

МЕТОД ФОРМУВАННЯ СУБОПТИМАЛЬНОГО ВАНТАЖНОГО ПЛАНУ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ

УДК 681.5

DOI: <https://doi.org/10.35546/2313-0687.2019.25.96-105>**Федоров Антон Ігоревич,**аспірант кафедри судноводіння та електронних навігаційних систем Херсонської державної морської академії,
e-mail: mr.fedorov.anton@mail.ru ORCID ID: 0000-0002-6064-7848.

Анотація. Головною ідеєю наукового дослідження є вивчення особливостей процесу завантаження-вивантаження контейнеровоза під час виконання ним мультипортових рейсів (послідовних заходів до кількох портів під час виконання одного рейсу). При цьому виникає проблема «шифтинга», тобто необхідності переміщення одних контейнерів на борту судна з метою розміщення інших. Пропонований метод розміщення контейнерів дозволяє скоротити час знаходження судна в порту за рахунок зменшення кількості операцій «шифтинга», що позитивно впливає на економічні показники виконання рейсу контейнеровозом. Метою дослідження є розробка математичної моделі завантаження судна-контейнеровозу, що забезпечує зменшення впливу «шифтинга» контейнерів та зменшує витрати часу на формування вантажного плану судна. Методи дослідження. Основою досліджень є теорія оптимального управління, математичне моделювання, евристичні методи. Основні результати дослідження. Визначено ключові напрямки досліджень в галузі автоматизації формування вантажних планів контейнеровозів. Показано, що створення автоматизованої системи управління вантажними операціями контейнеровозів (АСУВОК) дозволить одночасно вирішувати комплекс задач з управління вантажними операціями, що забезпечує скорочення часу, необхідного для їх виконання, та підвищує економічну ефективність рейсу судна. Особливо ефективним застосування пропонованого підходу є в мультипортових перевезеннях, які здійснюються контейнеровозами з невеликою кількістю контейнерів (фідерні перевезення). Наукова новизна. Розроблено математичну модель завантаження контейнеровоза на основі комбінації методів гілок і меж та пошуку із заборонами, що дозволяє одночасно враховувати мультипортовість виконання рейсу судна та технологічні обмеження формування вантажного плану обумовлені особливостями їх розміщення на судні. Практична значимість. Результати досліджень дозволяють розробити удосконалені алгоритми виконання вантажних операцій контейнеровозів. В прикладному плані дана робота спрямована на створення програмного продукту, застосування якого дозволить вирішити важливе науково-прикладне завдання в галузі застосування інформаційних технологій в судноводінні – підвищення ефективності та безпечності контейнерних перевезень за рахунок впровадження АСУВОК.

Ключові слова: вантажний план контейнеровозу, мультипортові перевезення, метод гілок і меж, метод пошуку із заборонами, автоматизована система управління вантажними операціями контейнеровозу.

Вступ. Контейнерні перевезення – економічний і надійний спосіб транспортування великих партій товарів. Перевезення вантажу у контейнерах має ряд переваг, головна 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].

Контейнерні перевезення, що здійснюються морським транспортом відрізняються високим рівнем безпеки оскільки сучасні контейнери мають міцну конструкцію і достатню герметичність [2]. Проте, розвантаження і завантаження контейнерів – складна операція, що вимагає використання спеціальної техніки, кваліфікованих операторів і застосування спеціалізованих пограмних засобів.

При плануванні контейнерних перевезень часто виникають 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 дотриманням обмежень при розміщенні його в трюмах і на палубі відповідно до вимог безпеки судна [3].

Розміщення вантажу впливає на провізну спроможність судна не тільки через ступінь використання вантажопідйомності і вантажомісткості, а й своїм впливом на швидкість ходу і продуктивність вантажних робіт. При невдалому розміщенні вантажів судно набуває небажаного диференту, відчуває посилену хитавицю і вібрацію. Ці обставини знижують швидкість судна, збільшують небезпеку штормових пошкоджень і сприяють виникненню аварійних ситуацій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з важливих складових проблеми підвищення ефективності та безпечності морських контейнерних перевезень є процеси навантаження та вивантаження контейнерів у ході яких 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 [15].

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.

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 [4]; спрямований локальний пошук [5]; пошук зі змінною околицею [6]; імовірнісний жадібний алгоритм [7,8]; еволюційний алгоритм [9]; генетичний алгоритм [9]; алгоритм оптимізації мурашиної колонії [12]; імітація відпалу [13]; пошук із заборонами [14,16].

Порівняльний аналіз досліджень, проведених різними авторами, показує, що ефективним методом вирішення проблеми є комбінований двох етапний підхід, заснований на формуванні субоптимального плану завантаження контейнеровозу з використанням методу гілок і меж з послідуочим застосуванням методу пошуку із заборонами. 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.

Постановка задачі дослідження. Метою дослідження є розробка математичної моделі завантаження судна-контейнеровозу, що забезпечує зменшення впливу «шіфтіngu» контейнерів та зменшує витрати часу на формування вантажного плану судна.

Розв'язання задачі. Формування вантажного плану контейнеровозу – складна комбінаторна задача, складність розв'язання якої залежить від місткості судна (заданого кількістю одиниць 20-ти футових контейнерів – TEU) та кількості контейнерів що завантажуються-вивантажуються у кожному порту призначення (ПП). Проблема суттєво ускладнюється для випадку здійснення мультипортових перевезень. Оптимізація

вантажного плану контейнеровозу також ускладнюється необхідністю враховувати «шифтинг» контейнерів при русі через декілька портів. Визначення оптимального розподілу конкретних контейнерів за місцями їх розміщення навіть на декількох портів є обчислювально-складною проблемою і не вирішується повним перебором можливих варіантів розміщення за прийнятний проміжок часу [17].

Субоптимальне розміщення контейнерів може бути знайдено за прийнятний проміжок часу у випадку застосування комбінованих евристичних методів, один з яких розроблено в роботі.

Для зниження обчислювальної складності процесу формування вантажного плану контейнеровозу пропонується розділити цей процес на два етапи: стратегічне планування карго-плану та тактичне планування.

Під час стратегічного планування групи контейнерів розміщуються блоками, в яких місця розміщення контейнерів, що відповідають кришкам люків, згруповані разом (рис. 1. та рис. 2(а).).

Під час тактичного планування конкретні контейнери розміщуються в конкретні місця всередині блоків, визначених на етапі стратегічного планування (рис. 2(б).).

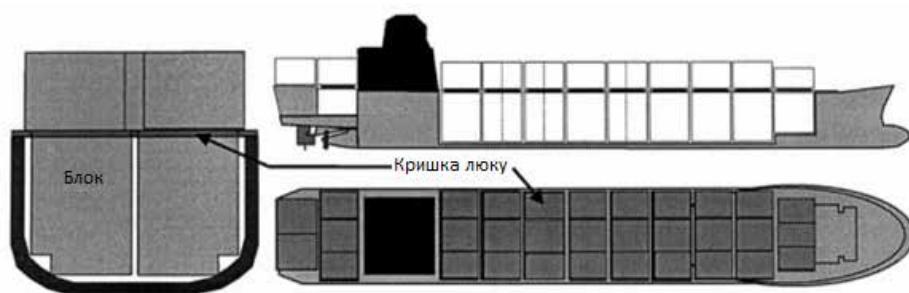


Рисунок – 1. Розбиття вантажного простору контейнеровозу на окремі блоки

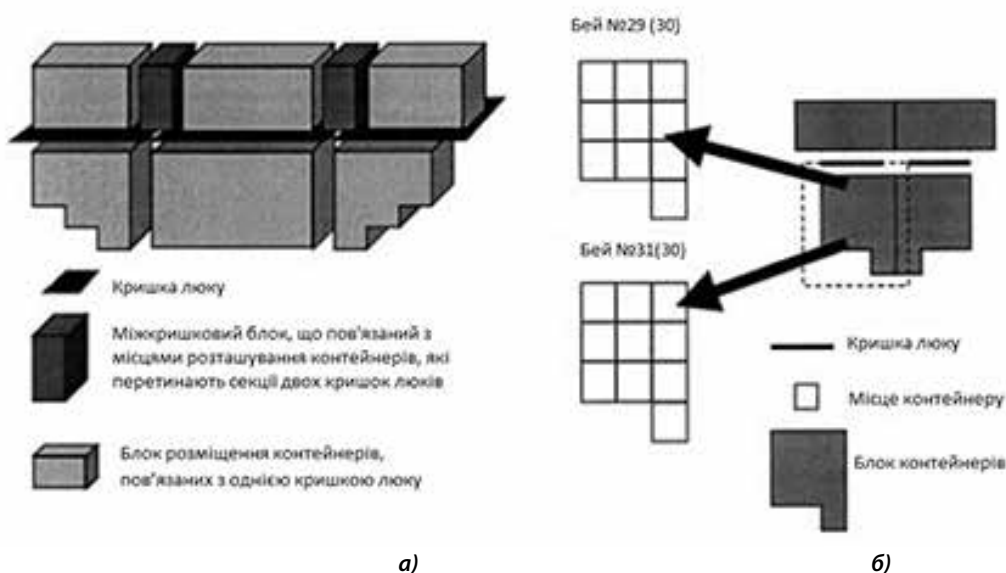


Рисунок – 2. Взаємозв'язок між блоками, кришками люків та місцями розміщення контейнерів

Процес стратегічного планування забезпечує загальний вигляд карго-плану в кінці процесів розвантаження і завантаження у кожному ПП.

Під час тактичного планування точно визначається місце контейнера, яке він буде займати у порту призначення. Це дозволяє уникнути обчислювальних складнощів, пов'язаних з початковим розміщенням усіх

контейнерів в загальному контейнерному масиві контейнеровозу. Кожен блок складається з кількох місць розміщення, розташованих в межах однієї кришки люку (групування по ширині) так, як це показано на рис. 2(б). Таким чином формується бей-план судна.

Завданнями етапу стратегічного планування є наступні:

- мінімізувати кількість вантажних місць, зайнятих в кожному ПП;
- максимізувати кількість кранів, що здійснюють вантажні операції в кожному ПП;
- мінімізувати кількість кишок люків, що переміщуються;
- мінімізувати кількість повторних переміщень;
- мінімізувати кількість блоків, зайнятих контейнерами.

Для вирішення задачі стратегічного планування приймемо наступні умовні позначення:

cr_i - кількість кранів в ПП i ;

nd - кількість ПП;

nh - кількість люків;

nc - кількість контейнерів;

nb - кількість боків;

nr - кількість боків, що укладені нагорі;

nl - кількість кришок люків;

$DH_{ij} = 1$ якщо контейнер в ПП i знаходиться в люку j , інакше 0;

XC_i - найбільша кількість контейнерів в ПП i розмішених в будь якому люку;

YC_i - найбільша кількість контейнерів розмішених для ПП i мінус XC_i ;

$DHH_{ijk} = 1$ якщо існує контейнер для ПП i в люку j і інший в межах сусіднього люку k ;

$DB_{ij} = 1$ якщо контейнер для ПП i існує в блоці j , інакше 0;

$DBR_{ijkl} = 1$ якщо контейнер для ПП k існує в блоці i і контейнер для ПП l існує в блоці j , де блок i вище блоку j і ПП k знаходиться далі ПП l , інакше 0;

$DL_{ij} = 1$ якщо контейнер для ПП i існує нижче кришки люку j , інакше 0;

$VR_{ij} = 1$ – ємність блоку i під кришкою, що залишилась, де контейнери, розташовані в блоці j , який знаходиться над кришкою і блок i знаходиться нижче блоку j ;

Цільова функція процесу стратегічного планування матиме вигляд:

$$f = ((f_1 \cdot w_1) + (f_2 \cdot w_2) + \dots + (f_9 \cdot w_9)) \quad (1)$$

де f_i і w_i – відповідно значення складових цільової функції та їх ваги, що характеризують рівень придатності конкретного варіанта розміщення контейнерів.

Найменше значення цільової функції відповідає найкращому варіанту розміщення.

Перша складова цільової функції f_1 рахує кількість люків, які зайнято контейнерами для кожного ПП, при цьому кращий варіант розміщення характеризується меншою кількістю люків:

$$f_1 = \sum_{i=1}^{nd} \sum_{j=1}^{nh} DH_{ij} \quad (2)$$

Друга складова цільової функції f_2 рахує скільки люків які зайнято контейнерами у кожному ПП, і потім порівнює цю кількість з кількістю кранів що є в наявності в цьому ПП. Це потрібно для визначення необхідної кількості кранів у ПП, що залежить від кількості люків, зайнятих в цьому ПП:

$$f_2 = \sum_{i=1}^{nd} \sum_{j=1}^{nh} DH_{ij} \cdot cr_i \quad (3)$$

Третя складова цільової функції, f_3 визначає наскільки добре контейнери розподілені між люками, і, таким чином, наскільки ефективною буде робота кранів. В ідеальному випадку контейнери повинні бути розміщені таким чином, щоб працювали всі крани, задіяні в розвантаженні:

$$f_3 = \sum_{i=1}^{nd} |XC_i - YC_i| \quad (4)$$

Четверта складова цільової функції, f_4 , рахує кількість ПП, існуючих для кожного люку. Кращий варіант розміщення контейнерів характеризується мінімальною кількістю ПП для кожного люку:

$$f_4 = \sum_{i=1}^{nh} \sum_{j=1}^{nd} DH_{ji} \quad (5)$$

П'ята складова цільової функції, f_5 , є штрафною функцією, що визначає фрагменти розміщення контейнерів, в яких контейнери для одного ПП розмішені в сусідніх люках, що не дозволяє розвантажувати їх одночасно двома кранами:

$$f_5 = \sum_{i=1}^{nd} \sum_{j=1}^{nh} \sum_{k=1}^{nh} DHH_{ijk} \quad (6)$$

Шоста складова цільової функції, f_6 , рахує кількість зайнятих контейнерами блоків для кожного ПП. Мінімальне змішування контейнерів для різних ПП в блоках відповідає кращому карго-плану:

$$f_6 = \sum_{i=1}^{nd} \sum_{j=1}^{nb} DB_{ij} \quad (7)$$

Сьома складова цільової функції, f_7 , є штрафною функцією яка рахує кількість контейнерів, що розміщені на кришках люків, під якими є контейнери, призначені для попереднього ПП:

$$f_7 = \sum_{i=1}^{nb} \sum_{j=1}^{nb} \sum_{k=1}^{nd} \sum_{l=1}^{nd} DBR_{ijkl} \quad (8)$$

Восьма складова цільової функції, f_8 , визначає, наскільки добре контейнери розміщені під кришками люків, від чого залежить ефективність роботи портових кранів:

$$f_8 = \sum_{i=1}^{nd} \sum_{j=1}^{nl} DL_{ij} \quad (9)$$

Дев'ята складова цільової функції, f_9 , рахує кількість місць під кришкою люків над якими знаходяться контейнери. Чим більше таких місць, тим гіршим є карго-план:

$$f_9 = \sum_{i=1}^{nr} \sum_{j=1}^{nb} VR_{ij} \quad (10)$$

Після визначення складових цільової функції здійснюємо її мінімізацію, застосовуючи метод гілок та меж, що включає в себе п'ять етапів.

1. Визначення початкового розташування контейнерів. Контейнери розмішуються блоками відповідно до вантажного простору судна і етапів стратегічного планування. При цьому розміщення розпочинається з контейнерів, призначених для найдальшого ПП.

2. Визначення гілок. Генеруються нові рішення, що відображають кожне можливе розміщення першого контейнеру із списку завантаження у вантажному просторі судна. Невірні варіанти розміщень видаляються.

3. Пошук. Варіанти рішень, сформовані під час визначення гілок аналізуються на придатність за допомогою цільової функції. Найбільш придатні варіанти розміщення запам'ятовуються.

4. Обрізка. Відбувається зменшення кількості варіантів рішень за рахунок вилучення тих розміщень, що при однаковому значенні цільової функції передбачають більшу кількість вантажних операцій.

5. Визначення нових розміщень. Обирається знайдене розміщення з найкращим значенням функції придатності і процес повторюється для наступних контейнерів і ПП.

Далі виконується тактичне планування розміщення контейнерів. Основними

завданнями етапу тактичного планування є наступні:

- зменшення переміщень (шифтіngu) контейнерів;
- забезпечення розташування контейнерів відповідно до їх ваги (знизу – важчі, зверху – легші);
- мінімізація кількості штабелів контейнерів з різними ПП.

Для визначення цільової функції тактичного планування застосуємо наступні позначення:

$C : \{c_1, \dots, c_{nc}\}$ – множина усіх контейнерів;

nc - кількість контейнерів;

D_i - порт призначення контейнеру i ;

DR_i - множина переміщень, які пов'язані з контейнером i ;

DW_i – множина контейнерів в одному штабелі, що розміщені вище контейнеру i і мають більшу вагу;

DS_i – множина контейнерів що мають різні ПП і знаходяться в одному штабелі з контейнером i .

Цільова функція процесу тактичного планування має вигляд:

$$f = (f_{10} \cdot w_{10}) + (f_{11} \cdot w_{11}) + (f_{12} \cdot w_{12}) \quad (11)$$

де w_i - вага відповідної складової f_i цільової функції.

Перша складова цільової функції, f_{10} , визначає кількість шифтінгу:

$$f_{10} = \begin{cases} \sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{nc} \alpha_{ij} & \text{якщо } i \in DR_j \\ 0 & \text{якщо } i \notin DR_j \end{cases} \quad (12)$$

Друга складова цільової функції, f_{11} , визначає кількість контейнерів з різними ПП, що розміщені в одному штабелі:

$$f_{11} = \begin{cases} \sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{nc} \alpha_{ij} & \text{якщо } i \in DS_j \\ 0 & \text{якщо } i \notin DS_j \end{cases} \quad (13)$$

Третя складова цільової функції, f_{12} , визначає кількість контейнерів більшої ваги, що розміщені в одному штабелі один поверх одного:

$$f_{12} = \begin{cases} \sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{nc} \alpha_{ij} & \text{якщо } i \in DW_j \\ 0 & \text{якщо } i \notin DW_j \end{cases} \quad (14)$$

Тактична оптимізація вантажного плану контейнеровозу здійснюється із застосуванням методу пошуку із заборонами. Відбувається ітераційний процес пошуку рішення з найбільш придатних розміщень контейнерів на судні. При цьому для варіанта розміщення контейнерів S в усьому контейнерному просторі судна, множина $M(s)$ представляє собою множину припустимих переміщень m , які можуть бути застосовані до розміщення S з метою отримання нового розміщення $s \leftarrow s \dot{\cup} m$, що дає $N(s) = \{s \dot{\cup} m \in M(s) \mid de \ s \leftarrow s \dot{\cup} m\}$.

Такі переміщення здійснюються з метою знаходження субоптимального розміщення контейнерів, виходячи з мінімізації цільової функції f .

Розроблена математична модель застосована при створенні прототипу автоматизованої системи управління вантажними операціями контейнеровозів (АСУ-ВОК), яка здатна істотно полегшити контроль за завантаженням / вивантаженням судна.

При заході контейнеровоза (3) в порт здійснюється підключення по мережі WiFi (2) судової системи управління завантаженням контейнеровоза (5) до мережі Інтернет, до якої також підключені комп'ютери (4) причальних контейнерних кранів (1). Відбувається реєстрація в мережі і план завантаження судна відображається на комп'ютері перевантажувача. Піднятий контейнер розміщується портовим краном в задану позицію, і інформація про його розміщення надходить в судову інформаційну систему.

Структура АСУВОК наведена на рисунку 4. Відмінними рисами розробленої автоматизованої системи є її відносно невелика вартість, а також орієнтованість до застосування на фідерних перевезеннях (особливістю фідерних перевезень є мультипортовість та невелика кількість контейнерів на судні: 600-1200). Кількість програмних продуктів, що забезпечують вирішення даного класу задач на поточний момент часу обмежена.

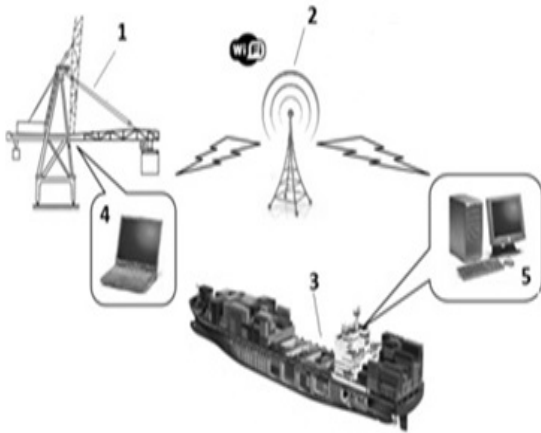


Рис. 4 – Структура АСУВОК

Структура АСУВОК : 1 – портовий кран; 2 – станція WiFi; 3 – контейнеровоз; 4 – ноутбук в кабіні портового крану; 5 – суднова система управління завантаженням судна.

Висновки. Підводячи підсумки проведеного аналізу наукових досліджень вітчизняних та закордонних авторів у зазначеній галузі, було з'ясовано, що питання створення автоматизованих систем управління процесами завантаження-вивантаження контейнеровозів є актуальною науковою проблемою сьогодення, яка потребує вирішення з урахуванням нагальних поточних потреб морської індустрії.

Розробка таких систем потребує створення нових моделей та методів оптимізації процесу складання вантажного плану типу контейнеровозу. Аналіз, який проведено у даній роботі, дозволив розробити власну модель і алгоритм розміщення контейнерів на судні, що оптимізує процес складання вантажного плану судна та сприяє підвищенню безпеки контейнерних перевезень.

Застосування пропонованого підходу до побудови вантажного плану контейнеровозу дозволяє поліпшити економічні показники виконання судном рейсу за рахунок зменшення часу виконання вантажних операцій та тривалості стоянки судна в портах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Николаева Л.Л., Цимбал Н.Н. Морские перевозки: Учебник. / Л.Л. Николаева, Н.Н. Цимбал. // Одесская национальная морская академия. – Одесса : Феникс, 2005. – 425 с. – 25 лист. ил.
2. Снопков В.И. Технология перевозки грузов морем: Учебник для вузов. – 4-е издание, переработанное и дополненное / В.И. Снопков. – СПб: НПО «Профессионал», 2006. – 500 с.
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. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Blum, C. and Roli, A. (2003) 'Metaheuristics in combinatorial optimization overview and conceptual comparison', ACM Computing Surveys. – Vol. 35, No. 3. – Pp.268–308.
9. 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.
10. 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.
11. Imai, A., Sasaki, K., Nishimura, E. and Papadimitriou, S. (2006) 'Multi-objetive 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.
12. Michalewicz, Z. (1996) Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, 3rd ed., Springer-Verlag, London, UK.
13. 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.

14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ СУБОПТИМАЛЬНОГО ГРУЗОВОГО ПЛАНА КОНТЕЙНЕРОВОЗА

Федоров Антон Игоревич,

аспирант кафедры судовождения и электронных навигационных систем Херсонской государственной морской академии,
e-mail: mr.fedorov.anton@mail.ru ORCID ID: 0000-0002-6064-7848.

Аннотация. Главной идеей научного исследования является изучение особенностей процесса загрузки-выгрузки контейнеровоза во время выполнения им мультипортовых рейсов (последовательных заходов в нескольких портах во время выполнения одного рейса). При этом возникает проблема «шифтинга», то есть необходимости перемещения одних контейнеров на борту судна с целью размещения других. Предлагаемый метод размещения контейнеров позволяет сократить время нахождения судна в порту за счет уменьшения количества операций «шифтинга», что положительно влияет на экономические показатели выполнения рейса контейнеровозом. Целью исследования является разработка математической модели загрузки судна-контейнеровоза, обеспечивающей уменьшение влияния «шифтинга» контейнеров и уменьшающей затраты времени на формирование грузового плана судна. Методы исследования. Основой исследований являются оптимальное управление, математическое моделирование, эвристические методы. Основные результаты исследования. Определены ключевые направления исследований в области автоматизации формирования грузовых планов контейнеровозов. Показано, что создание автоматизированной системы управления грузовыми операциями контейнеровозов (АСУВОК) позволит одновременно решать комплекс задач по управлению грузовыми операциями, обеспечивает сокращение времени, необходимого для их выполнения, и повышает экономическую эффективность рейса судна. Особенно эффективным применение предлагаемого подхода является в мультипортовых перевозках, осуществляемых контейнеровозами с небольшим количеством контейнеров (фидерные перевозки). Научная новизна. Разработана математическая модель загрузки контейнеровоза на основе комбинации методов ветвей и границ и поиска с запретами, что позволяет одновременно учитывать мультипортовость выполнения рейса судна и технологические ограничения формирования грузового плана обусловленные особенностями их размещения на судне. Практическая значимость. Результаты исследований позволяют разработать усовершенствованные алгоритмы выполнения грузовых операций контейнеровозов. В прикладном плане данная работа направлена на создание программного продукта, применение которого позволит решить важную научно-прикладную задачу в области применения информационных технологий в судовождении – повышение эффективности и безопасности контейнерных перевозок за счет внедрения АСУВОК.

Ключевые слова: *грузовой план контейнеровоза, мультипортовые перевозки, метод ветвей и границ, метод поиска с запретами, автоматизированная система управления грузовыми операциями контейнеровоза.*

SUB-OPTIMAL FORMATION CARGO PLAN METHOD FOR CONTAINER SHIP

Anton Fedorov,

postgraduate student, Department of Navigation and Electronic Navigation Systems, Kherson State Maritime Academy,
e-mail: mr.fedorov.anton@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6064-7848.

Abstract. The main idea of scientific research is to study the features of the process of loading and unloading a container ship during its multi-port voyages (consecutive visit at several ports during one voyage). This raises the shifting problem, that is, the need to move some containers on board the vessel in order to accommodate others. The proposed method of container placement allows you to reduce the time spent on the ship at the port by reducing the number of “shifting” operations, which positively affects the economic performance of the container ship’s voyage. The aim of the research is to develop a mathematical model of the loading of a container ship that reduces the impact of container “shifting” and reduces the time spent on the formation of the cargo plan of the vessel. Research methods. The basis of research is optimal control, mathematical modeling, heuristic methods. The main results of the research. Key areas of research in the field of automation of the formation of container ship loading plans are identified. It is shown that the creation of an automated control system for the cargo operations of container ships (ACSCOCS) will simultaneously solve a range of tasks for managing cargo operations, reduce the time required to complete them, and increase the economic efficiency of a vessel’s voyage. The most effective application of the proposed approach is in multi-port transportation carried out by container ships with a small number of containers (feeder transportation). Scientific novelty. A mathematical model has been developed for loading a container ship based on a combination of branch and border methods and Tabu search method, which makes it possible to simultaneously take into account the multi-port performance of a vessel’s voyage and the technological limitations of forming a cargo plan due to the peculiarities of their placement on the vessel. Practical significance. The research results allow us to develop improved algorithms for performing container ship cargo operations. In the applied aspect, this work is aimed at creating a software product, the application of which will allow solving an important scientific and applied problem in the field of application of information technologies in navigation – improving the efficiency and safety of container transportation through the using of ACSCOCS.

Key words: *cargo plan, multi-port transport, branch and border method, Tabu search method, automated container ship cargo management system.*

REFERENCES:

1. Николаева Л.Л., Цимбал Н.Н. Морские перевозки: Учебник. / Л.Л. Николаева, Н.Н. Цимбал. // Одесская национальная морская академия. – Одесса : Феникс, 2005. – 425 с. – 25 лист. ил.
2. Снопков В.И. Технология перевозки грузов морем: Учебник для вузов. – 4-е издание, переработанное и дополненное / В.И. Снопков. – СПб: НПО «Профессионал», 2006. – 500 с.
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. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Blum, C. and Roli, A. (2003) ‘Metaheuristics in combinatorial optimization overview and conceptual comparison’, ACM Computing Surveys. – Vol. 35, No. 3. – Pp. 268–308.
9. 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.

10. 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.
11. Imai, A., Sasaki, K., Nishimura, E. and Papadimitriou, S. (2006) 'Multi-objetive 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.
12. Michalewicz, Z. (1996) *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, 3rd ed., Springer-Verlag, London, UK.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.