

ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ВИТРАТ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Федоров А. І., аспірант кафедри судноводіння та безпеки життєдіяльності на морі Херсонської державної морської академії, e-mail: mr.fedorov.anton@mail.ru

В статті розглянуто питання оптимізації процесу складання вантажного плану судна – контейнеровозу. Проаналізовано існуючі дослідження в зазначеній предметній галузі та показано, що ключовою умовою зменшення економічних витрат при здійсненні контейнерних перевезень є раціональне формування вантажного плану судна. Визначено що процес складання вантажного плану контейнеровозу являє собою складну багатокритеріальну оптимізаційну задачу, розв'язання якої забезпечує підвищення економічних показників виконання рейсу. Показано, що при складанні оптимального вантажного плану судна необхідно враховувати низку обмежень, пов'язаних з послідовністю заходу судна в кожен з портів, кількістю вивантажених/завантажених в портах контейнерів, послідовності заходу в порти, строками доставки вантажів, дотриманням вимог збереження остійності судна. Запропоновано математичну модель формування вантажного плану контейнеровозу, що враховує особливості конструкції конкретного судна, обмеження пов'язані з послідовністю завантаження контейнерів, та дотриманням вимог остійності судна. Застосування запропонованої математичної моделі складання вантажного плану контейнеровозу дозволить знизити витрати часу на процеси завантаження/вивантаження в портах, і як наслідок, зменшенню економічних витрат на здійснення рейсів судна.

Ключові слова: контейнерні перевезення, вантажний план контейнеровозу, оптимізація вантажних операцій з контейнерами, зменшення економічних витрат при здійсненні контейнерних перевезень.

Вступ. Контейнерні перевезення – економічний і надійний спосіб транспортування великих партій товарів. Контейнерні вантажоперевезення є одним з найнадійніших способів транспортування вантажу, що дозволяє забезпечити товару високу безпеку. Перевезення вантажу у контейнерах має ряд переваг, головне з яких – відсутність перевантажень товару при зміні транспортного засобу. Завдяки цьому досягається значна економія коштів при можливості гнучкого і ефективного поєднання різних видів транспорту в процесі доставки вантажу. До переваг морських контейнерних перевезень також можна віднести низьку, в порівнянні з більшістю інших видів транспорту, собівартість перевезень, велику вантажопідйомність морських суден, що дозволяє перевозити значні партії вантажу а також практично необмежену пропускну здатність морських шляхів [1–5].

Перевезення різних промислових товарів і готових товарів широкого споживання в стандартних контейнерах 20-foot equivalent unit (TEU), поступово стає пріоритетним методом доставки вантажів, вибір якого обумовлений чотирма перевагами [10]:

- відсутністю необхідності працювати з вантажем безпосередньо, оскільки товари знаходяться в заплomboваному контейнері;
- економією при перевезеннях завдяки ефекту масштабу;
- зручністю і економією часу при поєднанні з іншими видами транспорту;
- швидкістю і своєчасністю доставки.

Разом з тим, при плануванні контейнерних перевезень часто виникають різні проблеми, пов'язані з раціональним розміщенням вантажу на судні, що забезпечує ефективність операцій навантаження розвантаження в портах маршруту, об'ємом і вагою вантажу, що перевозиться, а також з обмеженнями при розміщенні його в трюмах і на палубі, відповідним вимогам безпеки судна [11].

Актуальність дослідження. При здійсненні вантажних операцій на контейнеровозі вони доволі часто здійснюються за принципом «останній завантажений – перший вивантажений», що призводить до формування неоптимального вантажного плану судна. Побудова технологічно обумовлених ланцюжків завантаження – вивантаження контейнерів, особливо, якщо маршрут судна проходить через кілька портів, призводить до виникнення проблеми так званого «шифтінга», тобто нераціональних вантажних операцій

завантаження-вивантаження контейнерів на судно з метою вилучення лише потрібних в завданому порту контейнерів. Зазначені операції призводять не лише до зростання часу здійснення вантажних операцій, але й впливають на зміну параметрів остійності судна, тому повинні ретельно контролюватися [6–8]. Зменшення кількості «шифтінга» позитивно впливає на економічні показники перевезення контейнерних вантажів, тому являє собою актуальну наукову та практичну задачу сучасного судноводіння [9].

Метою дослідження є розробка математичної моделі завантаження судна-контейнеровозу, що забезпечує зменшення впливу шифтінга контейнерів, і як наслідок сприяє зниженню економічних витрат на виконання рейсу.

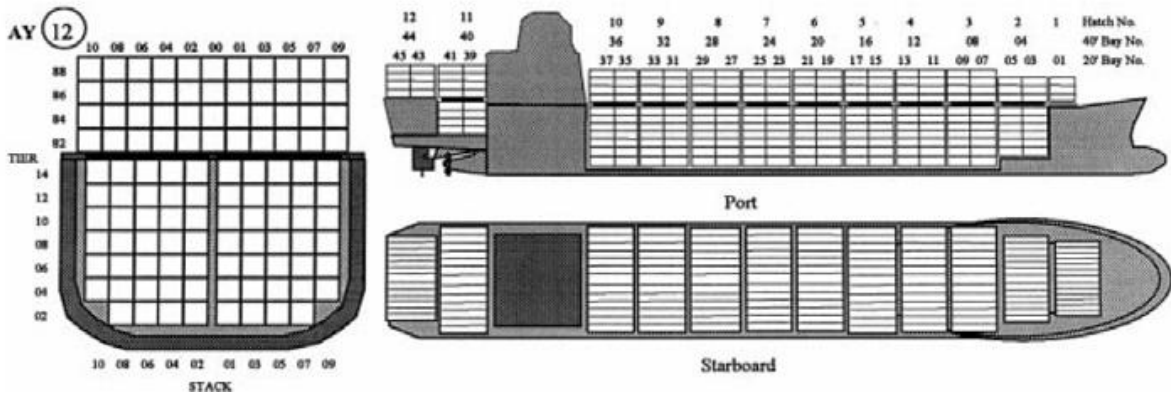


Рисунок 1 – Загальний вигляд судна-контейнеровозу та масиву контейнерів

Основна частина. Для побудови математичної моделі завантаження судна, без втрати структури оптимізаційної задачі розміщення контейнерів контейнеровозу в цілому, будемо вважати, що:

- 1) контейнерний масив контейнеровозу має прямокутний формат і може бути представлений матрицею з рядками ($r = 1, 2, \dots, R$), стовпчиками ($c = 1, 2, \dots, C$) і беями ($d = 1, 2, \dots, D$), з максимальною ємністю $R \times C \times D$ контейнерів;
- 2) контейнери на судні є однакового (або подвійного) розміру та ваги;
- 3) судно починає завантажуватися в порту № 1, куди воно приходить порожнім;
- 4) судно відвідує порти 2, 3, ..., N таким чином, що воно буде пустим в останньому порту, оскільки судно виконує рейс, в якому останній порт N є портом його відходу;
- 5) в кожному з портів $i = 2, \dots, N-1$, судно додатково може бути завантажено контейнерами, призначенням яких є порти $i + 1, \dots, N$;
- 6) контейнеровоз перевозить всі контейнери з порту в порт ніколи не досягаючи при цьому максимально можливої кількості контейнерів на судні.

Кількість контейнерів, що завантажуються в кожному із портів визначається транспортною матрицею $T(N-1) \times (N-1)$:

$$f(x) = \alpha\phi_1(x) + (1 - \alpha)\phi_2(y) \quad (1)$$

$$i = 1, \dots, N-1, \quad j = i+1, \dots, N$$

$$\sum_{v=i+1}^j \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C \sum_{d=1}^D x_{ijv}(r, c, d) - \sum_{k=1}^{i-1} \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C \sum_{d=1}^D x_{kij}(r, c, d) = T_{ij} \quad (2)$$

$$i = 1, \dots, N-1, \quad j = i+1, \dots, N$$

$$\sum_{k=1}^i \sum_{j=i+1}^N \sum_{v=i+1}^j x_{kij}(r, c, d) = y_i(r, c, d) \quad (3)$$

$$i = 1, \dots, N-1, \quad r = 1, \dots, R \quad c = 1, \dots, C \quad d = 1, \dots, D$$

$$y_i(r, c, d) - y_{i+1}(r, c, d) \geq 0 \quad (4)$$

$$i = 1, \dots, N-1, \quad r = 1, \dots, R-1 \quad c = 1, \dots, C \quad d = 1, \dots, D$$

$$\sum_{i=1}^{j-1} \sum_{p=j}^N x_{ipj}(r,c,d) + \sum_{i=1}^{j-1} \sum_{p=j+1}^N \sum_{v=i+1}^p x_{ipv}(r+1,c,d) \leq 1 \quad (5)$$

$$j = 2, \dots, N, \quad r = 1, \dots, R-1 \quad c = 1, \dots, C \quad d = 1, \dots, D$$

$$x_{ipv}(r,c,d) = 0 \text{ або } 1, \quad y_i(r,c,d) = 0 \text{ або } 1,$$

де бінарна змінна $x_{ipv}(r,c,d)$ визначається наступним чином: якщо в порту i , (r,c,d) є контейнер, адресатом якого є порт j і цей контейнер був переміщений в порту v , то змінна приймає значення 1; в іншому випадку вона приймає значення 0.

Термін місце (r,c,d) представляє являє собою рядок r , стовпець c для бей d контейнеровозу. Аналогічно, змінна $y_i(r,c,d)$ визначається наступним чином: якщо в порту i , місце (r,c,d) містить контейнер, то змінна приймає значення 1, в іншому випадку вона приймає значення 0.

Цільова функція (1) складається з двох складових: по-перше, загальна вартість переміщення контейнера i , друга, кількість шифтінгу в кожному порту. Передбачається, що для всіх портів, вартість шифтінга контейнеру однакова і дорівнює одиниці.

Обмеження (2) пов'язане послідовністю з завантаження контейнера. Іншими словами, загальна кількість контейнерів на судні в порту повинна дорівнювати кількості контейнерів, які були завантажені в усіх портах $p = 1, 2, \dots, i$ мінус загальна кількість контейнерів, вивантажених у всіх портах $p = 1, 2, \dots, i$.

Обмеження (3) вимагає, щоб кожне місце (r,c,d) контейнеровоза завжди займало не більше одного контейнера.

Обмеження (4) пов'язано з фізичним зберіганням контейнерів на судні, і вимагає, щоб для кожного контейнера в рядку $r+1$, існував ще один контейнер у рядку r для всіх $r = 1, \dots, R-1$.

Обмеження (5) визначає, як контейнер може бути вивантажений з судна в порту j , таким чином, щоб, якщо контейнер займає позицію (r,c,d) в порту j , і він буде вивантажений, то не існує контейнерів вище нього, або такі контейнери вже були вивантажені у попередніх портах.

Приймаючи до уваги той факт, що сучасний контейнеровоз зазвичай перевозить кілька тисяч контейнерів, а вищенаведена оптимізаційна задача динамічного програмування є NP-повною, розв'язання її традиційними методами вкрай ускладнено. Для вирішення поставленої задачі найбільш доцільно застосовувати методи еволюційного програмування у вигляді генетичних алгоритмів.

При цьому також з'являється можливість її додаткового уточнення і ускладнення шляхом введення додаткових обмежень по вазі, розмірам контейнерів, та заздалегідь визначеним місцям розташування окремих груп контейнерів на судні, наприклад рефрижераторних.

Висновки. Застосування запропонованої оптимізаційної моделі для оптимізації процесу завантаження контейнеровозу з урахуванням процесу його заходження до кількох портів, дозволить скоротити час виконання вантажних операцій в портах шляхом зменшення кількості шифтінгу, та, як наслідок, знизити економічні витрати на виконання рейсу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Федоров А. И. Оптимизация морских контейнерных перевозок / А. И. Федоров. // Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016)» (м. Херсон, 24–26 травня 2016). – Херсон : Видавництво ХДМА, 2016. – С. 47–48
2. Федоров А. И. Оптимизация ватажного плану контейнеровозу / А. И. Федоров // Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні

інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017)» (23-25 травня 2017). – Херсон : Видавництво ХДМА, 2017. – С. 13–14.

3. Федоров А. І. Зменшення шіфтингу контейнерів при складанні вантажного плану судна / А. І. Федоров // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Безпека життєдіяльності на транспорті і виробництві – освіта, наука, практика (БЖД-2017)». – Херсон : Видавництво ХДМА, 2017. – С. 183–184.

4. Ambrosino, D., Anghinolfi, D., Paolucci, M. and Sciomachen, A. (2010). 'An experimental comparison of different heuristics for the master bay plan problem', *Lecture Notes in Computer Science, Vol. 6049*, 314–325.

5. Avriel, M., Penn, M. and Shpirer, N. (2000). 'Containership stowage problem: complexity and connection to the coloring of circle graphs', *Discrete Applied Mathematics, Vol. 103*, Nos. 1–3, 271–279.

6. Fan, L., Low, M.Y.H., Ying, H.S., Jing, H.W., Min, Z. and Aye, W.C. (2010). 'Stowage planning of large containership with tradeoff between crane workload balance and ship stability', *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computers Scientists, Vol. III*, 1–7.

7. Imai, A., Sasaki, K., Nishimura, E. and Papadimitriou, S. (2006). 'Multi-objective simultaneous stowage and loading planning for a container ship with container rehandle in yard stacks', *European Journal of Operational Research, Vol. 171, No. 3*, 373–389.

8. Sciomachen, A. and Tanfani, E. (2007). 'A 3D-BPP approach for optimizing stowage plans and terminal productivity', *European Journal of Operational Research, Vol. 183, No. 3*, pp.1433–1446.

9. Vacca, I., Bierlaire, M. and Salani, M. (2007). 'Optimization at container terminals: status, trends and perspectives', *7th Swiss Transportation Research Conference*, 1–21.

10. Wilson, I. and Roach, P.A. (1999). 'Principles of combinatorial optimization applied to container-ship stowage planning', *Journal of Heuristics, Vol. 5, No. 4*, 403–418.

11. Wilson, I. and Roach, P.A. (2000). 'Container stowage planning: a methodology for generating computerised solutions', *Journal of the Operational Research Society, Vol. 51, No. 11*, 1248–1255.

REFERENCES

1. Fedorov, A. I. (2016). Optimizaciya morskikh konteyjernikh perevozok. *Materiali VIII Mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencії «Suchasni informacijni ta innovacijni tekhnologii na transporti (MINTT-2016)»*. Kherson : Vidavnictvo KhDMA, 47–48.

2. Fedorov, A. I. (2017). Optimizaciya vatazhnogo planu konteyjnerovozu. *Materiali IX Mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencії «Suchasni informacijni ta innovacijni tekhnologii na transporti (MINTT-2017)»*. Kherson : Vidavnictvo KhDMA, 13–14.

3. Fedorov, A. I. (2017). Zmenshennya shiftingu konteyjneriv pri skladanni vantazhnogo planu sudna. *Materiali IV Mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencії «Bezpeka zhittediyalnosti na transporti i virobniectvi – osvita, nauka, praktika (BZhD-2017)»*. Kherson : Vidavnictvo KhDMA, 183–184.

4. Ambrosino, D., Anghinolfi, D., Paolucci, M. and Sciomachen, A. (2010). 'An experimental comparison of different heuristics for the master bay plan problem', *Lecture Notes in Computer Science, Vol. 6049*, 314–325.

5. Avriel, M., Penn, M. and Shpirer, N. (2000). 'Containership stowage problem: complexity and connection to the coloring of circle graphs', *Discrete Applied Mathematics, Vol. 103*, Nos. 1–3, 271–279.

6. Fan, L., Low, M.Y.H., Ying, H.S., Jing, H.W., Min, Z. and Aye, W.C. (2010). 'Stowage planning of large containership with tradeoff between crane workload balance and ship stability', *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computers Scientists, Vol. III*, 1–7.

7. Imai, A., Sasaki, K., Nishimura, E. and Papadimitriou, S. (2006). 'Multi-objective simultaneous stowage and loading planning for a container ship with container rehandle in yard stacks', *European Journal of Operational Research*, Vol. 171, No. 3, 373–389.

8. Sciomachen, A. and Tanfani, E. (2007). 'A 3D-BPP approach for optimizing stowage plans and terminal productivity', *European Journal of Operational Research*, Vol. 183, No. 3, pp.1433–1446.

9. Vacca, I., Bierlaire, M. and Salani, M. (2007). 'Optimization at container terminals: status, trends and perspectives', *7th Swiss Transportation Research Conference*, 1–21.

10. Wilson, I. and Roach, P.A. (1999). 'Principles of combinatorial optimization applied to container-ship stowage planning', *Journal of Heuristics*, Vol. 5, No. 4, 403–418.

11. Wilson, I. and Roach, P.A. (2000). 'Container stowage planning: a methodology for generating computerised solutions', *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 51, No. 11, 1248–1255.

Федоров А. И. ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК

В статье рассмотрены вопросы оптимизации процесса составления грузового плана судна - контейнеровоза. Проанализированы существующие исследования в данной предметной области и показано, что ключевым условием уменьшения экономических затрат при осуществлении контейнерных перевозок является рациональное формирование грузового плана судна. Определено, что процесс составления грузового плана контейнеровоза представляет собой сложную многокритериальную оптимизационную задачу, решение которой обеспечивает повышение экономических показателей выполнения рейса. Показано, что при составлении оптимального грузового плана судна необходимо учитывать ряд ограничений, связанных с последовательностью захода судна в каждый из портов, количеством выгруженных / загруженных в портах контейнеров, последовательности захода в порты, срокам доставки грузов, соблюдением требований сохранения остойчивости судна. Предложена математическая модель формирования грузового плана контейнеровоза, учитывающая особенности конструкции конкретного судна а также ограничения связанные с последовательностью загрузки контейнеров и соблюдением требований остойчивости судна. Применение предлагаемой математической модели составления грузового плана контейнеровоза позволит снизить затраты времени на процессы загрузки / выгрузки в портах, и как следствие, уменьшению экономических затрат на осуществление рейсов судна.

Ключевые слова: контейнерные перевозки, грузовой план контейнеровоза, оптимизация грузовых операций с контейнерами, уменьшение экономических затрат при осуществлении контейнерных перевозок.

Fedorov A. I. WAYS OF REDUCTIONS OF ECONOMIC COSTS WHEN PERFORMING CONTAINER TRANSPORTATION

The article considers the issues of optimization of the process of drafting the cargo plan of the vessel - container vessel. The existing research in this subject area has been analyzed and it is shown that the key condition for reducing the economic costs of container transportation is the rational formation of the ship's cargo plan. It is determined that the process of compilation of cargo container plan is a complex multicriteria optimization problem, the solution of which provides an increase in the economic performance of the container transportation. It is shown that when compiling the optimal cargo plan of a vessel, it is necessary to take into account a number of restrictions connected with the sequence of the ship's approach to each port, the number of containers discharged/loaded at ports, the order of entering ports, delivery times, compliance with the requirements of maintaining the stability of the vessel. The mathematical model of formation of the cargo plan of the container carrier, taking into account the specifics of the design of a particular vessel, as well as the constraints associated with the loading sequence of the containers and the observance of the requirements of the stability of the vessel, is proposed. The application of the proposed mathematical model for the compilation of the containerized cargo plan will reduce the time costs for loading / unloading processes in the ports, and as a consequence, reduce the economic cost of the vessel's operations.

Keywords: container transportation, cargo plan, container transport, optimization of cargo operations with containers, reduction of economic costs when performing container transportations.

© Федоров А.И.

Статтю прийнято
до редакції 21.06.17