

УДК 656.12

## МЕТОДИ ПЛАНУВАННЯ СУЧАСНИХ МОРСЬКИХ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

**Федоров А. І.**, аспірант кафедри судноводіння та електронних навігаційних систем Херсонської державної морської академії, e-mail: [mr.fedorov.anton@mail.ru](mailto:mr.fedorov.anton@mail.ru), ORCID: 0000-0002-6064-7848

*У роботі доведено, що ефективним на сьогодні є використання морських контейнерних перевезень. Аргументовано, що контейнерні перевезення є економічно вигідним і надійним способом транспортування товарів великими партіями за рахунок використання мультимодальних перевезень, що дозволяє скоротити час доставки і знизити фінансові витрати. Це стає можливим завдяки вірному плануванню організаційно-методичних та технологічних процесів перевезення вантажів. Проаналізовано переваги ефективності використання даного виду перевезення та наведено основні недоліки, які потребують усунення. Констатовано зростання контейнеропотоку на поточний момент часу, що потребує здійснення ряд заходів щодо збільшення пропускної і провізної спроможності. Розглянуто основні моделі і алгоритми розміщення контейнерів на судні і терміналі. Наведено аналіз різних підходів (ітераційний локальний пошук, спрямований локальний пошук, пошук зі змінною околицею, імовірнісний жадібний алгоритм, еволюційний алгоритм, генетичний алгоритм, алгоритм оптимізації мурашиної колонії, імітація відпалу, пошук із заборонами) та встановлено, що дані підходи ефективні та широко використовувалися. В той же час аргументовано важливість будівництва сучасних терміналів, портів, розвантажувально-вантажної техніки для підвищення ефективності морських контейнерних перевезень. Також у роботі аргументовано, що процес складання вантажного плану контейнерного судна є важливим і створення нових методів дозволить оптимізувати процес та підвищувати ефективність контейнерних перевезень в цілому.*

**Ключові слова:** судно, морські перевезення, контейнерні перевезення, вантажний план, моделі і алгоритми розміщення контейнерів, оптимізація, ефективність морських контейнерних перевезень.

DOI: 10.33815/2313-4763.2018.2.19.79–84

**Постановка проблеми.** Морські контейнерні перевезення – економічний і надійний спосіб транспортування великих партій товарів [1–4]. Контейнери представляють собою стандартні ємності, призначені для перевезення вантажів без тари морськими суднами [3–4]. Контейнерні вантажоперевезення є одним з найнадійніших способів транспортування вантажу, що дозволяє забезпечити товару високу безпеку. Всі контейнери забезпечені спеціальним механізмом для зручного навантаження і вивантаження, а також для перевантаження з одного виду транспорту на інший [4–5]. Перевезення вантажу контейнером має ряд переваг. Основне з них – відсутність перевантажень товару при зміні транспортного засобу [4, 6, 7]. Товар буде один раз завантажений в контейнер і вивантажений вже на складі одержувача. Завдяки цьому досягається значна економія коштів при можливості гнучкого і ефективного поєднання різних видів транспорту [5, 8]. Водночас, слід зазначити, що на даному етапі розвитку торговельного флоту, виникає актуальна проблема підвищення ефективності та безпечності морських контейнерних перевезень [8–14].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Контейнерні перевезення, що здійснюються морським транспортом відрізняються високим рівнем безпеки оскільки сучасні контейнери мають міцну конструкцію і достатню герметичність [6–8]. Очевидний плюс цієї галузі, полягає в можливості перевозити практично всю номенклатуру вантажів в спеціалізованих контейнерах. Універсальність цієї тари дозволила оптимізувати логістику до недосяжного раніше рівня, істотно спростивши вантажно-розвантажувальні операції [8–10]. Проте, розвантаження і завантаження контейнерів – операція, що вимагає використання спеціальної техніки, праці кваліфікованих операторів і на сучасному етапі – інтегрованих комп'ютерних програм і систем [11–12]. Автори [1–18] вважають, що однією з складових проблеми підвищення ефективності та безпечності морських контейнерних перевезень є навантаження та вивантаження контейнерів у ході якої актуальна проблема розміщення вантажу на судні або терміналі таким чином, щоб він займав точне місце і не

піддавався додатковій перестановці (шіфтіngu) на судні; з судна на берег, з берега на судно. [1–4].

**Мета роботи** – проаналізувати основні методи планування сучасних морських контейнерних перевезень

**Основна частина.** Для освоєння зростаючого контейнеропотоку на поточний момент часу здійснюються різні заходи щодо збільшення пропускної і провізної спроможності: проводиться будівництво нових ультравеликих суден-контейнеровозів, контейнерних терміналів, залізниць, механізуються автоматизуються та комп'ютеризуються всі виробничі процеси. На судні модернізують різні комп'ютерні програми пов'язані з навантаженням та вивантаженням, на терміналі встановлюють більш потужне і досконале устаткування, рухомий склад поповнюється більш потужними і досконалыми автомобілями-навантажувачами, локомотивами вагонами і т. д. Це дозволило підвищити ефективність доставки дорогих вантажів і знизити собівартість перевезень. Зниження собівартості перевезень сприяє поліпшенню якісних показників використання всіх елементів транспорту і навантажувально-розвантажувального устаткування. Поліпшення всіх показників призводить до значної економії в експлуатаційних витратах і найголовніше до зниження необхідного часу на дані процеси. Таким чином, необхідність розробки пропозицій, спрямованих на оптимізацію роботи морської контейнерної інфраструктури, є досить актуальною. Переваги контейнерних перевезень в порівнянні з традиційним тарно-штучним способом, коли товари на своєму шляху від виробника до споживача по кілька разів перевантажували, пошкоджувалися, розкрадалися, стали настільки очевидні, що судовласники, морські порти, суміжні види транспорту усього світу вклали в цю справу мільярди доларів. Тривалість стоянки судна в порту скоротилася в 5–8 разів, в 7–10 разів знизилася собівартість вантажних робіт, в 10–15 разів зменшилася кількість вантажників, різко скоротилися терміни доставки вантажів, в 8–10 разів збільшується пропускна здатність портів. Цей процес отримав назву контейнерної революції.

Основними перевагами мультимодальних перевезень, до яких належать контейнерні перевезення, є скорочення часу доставки і зниження фінансових витрат. Це стає можливим завдяки вірному плануванню організаційно-методичних та технологічних процесів перевезення вантажів. Під час проведення дослідження було проведено порівняльний аналіз досліджень в галузі сучасних контейнерних перевезень.

У роботах зарубіжних авторів вирішення проблеми розміщення контейнерів на судні розглядається спільно з вирішенням проблеми розміщення контейнерів на територіях портів, а так само контроль за пересуванням контейнерів як в порту так і протягом усього шляху в море і на суші. Автори пропонують розроблені і описані в своїх роботах системи і алгоритми. У роботі Ilaria Vacca, Matteo Salani, Michel Bierlaire представлена наступна ідея: взаємозв'язок з контейнерним терміналом є важливою частиною процесу завантаження судна і тому впорядкувати послідовність розвантаження навантаження контейнерів для підвищення ефективності роботи порту, стало важливою проблемою. У зазначеній статті представлений двофазний гібридний динамічний алгоритм, спрямований на отримання оптимізованої послідовності завантаження контейнерів з терміналу на судно і навпаки. Мета оптимізації - мінімізувати кількість операцій переміщення (шіфтіngu) контейнерів що безпосередньо впливає на ефективність операції завантаження судна зменшення грошових витрат і зменшення часу стоянки судна. Дві фази пропонованих динамічних алгоритмів спроектовані таким чином: на першому етапі застосовується розроблений евристичний алгоритм для вилучення контейнерів, на другому етапі - динамічне програмування з евристичними правилами для вирішення проблем послідовності завантаження контейнерів. Чисельні експерименти показали ефективність запровадження створеної моделі і алгоритму і їх переваги в порівнянні з вже існуючими.

У праці Wenbin Hu, Zheng-bing Hu, Lei Shi, Peng Luo, Wei Song [4] для вирішення проблеми роботи контейнерного терміналу був запропонований генетичний алгоритм, що

базується на методі групового кодування і стратегії складування контейнерів на терміналі і перевантаження їх на судно, який застосовує жадібний алгоритм. Дослідниками Rina Mary Mazza, Pasqual legato розроблено комп'ютерну програму, основна ідея якої полягає в забезпеченні оптимального розміщення контейнерів як на контейнерному терміналі так і на судні, і щоб витрати на завантаження-вивантаження були зведені до мінімуму, оскільки правильне розташування контейнерів і на судні і на контейнерному терміналі можуть сприяти скороченню часу простою судна.

Устинов Р.Г. розглядав аналіз критеріїв складання раціонального вантажного плану морського судна - контейнеровоза, що слідує лінійним маршрутом із заходом в проміжні порти для розвантаження / завантаження контейнерів. У роботі І.Л. Афоніна, А.А. Жмура, Н.А. Турняка метою досліджень стала розробка науково-обґрунтованих рішень питання контролю за навантаженням-розвантаженням контейнерів за допомогою rfid-систем, заснованих на комплексному, системному підході, з розробкою рекомендацій до вибору обладнання і окремих специфікацій. В результаті отримуємо схему дії автоматизованої, інтегрованої в інтегровану систему судна rfid-системи контролю навантаження-вивантаження контейнерів, що спрощує і прискорює процес моніторингу за навантаженням судна-контейнеровоза.

У дослідженні І.А. Русінова, Е.А. Гедриса розглянуто створення комп'ютерної системи підтримки прийняття рішення по завантаженню контейнерів, яка здатна полегшити контроль за завантаженням / вивантаженням великотоннажного контейнеровоза. Робота системи здійснюється наступним чином – при заході контейнеровоза в порт здійснюється підключення по мережі wi-fi судової системи підтримки прийняття рішення контейнеровоза до мережі Інтернет, в яку вже підключені комп'ютери причальних контейнерних перевантажувачів. Відбувається реєстрація в мережі і план завантаження відображається на комп'ютері перевантажувача. Піднятий контейнер зважується вагами перевантажувача, і інформація про усі параметри надходить через мережу Інтернет в судову інформаційну систему. Таким чином, комп'ютерна система підтримки прийняття рішення дозволяє капітану судна оперативно оцінити ступінь його завантаження, зменшити простої, і забезпечити безпеку перевезень.

Таким чином, під час вичення наукових досліджень вітчизняних та закордонних авторів щодо питань контейнерних перевезень, було з'ясовано, що проблема створення інтелектуальних автоматизованих систем управління процесами завантаження-вивантаження контейнеровозів є актуальною науковою задачею сьогодення, яка потребує вирішення з урахуванням нагальних поточних потреб морської індустрії.

**Висновки.** В ході аналізу робіт, присвячених створенню моделей і алгоритмів розміщення контейнерів на судні і терміналі було визначено, що для вирішення подібних завдань використовуються, в основному, евристичні підходи, а саме: ітераційний локальний пошук (iterative local search, ils); спрямований локальний пошук (guided local search, gls); пошук зі змінною околицею (variable neighborhood search, vns); імовірнісний жадібний алгоритм (grasp); еволюційний алгоритм (evolutionary algorithm, ea); генетичний алгоритм (genetic algorithms, ga); алгоритм оптимізації мурашиної колонії (ant colony optimization, aco); імітація відпалу (simulated annealing, sa); пошук із заборонами (tabu search, ts).

В цілому слід зазначити, що на даному етапі контейнерна система вимагає узгодженого розвитку – має бути забезпечене не тільки будівництво нових ультрасучасних суден а й модернізація існуючих, будівництво нових великих спеціалізованих портів і терміналів, створення великовантажних типів розвантажувально-вантажної техніки. Необхідний також контроль за пересуванням контейнерів як в порту так і протягом усього шляху у морі і на суші, узгодженість країн-партнерів з торгівлі, що ще більше ускладнює проблему, перетворюючи її, по суті, в глобальну.

Таким чином, створення нових методів або алгоритмів оптимізації процесу складання вантажного плану судна типу контейнеровоз є одним з найбільш актуальних

питань сьогодення. Аналіз, який проведено у даній роботі, у подальших дослідженнях дозволить розробити власну модель і алгоритм розміщення контейнерів на судні, що дозволить оптимізувати процес складання вантажного плану судна та підвищити ефективність контейнерних перевезень.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Козырев В.К. Грузоведение: Учебник. / В.К. Козырев. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Одесса : Феникс, 2005. – 360 с.
- 2 Николаева Л.Л., Цимбал Н.Н. Морские перевозки: Учебник. / Л.Л. Николаева, Н.Н. Цимбал. // Одесская национальная морская академия. – Одесса : Феникс, 2005. – 425 с.
- 3 Снопков В.И. Технология перевозки грузов морем: Учебник для вузов. / В.И. Снопков. – СПб: НПО «Профессионал», 2006. – 500 с.
- 4 Zhan Bian, Qianqian Shao, Zhihong Jin (Optimization on the container loading sequence based on hybrid dynamic programming), 2015.
- 5 Wenbin Hu, Zhengbing Hu, Lei Shi, Peng Luo and Wei Song (Combinatorial optimization and strategy for ship stowage and loading schedule of container terminal), 2012.
- 6 Устинов Р.Г. Анализ критериев составления грузового плана морского судна–контейнеровоза. / Р.Г. Устинов, В.В. Днепровский. // Вестник Приазовского Державного Техничного Университета – Вып. № 15, 2005.
- 7 Нікольський В. В. Система підтримки прийняття рішення по завантаженню великотоннажного контейнеровоза. / В. В., Нікольський, М. В Нікольський, Ю. А Накул, 2016.
- 8 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.
- 9 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.
- 10 Blum, C. and Roli, A. (2003) ‘Metaheuristics in combinatorial optimization overview and conceptual comparison’, ACM Computing Surveys. – Vol. 35, No. 3. – Pp.268–308.
- 11 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.
- 12 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.
- 13 Imai, A., Sasaki, K., Nishimura, E. and Papadimitriou, S. (2006) ‘Multi-objctive simultaneous stowage and loading planning for a container ship with container rehandle in yard stacks’, European Journal of Operational Research. – Vol. 171, No. 3. – Pp.373–389.
- 14 Michalewicz, Z. (1996) Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, 3rd ed., Springer-Verlag, London, UK.
- 15 Ribeiro, C.M., Azevedo, A.T. and Teixeira, R.F. (2010) ‘Problem of assignment cells to switches in a cellular mobile network via beam search method’, WSEAS Transactions on Communications. – Vol. 9, No. 1. – Pp.11–21.
- 16 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.
- 17 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.

- 18 Valente, J.M.S. and Alves, R.A.F.S. (2005) 'Filtered and recovering beam search algorithm for the early/tardy scheduling problem with no idle time', *Computers & Industrial Engineering*. – Vol. 48, No. 2. – Pp.363–375.
- 19 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.
- 20 Dyckhoff, H. (1990) 'A typology of cutting and packing problems', *European Journal of Operational Research*. – Vol. 44, No. 2. – Pp.145–159

## REFERENCES

- 1 Kozihrev V.K. *Gruzovedenie: Uchebnik.*– Odessa : Feniks, 2005. – 360 s.
- 2 Nikolaeva L.L., Tsimbal N.N. *Morskie perevozki: Uchebnik.* // Odesskaya nacional'naya morskaya akademiya. Odessa : Feniks, 2005. – 425 s. Snopkov V.I. *Tekhnologiya perevozki gruzov morem: Uchebnik dlya vuzov.* SPb: NPO «Professional», 2006. 500 s.
- 3 Zhan Bian, Qianqian Shao, Zhihong Jin (Optimization on the container loading sequence based on hybrid dynamic programming), 2015.
- 4 Wenbin Hu, Zhengbing Hu, Lei Shi, Peng Luo and Wei Song (Combinatorial optimization and strategy for ship stowage and loading schedule of container terminal), 2012.
- 5 Ustinov R.G. Analiz kriteriev sostavleniya gruzovogo plana morskogo sudna-konteynerovoza. / R.G. Ustinov, V.V. Dneprovskiyj. // Vestnik Priazovskogo Derzhavnogo Tekhnichnogo Universiteta – Vihp. № 15, 2005.
- 6 Nikoljskiyj V. V. Sistema pidtrimki priyjnnyattya rishennya po zavantazhennyu velikotonnazhnogo konteynerovoza. / V. V., Nikoljskiyj, M. V Nikoljskiyj, Yu. A Nakul, 2016.
- 7 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.
- 8 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.
- 9 Blum, C. and Roli, A. (2003) 'Metaheuristics in combinatorial optimization overview and conceptual comparison', *ACM Computing Surveys*. – Vol. 35, No. 3. – Pp.268–308.
- 10 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.
- 11 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.
- 12 Imai, A., Sasaki, K., Nishimura, E. and Papadimitriou, S. (2006) 'Multi-objektive simultaneous stowage and loading planning for a container ship with container rehandle in yard stacks', *European Journal of Operational Research*. – Vol. 171, No. 3. – Pp.373–389.
- 13 Michalewicz, Z. (1996) *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, 3rd ed., Springer-Verlag, London, UK.
- 14 Ribeiro, C.M., Azevedo, A.T. and Teixeira, R.F. (2010) 'Problem of assignment cells to switches in a cellular mobile network via beam search method', *WSEAS Transactions on Communications*. – Vol. 9, No. 1. – Pp.11–21.
- 15 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.
- 16 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.

17 Valente, J.M.S. and Alves, R.A.F.S. (2005) 'Filtered and recovering beam search algorithm for the early/tardy scheduling problem with no idle time', Computers & Industrial Engineering. – Vol. 48, No. 2. – Pp.363–375.

18 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.

19 Dyckhoff, H. (1990) 'A typology of cutting and packing problems', European Journal of Operational Research. – Vol. 44, No. 2. – Pp.145–159

**Федоров А.И. МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МОРСКИХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК**

*В работе доказано, что эффективным на сегодня является использование морских контейнерных перевозок. Аргументировано, что контейнерные перевозки является экономически выгодным и надежным способом транспортировки товаров большими партиями за счет использования мультимодальных перевозок, что позволяет сократить время доставки и снизить финансовые затраты. Это становится возможным благодаря верному планированию организационно-методических и технологических процессов перевозки грузов. Проанализированы преимущества эффективности использования данного вида перевозки и приведены основные недостатки, требующие устранения. Констатировано рост контейнеропотоков на текущий момент времени, что требует осуществления ряд мероприятий по увеличению пропускной и провозной способности. Рассмотрены основные модели и алгоритмы размещения контейнеров на судне и терминале. Приведен анализ различных подходов (итерационный локальный поиск, направленный локальный поиск, поиск с переменной окрاییной, вероятностный жадный алгоритм, эволюционный алгоритм, генетический алгоритм, алгоритм оптимизации муравьиной колонии, имитация отжига, поиск с запретами) и установлено, что данные подходы эффективны и широко используемые. В то же время аргументировано важность строительства современных терминалов, портов, разгрузочно-погрузочной техники для повышения эффективности морских контейнерных перевозок. Также в работе аргументировано, что процесс составления грузового плана контейнерного судна является важным и создание новых методов позволит оптимизировать этот процесс и повысить эффективность контейнерных перевозок в целом.*

**Ключевые слова:** судно, морские перевозки, контейнерные перевозки, грузовой план, модели и алгоритмы размещения контейнеров, оптимизация, эффективность морских контейнерных перевозок.

**Fedorov A. I. PLANNING METHODS FOR MODERN CONTAINER SHIPPING**

*It is proved in the work that the use of sea container transportations is effective today. It is argued that container transportation is a cost-effective and reliable way of transporting goods in large quantities by using multimodal transportation, which reduces shipping time and reduces financial costs. This is possible due to the correct planning of organizational, methodological and technological processes of cargo transportation. The advantages of the efficiency of using this type of transportation are analyzed and the main disadvantages that need to be eliminated are presented. The growth of the container flow at the current moment of time is noted, which requires a number of measures to increase the capacity and capacity. Basic models and algorithms for container and ship container placement are considered. Various approaches are analyzed (iterative local search, directional local search, variable neighborhood search, probabilistic greedy algorithm, evolutionary algorithm, genetic algorithm, ant colony optimization algorithm, annealing simulation, search with bans) and found that data are widely used and applied. At the same time, the importance of the construction of modern terminals, ports, unloading and loading equipment for increasing the efficiency of sea container transportation is argued. The paper also argues that the process of drawing up a cargo plan for a container vessel is important and the creation of new methods will allow optimizing the process and increasing the efficiency of container transportations as a whole.*

**Keywords:** ship, sea transportation, container transportation, cargo plan, models and algorithms of container placement, optimization, efficiency of sea container transportation.

© Федоров А. И.

Статтю прийнято  
до редакції 22.09.18