

УДК :656.12

ОПТИМІЗАЦІЯ ВАНТАЖНОГО ПЛАНУ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ

Федоров А. І., аспірант кафедри судноводіння та електронних навігаційних систем Херсонської державної морської академії, e-mail: mr.fedorov.anton@mail.ru

В статті розглянуто питання оптимізації процесу складання вантажного плану контейнеровозу в умовах здійснення мультипортових перевезень. Проаналізовано існуючі дослідження та визначено, що процес складання вантажного плану контейнеровозу являє собою складну багатокритеріальну оптимізаційну задачу для вирішення якої необхідно застосування методів математичного моделювання. Запропоновано математичну модель формування вантажного плану контейнеровозу, що враховує особливості обмежень, пов'язаних з послідовністю завантаження контейнерів, та дотримання вимог збереження остійності судна. В основу моделі покладено процес завантаження судна на основі логічних правил завантаження-вивантаження. Застосування запропонованої математичної моделі складання вантажного плану контейнеровозу дозволить підвищити ефективність здійснення мультипортових контейнерних перевезень за рахунок зменшення витрат часу на процеси завантаження/вивантаження в портах.

Ключові слова: контейнерні перевезення, вантажний план контейнеровозу, оптимізація вантажних операцій з контейнерами, процес завантаження судна, логічні правила завантаження контейнеровозу, мультипортові перевезення.

Вступ. На поточний момент часу в світі істотно зростають обсяги контейнерних перевезень вантажів, що обумовлено їх зручністю та порівняльно невеликою, з іншими видами транспорту, вартістю. Важливою перевагою контейнерних перевезень є відсутність перевантажень товару при зміні транспортного засобу. Завдяки цьому є можливість одночасного застосування різних видів транспорту під час перевезення вантажу (морський, автомобільний, залізничний тощо). Розвиненість морських шляхів для здійснення контейнерних перевезень забезпечує логістичну гнучкість контейнерних перевезень з будь якої країни світу. Також морські контейнерні перевезення характеризуються найнижчою собівартістю та високою надійністю у порівнянні з іншими видами транспорту [1–5].

Актуальність дослідження. Аналіз останніх публікацій показує, що важливою проблемою сьогодення є складання оптимальних вантажних планів судна, яке пов'язано з формуванням технологічно обумовлених ланцюжків завантаження-вивантаження контейнерів, особливо, якщо маршрут судна проходить через кілька портів, призводить до виникнення проблеми, тобто нераціональних вантажних операцій завантаження-вивантаження контейнерів на судно з метою вилучення лише потрібних в завданому порту контейнерів.

Як наслідок, контейнери, розташовані зверху судна, повинні бути перенесені, щоб дозволити вивантаження контейнерів, розташованих під ними. За підсумками досліджень, наведених у роботі [6], плата за переміщення контейнерів може бути високою, вартістю близько 200 доларів за переміщення одного контейнера. Таким чином, метою планування оптимального розміщення контейнерних вантажів є мінімізація кількості непотрібних переміщень контейнерів. Важливо також зазначити, що слід дотримуватись інших критеріїв, таких як остійність контейнеровозів та розміщення контейнерів відповідно до їх типу (стандартний, небезпечний та ін.) [5, 8, 11, 12].

Спеціальна конструкція контейнеровозу дозволяє розв'язувати процес складання його вантажних планів як окремий випадок проблеми різання та упаковки, зокрема як тривимірну (ортогональну) проблему пакування [7].

У роботі [4] запропоновано перевірку стабільності судна, виходячи з того що кожен контейнер має певну вагу.

У роботі [5] доведено, що задача формування вантажного плану контейнеровозу є NP-повною, що потребує розробку евристичних методів її розв'язання. Також показано, що проблема 2D-планування завантаження контейнерних вантажів може бути сформульована як бінарна лінійна модель 0-1, оптимальне рішення якої можна знайти, припускаючи, що кількість контейнерів, що відправляються, разом з їх походженням і призначенням порти,

відомі задалегідь. Однак ця двійкова модель обмежена невеликими прикладами, оскільки кількість бінарних змінних та обмежень збільшується з кількістю портів та контейнерних розмірів.

У роботі [6] запропоновано застосування для вирішення проблеми розташування контейнерів генетичного алгоритму з компактним кодуванням рішення, який складається з рядка з розділами, рівними кількості портів, де кожна секція складається з чотирьох векторів, пов'язаних з кількістю рухів вивантаження контейнерів, які необхідно виконати. Обмеження дотримання остійності судна розглядалися як штрафна функція, а запропонований підхід був випробуваний у випадках з 11 портами та контейнеровозом з потужністю 1000 TEU.

У роботі [7] запропоновано складання вантажного плану судна з урахуванням обмежень робочого навантаження крану та дотримання умов остійності судна для випадків, коли контейнеровоз мав потужність 5 000 TEU, 5 кранів, 5 різних типів контейнерів та заходження до 5 портів призначення.

У роботі [8] запропоновано методологію оптимізації формування вантажного плану контейнеровозу виходячи з необхідності одночасного досягнення двох цілей – дотримання умов остійності судна та зменшення кількості контейнерів, що оброблюються повторно. Для вирішення вказаних завдань запропоновано застосування генетичних алгоритмів.

У роботі [9] сформульовано проблему завантаження контейнеровозу як тривимірну проблему упаковки контейнерів і представлено метод її евристичного розв'язання. Головною метою було звести до мінімуму загальний час завантаження, а також ефективно використовувати наземне обладнання.

У роботі [10] запропоновано методологію, яка вирішує планування формування вантажного плану контейнеровозу у два етапи. Перший етап використовує метод гілок та меж для вирішення задачі загального розміщення контейнерів по баям. Другий етап полягає у застосуванні обмежень розташування з метою визначення остаточної позиції кожного контейнеру на судні.

Мета дослідження. Метою дослідження є розробка математичної моделі формування вантажного плану судна-контейнеровозу на основі логічних правил завантаження-вивантаження, що забезпечує поліпшення ефективності мультипортних контейнерних перевезень.

Основна частина. Порівняльний аналіз досліджень, проведених різними авторами, показує, що ефективним методом вирішення проблеми є підхід, заснований на формуванні оптимального плану завантаження контейнеровозу з використанням логічних правил завантаження. Зазначений підхід можна краще пояснити, якщо розглянути контейнеровоз у вигляді графу, як наведено на рис. 1.

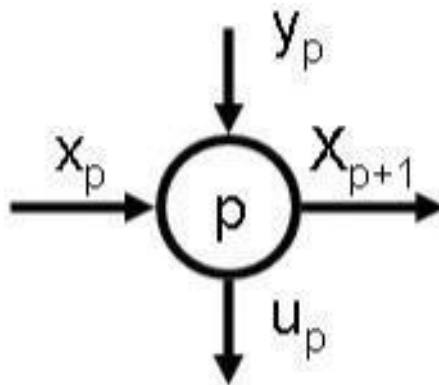


Рисунок 1 – Вузол і дуги графу процесу завантаження контейнеровозу

На рис 1. вузол p являє собою порт, в якому відбуваються процеси завантаження та вивантаження судна. Стан контейнеровозу змінюється коли він заходить та виходить з порту p . Зазначені зміни відображаються у вигляді дуг x_p та x_{p+1} , відповідно. Стан x_p перетворюється на x_{p+1} відповідно до двох наступних рішень.

1. Якщо існуючі контейнери вивантажуються в порту p . Це рішення може бути представлено як u_p . Воно може бути розглянуто як сукупність двох змінних:

- змінна q_p визначає контейнери, які повинні бути вивантажені, оскільки порт p є портом їх призначення, або якщо вони блокують собою інші контейнери, призначенням яких є порт p .

- змінна v_p визначає контейнери, які повинні бути вивантажені для кращого розташування контейнерів на судні, що забезпечить зменшення шифтінгу (переміщення контейнерів) при заходженні судна в наступні порти.

2. Як перезавантажити контейнери судна з порту $1, \dots, p-1$, місцем доставки яких є порти $p+1, \dots, p$, і як завантажувати контейнери з порту p , які будуть перевозитися в наступні порти. Таке рішення визначається змінною u_p .

Слід зазначити, що q_p та v_p можуть істотно змінюватись в залежності від кількості контейнерів, що будуть перезавантажені на судно.

Інакше кажучи, це гарантує, що розташування в контейнеровозі при виході з кожного порту p (x_{p+1}) залежить від розташування контейнерів, коли судно прибуває до порту p (x_p), плюс кількість контейнерів, які завантажуються або вивантажуються у порту p .

Програмна реалізація процесу розміщення контейнерів на судні потребує визначення двох складових.

1. Оскільки розміщення контейнерів на судні може бути представлено тривимірною матрицею, при вирішенні оптимізаційної задачі розміщення контейнерів на судні необхідно здійснювати послідовний аналіз її стану для кожного із портів з метою зменшення шифтінгу (кількості контейнерів, що перезавантажуються).

2. Зміни у стані розміщення контейнерів на судні доцільно здійснювати на основі правил розвантаження та правил завантаження, представлених u_p і v_p відповідно, що може бути здійснено за допомогою процедур імітаційного моделювання.

Висновки. Застосування запропонованої оптимізаційної моделі для завантаження контейнеровозу з урахуванням процесу його заходження до кількох портів, дозволить скоротити час виконання вантажних операцій в портах шляхом зменшення кількості операцій звантаження-вивантаження контейнерів. Особливістю запропонованої моделі є застосування логічних правил завантаження контейнеровозу, що дозволяє дотримуватися обмежень, пов'язаних із дотриманням умов збереження остійності судна та особливостями розміщення контейнерів різного типу на судні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. VIII Міжнародна науково-практична конференція «MINTT 2016. Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (24-26 травня 2016). Федоров А.И. Оптимізація морських контейнерних перевозок. С.47-48

2. IX Міжнародна науково-практична конференція «MINTT 2017. Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (23-25 травня 2017). Федоров А.И. Оптимізація вантажного плану контейнеровозу. С.13-14.

3. IV Міжнародна науково-практична конференція «Безпека життєдіяльності на транспорті і виробництві – освіта, наука, практика» БЖД-2017 Федоров А.И. Зменшення шифтінгу контейнерів при складанні вантажного плану судна. 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, pp.314–325.

5. Avriel, M., Penn, M., Shpirer, N. and Wittenboon, S. (1998) 'Stowage planning for container ships to reduce the number of shifts', *Annals of Operations Research*, Vol. 76, No. 1, pp.55–71.

6. Dubrovsky, O., Levitin, G. and Penn, M. (2002) 'A genetic algorithm with a compact solution encoding for the containership stowage problem', *Journal of Heuristics*, Vol. 8, No. 6, pp.585–599.
7. 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, pp.1–7.
8. Imai, A., Sasaki, K., Nishimura, E. and Papadimitriou, S. (2006) 'Multi-objective simultaneous stowage and loading planning or a container ship with container rehandle in yard stacks', *European Journal of Operational Research*, Vol. 171, No. 3, pp.373–389.
9. 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.
10. Vacca, I., Bierlaire, M. and Salani, M. (2007) 'Optimization at container terminals: status, trends and perspectives', *7th Swiss Transportation Research Conference*, September, pp.1–21.
11. Wilson, I. and Roach, P.A. (1999) 'Principles of combinatorial optimization applied to container-ship stowage planning', *Journal of Heuristics*, Vol. 5, No. 4, pp.403–418.
12. 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, pp.1248–1255.

REFERENCES

1. Fedorov A. I. Optimizaciya morskikh konteyjernikh perevozok. // VIII Mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya «Suchasni informacijni ta innovacijni tekhnologii na transporti» (MINTT 2016.)(24-26 travnya 2016m. Kherson). – S.47-48
2. Fedorov A. I. Optimizaciya vatazhnogo planu konteyjnerovozu. // IX Mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya «MINTT 2017. Suchasni informacijni ta innovacijni tekhnologii na transporti» (23-25 travnya 2017, m. Kherson). – S. 13–14.
3. Fedorov A. I. Zmenschennya shiftingu konteyjneriv pri skladanni vantazhnogo planu sudna. // IV Mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya «Bezpeka zhittediyalnosti na transporti i virobniactvi – osvita, nauka, praktika» – S.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, pp.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, pp.271–279.
6. Dubrovsky, O., Levitin, G. and Penn, M. (2002) 'A genetic algorithm with a compact solution encoding for the containership stowage problem', *Journal of Heuristics*, Vol. 8, No. 6, pp.585–599.
7. 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, pp.1–7.
8. Imai, A., Sasaki, K., Nishimura, E. and Papadimitriou, S. (2006) 'Multi-objective simultaneous stowage and loading planning or a container ship with container rehandle in yard stacks', *European Journal of Operational Research*, Vol. 171, No. 3, pp.373–389.
9. 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.

10. Vacca, I., Bierlaire, M. and Salani, M. (2007) 'Optimization at container terminals: status, trends and perspectives', 7th Swiss Transportation Research Conference, September, pp.1–21.
11. Wilson, I. and Roach, P.A. (1999) 'Principles of combinatorial optimization applied to container-ship stowage planning', Journal of Heuristics, Vol. 5, No. 4, pp.403–418.
12. 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, pp.1248–1255.

Федоров А. И. ОПТИМИЗАЦИЯ ГРУЗОВОГО ПЛАНА КОНТЕЙНЕРОВОЗА

В статье рассмотрены вопросы оптимизации процесса составления грузового плана контейнеровоза в условиях осуществления мультипортовых перевозок. Проанализированы существующие исследования и определено, что процесс составления грузового плана контейнеровоза представляет собой сложную многокритериальную оптимизационную задачу, для решения которой необходимо применение методов математического моделирования. Предложена математическая модель формирования грузового плана контейнеровоза, учитывающая особенности ограничений, связанных с последовательностью загрузки контейнеров и соблюдением требований сохранения остойчивости судна. В основу модели положен процесс загрузки судна на основе логических правил погрузки-выгрузки. Применение предлагаемой математической модели составления грузового плана контейнеровоза позволит повысить эффективность осуществления мультипортовых контейнерных перевозок за счет уменьшения затрат времени на процессы загрузки / выгрузки в портах.

Ключевые слова: контейнерные перевозки, грузовой план контейнеровоза, оптимизация грузовых операций с контейнерами, процесс загрузки судна, логические правила загрузки контейнеровоза, мультипортовые перевозки.

Fedorov A. I. OPTIMIZING THE CARGO PLAN OF CONTAINER SHIP

The article considers the issues of optimization of the process of creating a cargo container plan in the conditions of multi-port transportation. The existing research is analyzed and it is determined that the process of creating the cargo plan of the container is a complex multicriteria optimization problem for the solution of which it is necessary to apply methods of mathematical modeling. The mathematical model of formation of a cargo container plan, taking into account the features of constraints related to the loading sequence of containers, and compliance with the requirements of maintaining the stability of the vessel, is proposed. The basis of the model is the process of loading the ship based on the logical rules of loading and unloading. The application of the proposed mathematical model for drafting a cargo container plan will increase the efficiency of multiport container transportation by reducing the time spent on loading / unloading processes in ports.

Keywords: container transportation, cargo plan, container transport, optimization of cargo operations with containers, ship loading process, logic rules for container ship loading, multiport transportation.

© Федоров А. И.

Статтю прийнято
до редакції 21.06.18