

Ефремов. – М. : Финпресс, 1998. – 192 с.

3. Ковтун О.І. Стратегія підприємства / О.І. Ковтун. – Львів: Новий світ-2000, 2005. – 388 с.

4. Мартиненко М.М. Стратегічний менеджмент : підручник / М.М. Мартиненко, І.А. Ігнатєва. – К. : Каравела, 2006. – 320 с.

5. Наливайко А.П. Теорія стратегії підприємства. Сучасний стан та напрямки розвитку : монографія / А.П. Наливайко. – К. : КНЕУ, 2001. – 227 с.

6. Немцов В.Д. Стратегічний менеджмент / В.Д. Немцов, Л.Є. Довгань. – К. : УВПК “ЕксОб”, 2004. – 559 с.

7. Шершньова З.Є. Стратегічне управління / З.Є. Шершньова. – К. : КНЕУ, 2004. – 699 с.

8. Хмелєвський О.В. Концептуальні засади побудови механізму управління прибутковістю промислового підприємства / О.В. Хмелєвський // Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Економічні науки». – 2007. – № 1. – С. 124–129.

9. Фомин Я.А. Діагностика кризисного состояния предприятия / Я.А. Фомин. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 349 с.

Надійшла 9.9.2010 р.

УДК 519.83: [338.534]

А.М. ХОЛОДЕНКО, О.С. ГОРБ  
Одеський національний морський університет

## ОПТИМІЗАЦІЯ КРУГОВОГО МАРШРУТУ КОНТЕЙНЕРНОЇ ЛІНІЇ

*Запропоновано модель вибору оптимальної схеми маршруту контейнерної лінії за критерієм максимуму інтенсивності прибутку оператора. Модель, яка заснована на задачі комівояжера, дозволяє виключати з маршруту невігідні порти та забезпечує необхідний баланс навантажених і порожніх контейнерів. Роздільне врахування змінних маршруту, вантажу та часу дозволяє сполучити в рамках моделі фінансові й часові фактори.*

*A model of selection the optimal route plan for container line operator was proposed. It based on the criterion of maximum operator's profit intensity. The model, based on the traveling salesman problem, allows to exclude from the route unprofitable ports and provides the necessary balance of full and empty containers. Separate variables of route, cargo and time allow to combine the financial and time factors in the model.*

*Ключові слова: маршрут лінії, контейнер, інтенсивність прибутку, задача комівояжера, порт.*

**Постановка проблеми.** У теперішній час серед головних напрямків розвитку морського транспорту значне місце займає лінійне судноплавство та контейнерні перевезення зокрема. Боротьба за залучення клієнтів на міжнародному ринку диктує особливі умови роботи ліній. Так, висока вартість вантажів, що перевозяться у лінійному контейнерному судноплавстві, висуває посилені вимоги до швидкості та ритмічності їх доставки.

Перераховані обставини обумовлюють необхідність науково обґрунтованого управління перевізним процесом, що забезпечувало б надійність транспортного обслуговування при безпосередньому підвищенні ефективності перевезень.

З позицій оператора контейнерної лінії ефективність перевезень може бути збільшена шляхом розробки оптимального маршруту руху судна між портами, кожний з яких має певний вантажопотік.

**Аналіз останніх досліджень.** Питанням оптимізації маршрутів при лінійних або контейнерних перевезеннях присвячені роботи [1–3]. Проте, ці роботи виконувалися в умовах планової економіки й не можуть бути застосовані в сучасних умовах без відповідних перетворень.

Так, у роботі [1] запропонована модель вибору оптимального маршруту судна в лінійному судноплавстві, яка може бути застосовна здебільшого для навалочних і насипних вантажів (але з урахуванням можливості навантаження на судно контейнерів). При цьому приймається, що деякі заявки на перевезення (пов'язані з державним планом) повинні бути виконані в обов'язковому порядку, що незастосовно для ринкової економіки, коли судовласник в змозі вибрати найбільш вигідні для нього вантажі.

У дослідженнях [2–3], що мають метою встановлення оптимальних планів роботи ліній, пропонуються математичні моделі для вирішення сформульованого у даній статті питання. При цьому зазначені моделі передбачають наявність частини попередньо заданих маршрутів проходження суден. Така спрощеність не завжди дозволяє в достатньому наближенні відбити суть перевізного процесу. Сфера застосовності цих моделей обмежена лініями з невеликим числом портів заходу.

**Мета дослідження.** Таким чином, необхідна розробка економіко-математичної моделі, що дозволяє знайти оптимальний маршрут контейнерної лінії з урахуванням принципів ринкової економіки й особливостей, властивих контейнерним перевезенням на даному етапі їх розвитку, що і є метою даної статті.

**Основний матеріал дослідження.** Вирішення зазначеного вище питання являє собою комплекс взаємозалежних задач, які торкаються не тільки визначення маршрутів руху суден відносно планових вантажопотоків, але й управління парком порожніх контейнерів, включаючи перерозподіл парку за портами.

Оскільки перерозподіл порожніх контейнерів безпосередньо пов'язаний з їх перевезенням, задача про оптимізацію маршрутів руху суден повинна вирішуватися з позиції зв'язування в єдині схеми руху потоків порожніх контейнерів з потоками вантажів на лінії [1].

За основу моделі пропонується взяти класичну задачу комівояжера (задача "TSP"), яка полягає у відшуванні найвигіднішого маршруту, що проходить через зазначені міста (порти) рівно по одному разу з наступним поверненням у вихідне місто (порт) [4]. Дана ситуація відображена на рис. 1.

Задача комівояжера дозволяє вибирати різні критерії вигідності маршруту (найкоротший, найдешевший тощо).

Стосовно до оптимізації маршруту контейнерної лінії пропонується використовувати критерій максимуму інтенсивності прибутку, тобто одержання прибутку в одиницю часу. Даний критерій є найбільш придатним для приватних судноплавних компаній, що оперують в умовах конкуренції на ринку контейнерних перевезень, тому що дозволяє об'єднати фактори витрат, доходів і часу в єдину функцію.

Перехід до критерію максимуму інтенсивності прибутку дозволяє зняти вимогу обов'язковості заходу судна в усі порти маршруту [5], оскільки при звичайних критеріях мінімізації зняття цієї вимоги призвело би до повної бездіяльності в оптимальному плані. Таким чином, при нашій постановці задачі з'являється можливість вибору із загальної множини найбільш привабливих пунктів, тільки між якими й оптимізується маршрут.

Нехай контейнерний перевізник шукає оптимальний круговий маршрут для лінії між  $n$  портами. Позначимо:

$Q_{ij}$  – усереднений потік навантажених контейнерів з порту  $i$  у порт  $j$ , що формується за одиницю часу,  $i, j = \overline{1, n}$ , TEU/добу;

$F_{ij}$  – тариф на доставку 1 TEU з порту  $i$  у порт  $j$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ , дол. США/TEU;

$t_{ij}$  – час прямого переходу судна з порту  $i$  у порт  $j$  (судно може переходити з порту  $i$  у порт  $j$  й не напряму, а через ланцюжок суміжних портів за інший час),  $i, j = \overline{1, n}$ , діб.

Введемо булеві змінні

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо здійснюється прямий перехід судна з порту } i \text{ у порт } j, \\ 0 & \text{– у протилежному випадку.} \end{cases} \quad (1)$$

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо порт } i \text{ включений у маршрут лінії,} \\ 0 & \text{– у протилежному випадку.} \end{cases} \quad (2)$$

Доходи  $D$  судноплавної компанії від роботи за маршрутом складаються із фрахтової ставки за перевезення завантажених контейнерів, помноженої на їх кількість (при цьому компанія не отримує ніякого доходу від перевезення порожніх контейнерів):

$$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n F_{ij} Z_{ij} y_i y_j, \quad (3)$$

де  $Z_{ij}$  – кількість навантажених контейнерів, що перевозяться з порту  $i$  у порт  $j$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ , TEU.

Змінні  $y_i$  й  $y_j$  дозволяють "обнулити" можливі доходи лінії у випадку, якщо якийсь із цих портів  $i$  чи  $j$  не буде включений у схему маршруту.

Витрати лінії можуть бути описані таким чином:

$$R = \sum_{i=1}^n p_i' \cdot y_i \cdot \left( \sum_{j=1}^n Z_{ij} + z_{ij} \right) + \sum_{i=1}^n p_i'' \cdot y_i \cdot \left( \sum_{j=1}^n Z_{ji} + z_{ji} \right) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_{ij} \cdot x_{ij} + \sum_{i=1}^n c_i' \cdot y_i + \sum_{i=1}^n c_i'' \cdot y_i \cdot T_i \cdot \left[ \sum_{j=1}^n (Z_{ij} + z_{ij}) + \sum_{j=1}^n (Z_{ji} + z_{ji}) \right] + b, \quad (4)$$

де  $p_i'$  – вартість навантаження 1 TEU в  $i$ -ому порту, дол. США/TEU;

$p_i''$  – вартість вивантаження 1 TEU в  $i$ -ому порту, дол. США/TEU;

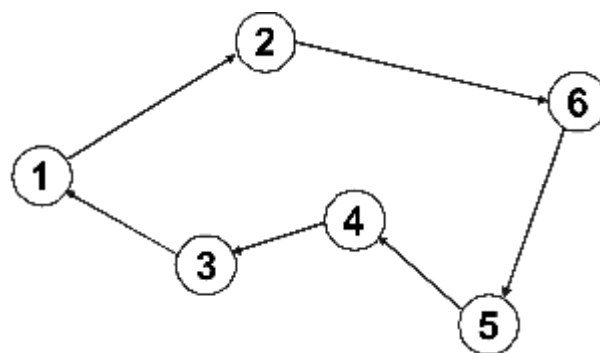


Рис. 1. Закнучтий можливий маршрут судна

$z_{ij}$  – кількість порожніх контейнерів, що перевозяться з порту  $i$  у порт  $j$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ , TEU;

$R_{ij}$  – витрати на прямий перехід судна з порту  $i$  у порт  $j$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ , дол. США;

$c_i'$  – витрати на суднозахід у порт  $i$ , дол. США;

$c_i''$  – питомі витрати на стоянку в порту  $i$ , дол. США/добу;

$T_i$  – час навантаження (вивантаження) 1 контейнера в  $i$ -тому порту, діб/TEU;

$b$  – постійні судові витрати, включаючи витрати на екіпаж, дол. США;

Аналогічно, змінні  $y_i$ ,  $y_j$  і  $x_{ij}$  дозволяють "обнулити" в (4) можливі витрати лінії у випадку, якщо якийсь із портів  $i$  чи  $j$  не буде включений у схему маршруту або не буде прямого переходу між ними.

Тоді модель вибору оптимального маршруту контейнерної лінії приймає вигляд:

$$I = \frac{D - R}{\sum_{i=1}^n T_i \cdot y_i \cdot \left[ \sum_{j=1}^n (Z_{ij} + z_{ij}) + \sum_{j=1}^n (Z_{ji} + z_{ji}) \right] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} + a} \Rightarrow \max_{\{x_{ij}\}, \{Z_{ij}\}, \{z_{ij}\}}, \quad (5)$$

де  $a$  – постійні (що не залежать від вибору маршруту) витрати часу, сут.

Доданок  $\sum_{j=1}^n (Z_{ij} + z_{ij})$  у (4) – (5) позначає кількість завантажених контейнерів (навантажених і

порожніх) у порту  $i$ . Аналогічно,  $\sum_{j=1}^n (Z_{ji} + z_{ji})$  позначає кількість вивантажених контейнерів у порту  $i$ .

Знаменник функції (5) описує витрати часу, необхідні на здійснення одного кругового рейсу.

Запропонована модель передбачає ряд обмежень:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = y_j, \quad j = \overline{1, n}. \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = y_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (7)$$

$$u_i - u_j + \left( \sum_{i=1}^n y_i \right) \cdot x_{ij} \leq \left( \sum_{i=1}^n y_i \right) - 1, \quad i, j = \overline{1, n}, \quad (8)$$

де  $u_i$ ,  $u_j$ ,  $i, j = \overline{1, n}$  – дійсні числа [4], значення яких визначаються в процесі вирішення задачі.

Обмеження (6) – (7) забезпечують рівно один захід у кожний обраний порт маршруту й рівно одне відправлення з нього.

Якщо в обмеженнях задачі комівояжера фігурує апіорі фіксоване число портів маршруту  $n$ , то в обмеженні (8), яке забезпечує замкнутість маршруту й відсутність "внутрішніх кілець", використовується плаваюче, що визначається в ході розв'язання задачі вибору оптимальної схеми маршруту, найкраще число

портів заходу  $\sum_{i=1}^n y_i \leq n$  [5].

Очевидно, що кількість прийнятих до перевезення контейнерів у порту не повинне перевищувати контейнеропотік із цього порту. При цьому контейнеропотік, що формується в порту, збільшується та накопичується залежно від часу всього кругового маршруту:

$$Z_{ij} \leq Q_{ij} \cdot \left[ \sum_{i=1}^n T_i \cdot y_i \cdot \left[ \sum_{j=1}^n (Z_{ij} + z_{ij}) + \sum_{j=1}^n (Z_{ji} + z_{ji}) \right] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} + a \right]. \quad (9)$$

Завантаження судна в момент приходу в порт  $j$  не повинне перевищувати контейнеромісткість судна:

$$W_j = \sum_{i=1}^n \left[ W_i + \sum_{l=1}^n y_l \cdot (Z_{il} + z_{il}) - \sum_{k=1}^n y_k \cdot (Z_{ki} + z_{ki}) \right] \cdot x_{ij} \leq Q, \quad (10)$$

де  $W_j$  – завантаження судна в момент приходу у поточний порт  $j$ , TEU;

$W_i$  – завантаження судна в момент приходу у попередній порт  $i$ , TEU;

$Q$  – контейнеромісткість судна, TEU.

Обмеження (10) передбачає вибір першого порту, з якого буде починатися круговий маршрут:

$$W_1 = \sum_{j=1}^n Z_{1j} \leq Q. \quad (11)$$

Аналогічно, завантаження судна в момент виходу з порту  $j$  також не повинне перевищувати контейнеромісткість судна:

$$V_j = W_j + \sum_{l=1}^n y_l \cdot (Z_{jl} + z_{jl}) - \sum_{k=1}^n y_k \cdot (Z_{kj} + z_{kj}) \leq Q, \quad (12)$$

де  $V_j$  – завантаження судна в момент відходу з порту  $j$ , TEU;

Віднявши від кількості вивантажених контейнерів ( $\sum_{k=1}^n Z_{kj}$ ) кількість завантажених контейнерів ( $\sum_{l=1}^n Z_{jl}$ ), можна визначити залишок контейнерів у даному порту  $j$ . Даний залишок навантажених контейнерів у кожному разі перетворюється в таку ж кількість порожніх контейнерів, які підлягають вивозу з порту:

$$\sum_{k=1}^n Z_{kj} \cdot y_k - \sum_{l=1}^n Z_{jl} \cdot y_l = \sum_{l=1}^n z_{jl} \cdot y_l - \sum_{k=1}^n z_{kj} \cdot y_k, \forall j: y_j = 1. \quad (13)$$

Обмеження (13) є умовою балансу кількості контейнерів у кожному порту, тобто порожні контейнери не виникають у системі й портах ззовні, а є результатом перевезення контейнерів з вантажем.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Таким чином, запропонована модель дозволяє оптимізувати маршрут контейнерної лінії з урахуванням особливостей контейнерних перевезень і, на відміну від розглянутих у статті подібних моделей, має ряд переваг:

1. Враховує роздільно змінні маршруту, змінні вантажу й змінні часу. Одночасне використання цих змінних при оптимізації маршруту дозволяє враховувати, крім витрат на переходи між портами, також і доходи від цих переходів, і їх тривалість у часі.

2. Оптимізує маршрут за критерієм максимуму інтенсивності прибутку, тобто одержання прибутку в одиницю часу. Даний критерій є особливо актуальним для операторів суден у ринкових умовах, тому що висока інтенсивність прибутку дозволяє створювати короткострокові кредитні лінії на різні проекти зі швидкою окупністю вкладеного капіталу.

3. Дозволяє виключати з множини всіх запропонованих портів безперспективні порти (з невеликим вантажопотоком, з високою вартістю суднозаходу або вантажно-розвантажувальних робіт тощо), які не будуть включені в маршрут контейнерної лінії, що оптимізується.

4. Приймає потік контейнерів у кожному порту не фіксованим, а залежним від часу всього маршруту, тобто чим довшим буде маршрут, тим більше контейнерів з вантажем буде накопичено в розглянутому порту.

5. Враховує вартість суднозаходу в порт та вартість вантажно-розвантажувальних робіт, що дозволяє вибирати порти не тільки залежно від кількості запропонованих до перевезення контейнерів, але й з урахуванням перерахованих вище витрат.

6. Розглядає перевезення як навантажених, так і порожніх контейнерів. При цьому забезпечується баланс навантажених і порожніх контейнерів у розглянутій системі.

На практиці кількість контейнерів, які пред'являють клієнти до перевезення, крім тарифу залежить також і від тривалості доставки. У подальших дослідженнях доцільно вивчити вплив фактору швидкості доставки контейнера на попит і величину тарифу.

### Література

1. Вепринская Т.А. Совершенствование методов формирования маршрутов и расписания движения линейного флота в условиях АСУ: дисс.... канд. техн. наук: 05.22.19 / Вепринская Тамара Александровна. – СПб, 1984. – 164 с.
2. Капитанов В.П. Особенности математической модели оптимизации схем движения для составления расписания работы линейных морских грузовых судов / В.П. Капитанов // Экономика и эксплуатация морского транспорта. – 1972. – № 9. – С. 13–17.
3. Сухоцкий В.И. О некоторых теоретических соображениях выбора варианта построения работы линии ГИФ / В.И. Сухоцкий, А.Г. Чацкий, П.С. Иванов // Экономика и эксплуатация морского транспорта. – 1978, № 14. – С. 3–7.
4. Applegate D.L. The traveling salesman problem / R.M. Vixby, V. Chvatal, W.J. Cook. – Princeton : Princeton University Press, 2006. – 593 p.
5. Холоденко А.М. Экономико-математическая модель выбора оптимальной схемы круиза / А.М. Холоденко, Ю.В. Михайлова // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2008. – № 14. – С. 171–180.

Надійшла 3.9.2010 р.