажопотоків у міжнародному сполученні. Розглянута структура системи міжнародних залізничних перевезень. Описані цілі учасників перевізного процесу.

Ключові слова: міжнародні транзитні перевезення, транспортна система, математична модель

Выполнен анализ конкурентных направлений следования грузопотоков в международном сообщении. Рассмотрена структура системы международных железнодорожных перевозок. Описаны цели участников перевозочного процесса.

Ключевые слова: международные транзитные перевозки, транспортная система, математическая модель.

The analysis of competing directions of following goods in international traffic is executed. The structure of international rail transport is examined. Objectives of the participants of transportation process are described.

Key words: international transit, transportation system, mathematical model.

Однією з обов'язкових умов розвитку економіки України в глобалізованому світі є наявність ефективної транспортної системи. Розгалужена залізнична мережа, значна доля електрифікованих залізниць, широкі транспортні контакти з країнами Східної і Західної Європи, вихід до Чорного та Азовського морів створюють умови для широкого залучення транзитних вантажопотоків та отримання доходів від експорту транспортних послуг.

Необхідно відмітити, що транспортна система України знаходиться в умовах жорсткої конкуренції з транспортними системами інших країн. Нарощування потужностей в морських портах країн Чорноморського басейну та Прибалтики, здійснення щодо них протекціоністських заходів, розширення переліку послуг із здійснення операцій з вантажами, реалізація сприятливої тарифної політики, оновлення залізничної інфраструктури та придбання залізничного рухомого складу нового покоління приводить до перерозподілу на них транзитних вантажопотоків. Динаміка транзитних перевезень залізницями України та залізницями конкуруючих держав наведена на рис. 1. Аналіз наведених даних показує, що в сучасних умовах спостерігається зменшення обсягів транзитних вагонопотоків. Так, для прикладу, у 2008 році залізницями України в морські порти було перевезено 38% російського вугілля, а залізницями країн Прибалтики – 62%. У 2012 році відбулася значна зміна співвідношення

21% до 79% на користь Прибалтики, при цьому транзитний потік вугілля через прибалтійські порти зріс на 13%.

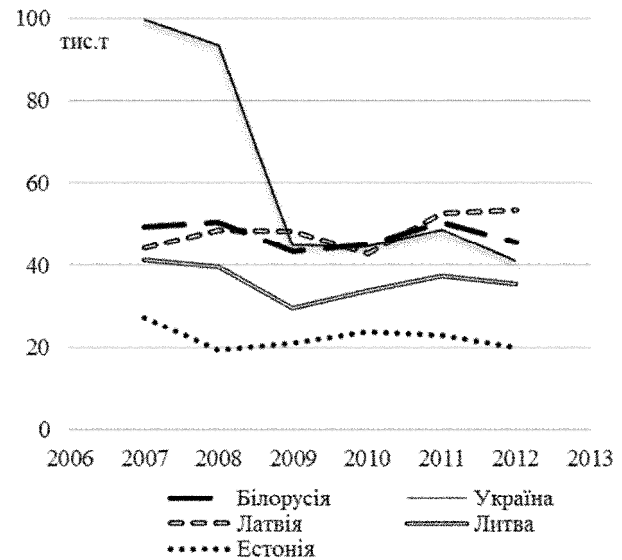


Рис. 1. Динаміка транзитних перевезень залізницями України та залізницями конкуруючих держав

Таким чином, в сучасних умовах для Українських залізниць та портів актуальною є задача пошуку конкурентних параметрів транспортної системи: рівня тарифів, вартості інших послуг, пропускної спроможності, швидкості та ритмічності доставки для приваблення транзитних вантажів через територію України. Вирішення поставленої задачі вимагає побудови адекватної математичної моделі транзитних перевезень.

Умови міжнародних перевезень залізничним транспортом суттєво відрізняються від умов перевезень вантажів у внутрішньому сполученні. Як правило вантажовідправник має можливість обирати різні маршрути поставки вантажів по залізницям різних країн. Тому залізниці не є монополістами і вимушені конкурувати між собою (див. рис.2).

В сучасних умовах міжнародні перевезення вантажів являють собою складний процес, учасниками якого є вантажовідправники та вантажоотримувачі, експедитори, митні та прикордонні органи, залізничні адміністрації різних країн, оператори вагонного парку, морські порти. При цьому окремі учасники перевізного процесу мають власні, часто суперечливі цілі. У зв'язку з цим система міжнародних залізничних перевезень розглядається як багатозадачна, багатоканальна, стохастична, динамічна, складна система масового обслуговування. В якості моделі маршрутів слідування вагонопотоків обрано зважений орієнтований граф $G(V, E)$. Приклад такого графа представлено на рис. 3. Вершини графа відповідають характерним пун-

ктам пропуску вагонопотоків. При цьому, вся множина вершин V розділена на три підмножини: вершина зародження V_z (вантажовідправник) і погашення V_p (залізниці третіх країн чи морські порти) вагонопотоків та транзитні вершини V_t (прикордонні станції). Вершинам V_z у відповідність поставлено обсяг запасів Z та початкова вартість вантажу $E_{поч}$. Вершинам V_p – обсяг потреб, або переробна спроможність портів P_j та допустима вартість вантажу $E_{доп,j}$. Дуги вказують на напрям слідування вагонопотоків. При цьому кожній дузі у відповідність поставлено тривалість перевезення, пропускну спроможність, величину супутнього вагонопотоку та вартості прослідування у окремих учасників процесу перевезень (залізниці, експедитора, митниці, порту).

З метою спрощення задачі прийнято, що перевезення здійснюються за кільцевими маршрутами - коли в прямому напрямку вагон слідує завантаженим, а у зворотному вагон повертається у пункт завантаження у порожньому стані.



Рис. 2. Маршрути слідування транзитного вагонопотоку

Мета вантажовідправника полягає в отриманні максимального прибутку за рахунок вибору маршруту перевезення, тобто

$$P_i = \max_j (Z_j - E_{поч,i} - E_{тр,ij}), i=1..n, j=1..m \quad (1)$$

де $E_{поч,i}$ – початкова вартість вантажу в i -му пункті навантаження;

$E_{тр,ij}$ – вартість транспортування вантажу із i -го пункту навантаження в j -й пункт погашення вантажопотоку;

Z_i – гранична ціна продажу вантажу в j -му пункті погашення вантажопотоку;

n, m – відповідно, кількість пунктів навантаження та погашення вантажопотоків.

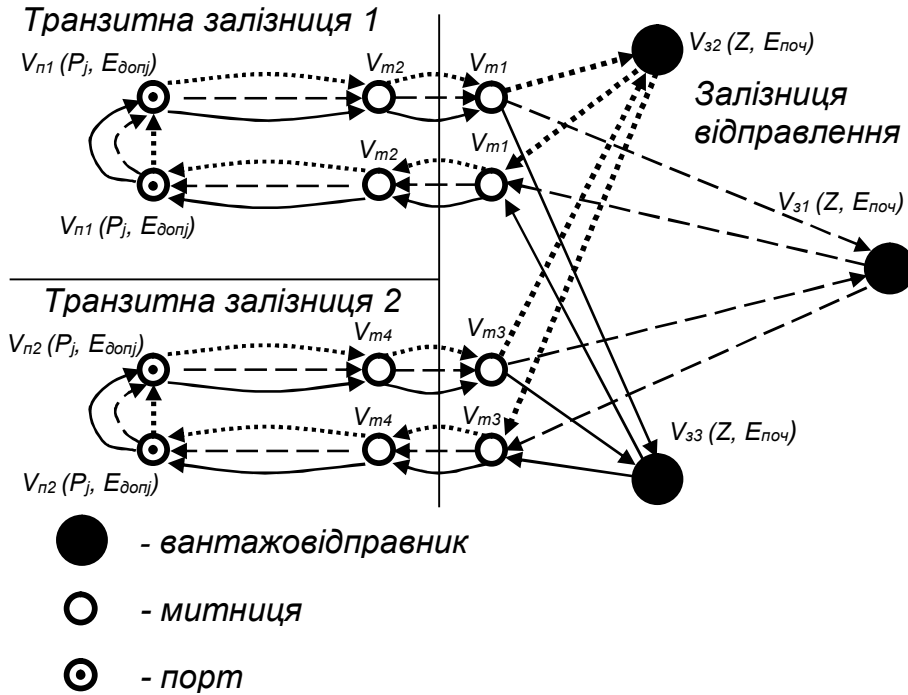


Рис. 3. Орієнтований граф маршрутів слідування вагонопотоків

Витрати, що виникають у вантажовідправника у процесі слідування по j -му маршруту формуються наступним чином

$$E_{тр,ij} = d_{ik} + \sum_{j=1}^n (r_{ki} + e_{kj} + c_k) + p_j + E_{в,ij} \quad (2)$$

де d_{ik} , r_{kj} , e_{kj} , c_k – відповідно, вартість послуг залізниці навантаження, транзитних залізниць, експедиторів, та митні платежі;

p_j – вартість послуг порту (при перевантаженні на морський транспорт);

$E_{в,ij}$ – вартість вагонної складової, що залежить від математичного очікування та середнього квадратичного відхилення обороту вагонів T_{ij} , σ_{ij} .

Тарифікація експортних перевезень для залізниці відправлення здійснюється таким же чином, як і для внутрішніх перевезень згідно тарифного керівництва. У зв'язку з цим прийнято, що залізниця відправлення не має власних цілей щодо вибору напрямків слідування вагонопотоків. Тривалості руху вагонів за напрямками залізниці відправлення розглядаються як випадкові величини, що розподілені за логарифмічно-нормальним законом. Метою транзитної залізничної адміністрації є максимізація прибутку від здійснення перевезень

$$R_x = \sum_{k \in Q_x} (r_{kj} - z_{kj}(t_{kj}, \sigma_{kj})) Q_{kj} \rightarrow \max, x = 1..z \quad (3)$$

де z_{kj} – експлуатаційні витрати, що пов'язані з перевезення вантажу залізницею з k -го транзитного пункту в j -й пункт погашення вантажопотоку відповідно до математичного очікування t_{ki} та середнього квадратичного відхилення σ_{ki} тривалості перевезень;

Q_{kj} – обсяг перевезень з k -го транзитного пункту в j -й пункт погашення вантажопотоку.

Транзитна залізниця може впливати на математичне очікування t_{kj} та середнє квадратичне відхилення σ_{kj} тривалості перевезень за рахунок пріоритетного виділення пропускної спроможності інфраструктури та локомотивної тяги.

Таким чином, керуємими параметрами для транзитної залізниці є величина тарифу, математичне очікування та середнє квадратичне відхилення тривалості перевезень.

Величина митних зборів встановлюється законодавчо і не може оперативнo змінюватись відповідно до кон'юнктури ринку. Тому прийнято, що вони мають постійне значення і додаються як постійна величина до вартості послуг транзитної залізниці.

Метою порту є максимізація прибутку від перевалки вантажів

$$P_j = \sum_{i=1}^n p_{ij} Q_{ij} \rightarrow \max. \quad (4)$$

Метою експедитора є максимізація прибутку від наданих послуг

$$E_j = \sum_{i=1}^n e_{ij} Q_{ij} \rightarrow \max. \quad (5)$$

Керуємими параметрами для порту та експедитора є вартість їх послуг, відповідно p_{ij} та e_{ij} .

Q_{ij} – обсяг перевезень з i -го пункту навантаження в j -й пункт погашення вантажопотоку.

Витрати вантажовласника, що пов'язані з використанням вагонів для перевезень визначаються як

$$E_{в,ij} = e_{в} \frac{T_{п,ij}}{24q_{вп}}, \quad (6)$$

де T_p – розрахунковий оборот вагонів на маршруті перевезень з i -го пункту навантаження в j -й пункт погашення вантажопотоку, год;

$q_{вп}$ – вантажопідйомність вагона, т;

$e_{в}$ – вартість однієї вагоно-добы.

Аналіз фактичних даних щодо обороту вагонів показує, що він є випадковою величиною підпорядкованою логарифмічно-нормальному розподілу. Розрахунковий оборот вагонів визначався з умови забезпечення перевезень вагонами із ймовірністю не менше 95 %. При

цьому математичне очікування обороту вагонів визначається загальною тривалістю знаходження вагонів у окремих фазах обслуговування

$$T_{ij} = t_i + t_{ik} + t_{n,k} + t_{kj} + t_j + t_{jk} + t_{n,k} + t_{ki}, \quad (7)$$

де t_i – тривалість знаходження вагонів у i -му пункті навантаження;

t_{ik}, t_{ki} – відповідно, тривалість руху завантажених та порожніх вагонів залізницею навантаження;

$t_{n,k}, t_{n,k}$ – відповідно, тривалість знаходження навантажених та порожніх вагонів у транзитному пункті;

t_{kj}, t_{jk} – відповідно, тривалість руху завантажених та порожніх вагонів транзитною залізницею;

t_j – тривалість знаходження вагонів у j -му пункті погашення вагонопотоків.

При вирішенні задачі моделювання напрямків слідування вагонопотоків у міжнародному сполученні орієнтований граф маршрутів слідування вагонопотоків (див. рис. 3) може бути перетворений у граф вартості перевезень, який представлено на рис. 4.

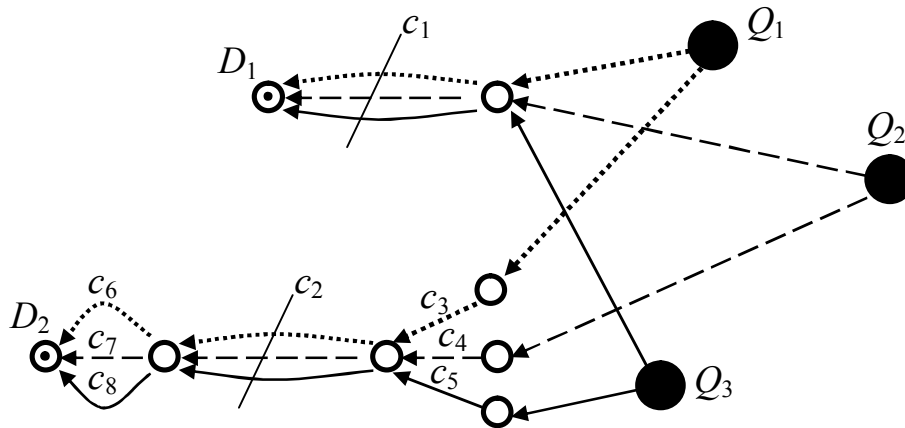


Рис. 4. Граф вартості перевезень вантажів у міжнародному сполученні

Параметр c_1 відповідає загальній вартості послуг перевезень у країні, де використовується комплексний транзитний тариф, який враховує послуги експедитора, порту, залізниці та митниці. Величина вартості перевезень відповідно до комплексного тарифу є публічною і однаковою для усіх вантажовідправників.

Параметр c_2 відповідає вартості послуг транзитної залізниці. При цьому, допустимим є зміна величини c_2 в залежності від обсягу перевезень. Параметри c_3 - c_8 відповідають закритим умовам договорів і можуть встановлюватись

індивідуально для кожного вантажовідправника.

Розроблена формалізована модель дозволяє віднести задачу вибору вартості послуг у сфері міжнародних перевезень до коаліційних ігор [7] та розв'язувати її відповідними методами.

Аналіз результатів вирішення задачі показує, що надання комплексного тарифу призводить до втрати конкурентоспроможності України. Забезпечення підвищення конкурентоспроможності транспортної системи України може досягатись за рахунок розробки методики

визначення транзитних тарифів при неузгодженій організації перевезень та надання знижок експедиторам при залученні додаткових обсягів перевезень на визначених напрямках.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Администрация одесского морского порта ГП «ОМТП» [Электронный ресурс] : — Режим доступу: <http://www.port.odessa.ua/index.php/ru/presstsentr/analitika/12505-tranzit-rossijskogo-uglya-pochemu-za-5-let-ukraina-poteryala-polovinu-gruzopotoka>
2. Сайт служби статистики України [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
3. Годовые отчеты Латвийской железной дороги [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://www.ldz.lv/>.
4. Департамент статистики Естонії [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://pub.stat.ee>.

5. Козаченко, Д. М. Оцінка ефективності залізничних перевезень у міжнародному сполученні [Текст] / Д. М. Козаченко, Ю. М. Германюк // Тези VI Міжнар. наук.-пр. конф. «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка та технології» – Київ, 2013. – С. 168-169.

6. Козаченко, Д. М. Удосконалення методів оцінки залізничного транспорту у сфері міжнародних транзитних перевезень [Текст] / Д. М. Козаченко, А. І. Верлан, Ю. М. Германюк // Залізн. трансп. України. – 2013. – № 2(99). – С.40-42.

7. Безруков, А. Б. Прикладная теория игр [Текст]: учебное пособие / А. Б. Безруков, С. С. Саитгараев. – Ч.: Челяб. гос. ун-т, 2001. – 127 с.

Надійшла до редакції 12.10.2013

Прийнята до друку 15.10.2013