

DOI [https://doi.org/10.15589/znp2019.1\(475\).18](https://doi.org/10.15589/znp2019.1(475).18)
УДК 656.12

ASSESSMENT OF THE NAVIGATION SITUATION IN THE DECISION SUPPORT SYSTEM FOR NAVIGATOR

ФОРМУВАННЯ ВАНТАЖНОГО ПЛАНУ КОНТЕЙНЕРОВОЗА ЗГІДНО З ЛОГІЧНИМИ ПРАВИЛАМИ ЗАВАНТАЖЕННЯ-ВИВАНТАЖЕННЯ

Andrii P. Ben

a_ben@i.ua

ORCID:0000-0002-9029-3489

Anton I. Fedorov

mr.fedorov.anton@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6064-7848

А. П. Бень,

канд. техн. наук, доцент,

проректор

з науково-педагогічної роботи

А. І. Федоров,

аспірант

Kherson State Maritime Academy, Kherson

Херсонська державна морська академія, м. Херсон

Abstract. Purpose. The article deals with the creation of automated systems for managing cargo operations of container ships.

Method. The main idea of the scientific research is to study the features of the process of loading-unloading of a container ship during its multi-port going's (sequential enter to several ports during the same trip). This raises the problem of "shifting", i.e. the need to move some containers on board a vessel to accommodate others. The proposed method of placing containers on the basis of logical rules of loading and unloading allows to reduce the time of stay of the vessel in port by reducing the number of "shifting" operations, which has a positive effect on the economic performance of a container ship.

Results. Key areas of research in this field are identified. It has been shown that the creation of an automated containerized cargo operations management system (ACCOMS) will simultaneously solve a complex of cargo operations management tasks, which will reduce the time required to perform them and increase the economic efficiency of a vessel's trip. Particularly effective is the application of the proposed approach when it is applied to multi-port transportations carried out by container ships with a small number of containers (feeder transportation).

Scientific novelty. The mathematical model of loading of a container ship on the basis of logical rules is developed that allows to take into account simultaneously the multiplicity of execution of trip of the vessel and technological limitations of formation of cargo plan due to the peculiarities of their placement on the ship. The model of formation of the optimal cargo plan of the ship, taking into account the sequence of approach to the ports during the trip, is proposed.

Practical importance. In the practical side, this work is aimed at creating a software product, the use of which will allow to solve an important scientific and applied task in the field of application of information technologies in navigation –to increase the efficiency and safety of container transportation due to the introduction of ACCOMS.

Key words: container cargo plan; logical rules for loading and unloading containers; multipoint transportation; automated container cargo operation management system.

Анотація. Мета. У статті розглянуті питання створення автоматизованих систем управління вантажними операціями контейнеровозів.

Методика. 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 «шифтингу», тобто необхідності переміщення одних контейнерів на борту судна з метою розміщення інших. Пропонована методика розміщення контейнерів на основі логічних правил завантаження-вивантаження дає змогу скоротити час знаходження судна в порту за рахунок зменшення кількості операцій «шифтингу», що позитивно впливає на економічні показники виконання рейсу контейнеровозом.

Результати. Визначено ключові напрями досліджень у цій галузі. Показано, що створення автоматизованої системи управління вантажними операціями контейнеровозів дасть змогу одночасно вирішувати комплекс задач з управління вантажними операціями, що, своєю чергою, дасть змогу скоротити час, необхідний для їх виконання, та підвищити економічну ефективність рейсу судна. Особливо ефективним є застосування

пропонованого підходу під час мультипортових перевезень, які здійснюються контейнеровозами з невеликою кількістю контейнерів (фідерні перевезення).

Наукова новизна. Розроблено математичну модель завантаження контейнеровоза на основі логічних правил, що дає змогу одночасно враховувати мультипортовість виконання рейсу судна й технологічні обмеження формування вантажного плану, зумовлені особливостями їх розміщення на судні. Запропоновано модель формування оптимального вантажного плану судна, що враховує послідовність заходу в порти під час виконання рейсу.

Практична значимість. У прикладному плані ця робота спрямована на створення програмного продукту, використання якого дасть змогу вирішити важливе науково-прикладне завдання в галузі застосування інформаційних технологій у судноводінні – підвищення ефективності та безпеки контейнерних перевезень за рахунок упровадження автоматизованих систем управління вантажними операціями контейнеровозів.

Ключові слова: вантажний план контейнеровоза; логічні правила завантаження-вивантаження контейнерів; мультипортові перевезення; автоматизована система управління вантажними операціями контейнеровоза.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Оптимізація вантажного плану контейнеровоза в сучасних умовах зростання обсягів контейнерних перевезень має дуже велике значення для світового судноплавства. Під час вантажних операцій на контейнеровозі вони доволі часто здійснюються за принципом «останній завантажений–перший вивантажений», що призводить до формування неоптимального вантажного плану судна. Побудова технологічно зумовлених ланцюжків завантаження-вивантаження контейнерів, особливо якщо маршрут судна проходить через кілька портів, призводить до виникнення проблеми так званого «шифтінгу», тобто нераціональних вантажних операцій завантаження-вивантаження контейнерів на судно з метою вилучення лише потрібних у заданому порту контейнерів. Зазначені операції призводять не лише до збільшення часу здійснення вантажних операцій, але й впливають на зміну параметрів остійності судна, тому мають ретельно контролюватися. Зменшення кількості «шифтінгу» позитивно впливає на економічні показники перевезення контейнерних вантажів, тому являє собою актуальну наукову та практичну задачу сучасного судноводіння.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Аналіз робіт з теорії та практики створення автоматизованих систем складання вантажного плану суден переконує у необхідності подальшої розробки таких систем й удосконалення наявних [1–3].

Під час аналізу робіт, присвячених створенню моделей і алгоритмів розміщення контейнерів на судні й терміналі [4–6], визначено, що для вирішення подібних завдань використовуються в основному евристичні підходи. У літературі найбільш часто згадуються такі евристичні алгоритми, як: 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); еволюцій-

ний 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).

Підсумовуючи проведений аналіз наукових досліджень вітчизняних та зарубіжних авторів у зазначеній галузі, було з'ясовано, що проблема створення інтелектуальних автоматизованих систем управління процесами завантаження-вивантаження контейнеровозів натеper є актуальною науковою задачею, яка потребує вирішення з урахуванням нагальних поточних потреб морської індустрії.

У сучасних умовах розвитку морської індустрії впровадження таких систем здатне суттєво підвищити ефективність здійснення контейнерних перевезень та знизити аварійність світового судноплавства.

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕ ВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Натеper у світі спостерігається істотне зростання обсягів контейнерних перевезень, значну частину яких становлять так звані «фідерні перевезення» – перевезення, що здійснюються контейнеровозами з переважно невеликою кількістю контейнерів (600–1200 од.) [7]. Важливою особливістю фідерних перевезень є їх мультипортовість, тобто послідовне заходження до кількох різних портів під час виконання одного рейсу. Наявні програмні продукти, що вирішують проблему складання вантажного плану контейнеровоза, як правило, є вузькоспеціалізованими, призначені для великих суден і не враховують особливостей фідерних перевезень. Тому створення програмних засобів автоматизованого складання вантажних планів контейнеровозів для здійснення фідерних перевезень є актуальною задачею сьогодення.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ – розробка нових підходів до створення автоматизованих систем управління вантажними операціями суден-контейнеровозів, що дасть змогу підвищити безпеку та ефективність контейнерних вантажоперевезень.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ І ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єкт дослідження – процес управління формуванням вантажного плану контейнеровоза під час здійснення вантажних операцій.

Предмет дослідження – автоматизовані системи управління процесами завантаження морських суден, математичні моделі та методи формування вантажних планів контейнеровозів.

У роботі застосовуються методи штучного інтелекту та імітаційного моделювання, якими визначаються набори логічних правил і послідовність їх застосування.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Вантажний план контейнеровоза складається на підставі судового креслення, так званого *capacity plan*, тобто плану розташування позицій, призначених для розміщення контейнерів на борту цього судна [8]. На рис. 1 наведений приклад такого плану фідерного контейнеровоза. Очевидно, що чим більші розміри контейнеровоза, тим більше буде позицій для навантаження контейнерів.

На вантажному плані контейнери, призначені для вивантаження в одному порту, фарбуються одним і тим же кольором.

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

1) контейнерний масив контейнеровоза має прямокутний формат і може бути представлений матрицею з рядками ($r = 1, 2, \dots, R$), стовпчиками ($c = 1, 2, \dots, C$) і беями – відсіками ($d = 1, 2, \dots, D$), з максимальною ємністю $R \times C \times D$ контейнерів;

2) контейнери на судні є однакового (або подвійного) розміру;

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) у 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 усі контейнери з порту в порт, ніколи не досягаючи при цьому максимально можливої кількості контейнерів на судні.

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

Як наслідок, контейнери, розташовані нагорі штабеля, мають бути переміщені, щоб дозволити розвантаження контейнерів, розташованих під ними. Згідно із [9; 10], плата за переміщення (шифтінг) контейнерів може бути високою, становлячи близько 200 доларів США за переміщення одного контейнера. Таким чином, метою планування розміщення вантажу на контейнеровозах є мінімізація кількості непотрібних переміщень. Важливо також зазначити, що слід дотримуватися інших критеріїв, таких як стабільність контейнеровоза (ваги контейнерів) і тип контейнерів (стандартний, небезпечний та ін.).

Контейнеровоз подано графічно (рис. 2). На цьому рисунку вузол представляє порт p , де контейнеровоз пришвартовано. Статус контейнеровоза змінюється, коли він прибуває та залишає порт p , і ці зміни відображені дугами, позначеними x_p і x_{p+1} відповідно. Статус x_p перетвориться на статус x_{p+1} за двома рішеннями.

1. Як наявні контейнери будуть розвантажені в порту p ? Це рішення представлено як u_p . Рішення u_p може розглядатися також як результат двох інших змінних рішень:

– змінна q_p відображає контейнери, які мають бути розвантажені, оскільки їх пунктом призначення є порт p , або оскільки вони блокують контейнери, пунктом призначення яких є порт p ;

– змінна v_p представляє контейнери, які можна розвантажити для кращої схеми розміщення на

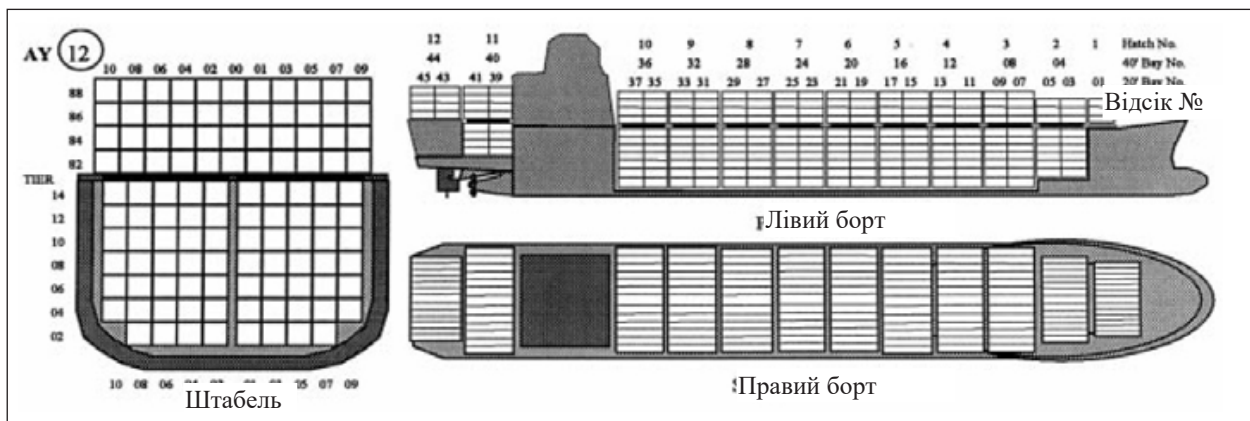


Рис. 1. Вантажний план контейнеровоза (без контейнерів)

контейнеровозі, що мінімізує кількість непотрібних переміщень у наступних портах.

2. Як повторно завантажити судно з контейнерами з портів 1, ..., $p-1$, пунктами призначення яких є порти $p+1$, ..., P , та як завантажити контейнери з порту p ? Це рішення представлено у y_p . Необхідно зазначити, що змінні q_p і y_p матимуть великий вплив на те, скільки контейнерів буде повторно завантажено на судно.

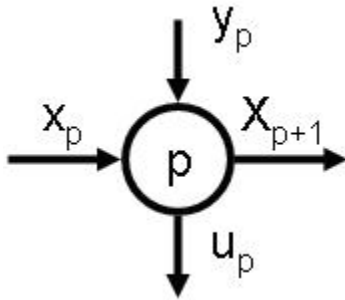


Рис. 2. Контейнеровоз та можливі рішення, представлені графом з вузлом і дугами

Рисунок 2 важливий для чіткого розуміння того, що розташування на контейнеровозі буде визначатися двома рішеннями в кожному порту: як розвантажити та завантажити судно. У реальному житті розвантаження та завантаження контейнеровозів здійснюються відповідно до досвіду судноводія, проте значно ефективніше вирішувати цю проблему за допомогою програмних засобів, що виконують розміщення контейнерів на основі логічних правил та евристичних алгоритмів.

Таким чином, розташування вантажу на контейнеровозі під час виходу з кожного порту $p(x_{p+1})$ залежить від схеми розміщення на контейнеровозі, коли він тільки прибуває до порту $p(x_p)$, плюс скільки контейнерів розвантажуються (u_p) та завантажуються (y_p) у порту p .

Обчислювальна реалізація процесу розміщення за правилами залежить від визначення двох елементів:

1) оскільки контейнеровози мають модульну структуру, схема розташування на контейнеровозі може бути представлена матрицею B , яка називається матрицею стану, і ця матриця – це змінна, що належить до стану контейнеровоза (x_p і x_{p+1});

2) зміни у стані контейнеровоза, здійснені за допомогою правил розвантаження (ПР) та правил завантаження (ПЗ), що представлені u_p і y_p відповідно, можуть бути виконані за допомогою процедури обчислювального моделювання.

Матриця B – це схема розміщення на контейнеровозі, оскільки кожен елемент у B представлений B_{drc} і він описує, чи це контейнер, пунктом призначення якого є порт p у комірці, розташований у рядку r , стовбці c і відсіку d , якщо $B_{drc} = p$; якщо B_{drc} порожній, то $B_{drc} = 0$. Для того щоб краще це проілюструвати, матриця B , де $D = 3$ і $R = C = 2$, показана на рис. 3.

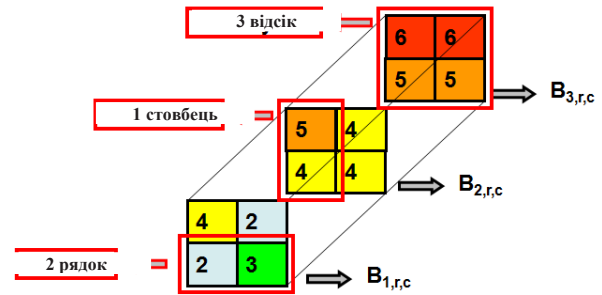


Рис. 3. Матриця стану B , що представляє розташування контейнерів у контейнеровозі під час руху до шести портів

На рис. 3 рядок 2 представляє нижню частину контейнеровоза, а рядок 1 – верхню його частину. Таким чином, елемент (1, 1) дорівнює 4, що означає, що цей модуль зайнятий контейнером, пунктом призначення якого є порт 4. Використовуючи ті ж критерії, елемент (3, 2, 2) дорівнює 5, і це означає, що цей модуль зайнятий контейнером, призначенням якого є порт 5.

Припускаючи, що матриця B на рис. 3 представляє контейнеровоз у порту 2, для розвантаження цього контейнеровоза необхідно перемістити контейнери, розташовані в модулях (1, 2, 1) та (1, 1, 2). Однак контейнер у модулі (1, 2, 1) може бути розвантажений, лише якщо контейнер, розташований у комірці (1, 1, 1), теж розвантажений, навіть незважаючи на те, що пунктом призначення цього контейнера є порт 4. Метою процесу завантаження контейнеровоза (ПЗК) є мінімізація кількості переміщень подібного роду шляхом адекватної схеми розміщення у відсіках контейнеровоза у кожному порту.

Запропонований підхід розміщення контейнерів за правилами розглядає ПЗК як проблему, в якій матриця B – це схема розміщення на контейнеровозі (x_p) до прибуття в порт p . Вона буде змінюватися у кожному порту шляхом вирішення, як виконувати операції розвантаження (u_p) і завантаження (y_p), визначаючи правила розвантаження та завантаження відповідно.

Вибір ПР або ПЗ для порту 2 може опосередковано впливати на схему розміщення на контейнеровозі в порту 4, оскільки графічне подання ПЗК має форму, показану на рис. 4.

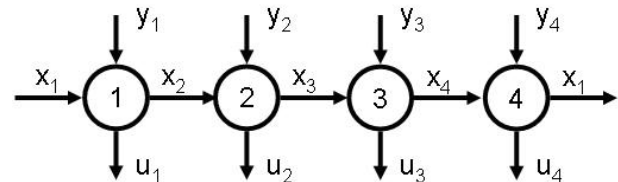


Рис. 4. Графічне подання для ПЗК із чотирма портами призначення

Нами було визначено шість основних правил завантаження контейнеровоза та два правила вивантаження.

Правило завантаження ПЗ1: за цим правилом матриця V заповнюється рядок за рядком зліва направо, починаючи з нижнього ряду для кожного відсіку таким чином, щоб контейнери з найостаннішим пунктом призначення були розміщені на найнижчих рядках, а кожен відсік заповнюється перед наступним.

Правило завантаження ПЗ2: за цим правилом матриця V заповнюється рядок за рядком зліва направо, починаючи з першого відсіку, заповнюючи лише один рядок на відсік таким чином, щоб контейнери з найостаннішим пунктом призначення були розміщені в найнижчих рядках і розподілені між відсіками.

Правило завантаження ПЗ3: це правило є зворотним ПЗ1, що означає, що матриця V заповнюється рядок за рядком справа наліво, починаючи з нижнього ряду для кожного відсіку таким чином, щоб контейнери з найостаннішим пунктом призначення були розміщені в найнижчих рядках, а кожен відсік заповнюється перед початком наступного.

Правило завантаження ПЗ4: це правило є зворотним ПЗ2 у тому сенсі, що матриця V заповнюється рядок за рядком справа наліво, один рядок на відсік, починаючи з першого відсіку, доки не досягне останнього таким чином, щоб контейнери з найостаннішим пунктом призначення розміщувалися на найнижчих рядках і розподілялися між відсіками.

Правило завантаження ПЗ5: за цим правилом матриця V заповнюється рядок за рядком зліва направо контейнерами, призначеними для найближчого порту, починаючи з першого відсіку та продовжуючи, доки в стовпчику не буде досягнуто кількість елементів θ_p . Значення θ_p обчислюється за рівнянням:

$$\Theta_p = \left[\frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=p+1}^N T_{ij}}{D \cdot C} \right].$$

Потім інший відсік заповнюється таким чином, щоб контейнери з найближчим призначенням були розміщені спочатку для формування штабелів.

Правило завантаження ПЗ6: це правило є зворотним ПЗ5 у тому сенсі, що матриця V заповнюється рядок за рядком справа наліво контейнерами, призначеними для найближчого порту, починаючи з першого відсіку і продовжуючи, доки не досягається кількість елементів θ_p у стовпчику. Значення θ_p також обчислюється за вищенаведеним рівнянням.

Правило розвантаження ПР1: припустимо, що контейнеровоз прибуває у порт p . За цим правилом вилучаються лише контейнери, пунктом призначення яких є порт p , і всі інші, що блокують штабель.

Правило розвантаження ПР2: це правило означає, що контейнеровоз має розвантажувати кожен контейнер після прибуття в певний порт p таким чином, щоб він міг повністю перебудувати кожен штабель.

Для збереження умов остійності судна необхідно додатково обчислювати суму відстані між центром маси та геометричним центром контейнеровоза у кожному відсіку d .

Для вирішення оптимізаційної задачі ПЗК нами застосовуються методи імітаційного моделювання, якими визначаються набори логічних правил та послідовність їх застосування. При цьому як цільова функція виступає мінімізація шифтінгу контейнерів, а як обмеження – збереження параметрів остійності судна. Унаслідок обмеженого обсягу статті ці процедури будуть розглянуті нами в наступних публікаціях.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Застосування запропонованого підходу до побудови вантажного плану контейнеровоза дає змогу також поліпшити економічні показники виконання судном рейсу за рахунок зменшення часу виконання вантажних операцій та тривалості стоянки судна в портах.

Перспективним напрямом подальших досліджень є введення до створеної математичної моделі додаткових обмежень, що враховують особливості розміщення контейнерів, час виконання рейсу та здійснення вантажних операцій у портах.

ВИСНОВКИ

Визначено, що в умовах запровадження сучасних інформаційних технологій у судноводінні найважливішим складником підвищення ефективності та безпечності контейнерних перевезень стає створення автоматизованих систем управління вантажними операціями контейнеровозів. Під час створення таких систем необхідно враховувати, що найвагомішим чинником аварійності сучасного судноплавства є так званий «людський фактор», тому особлива увага має бути приділена саме зниженню суб'єктивності прийняття рішень під час формування вантажних планів контейнеровозів.

Застосування запропонованої математичної моделі на основі логічних правил завантаження-вивантаження контейнеровоза з урахуванням процесу його заходження до кількох портів дасть змогу скоротити час виконання вантажних операцій у портах шляхом зменшення кількості шифтінгу.

Таким чином, у сучасних умовах запровадження автоматизованих систем управління вантажними операціями контейнеровозів здатне суттєво підвищити ефективність здійснення контейнерних перевезень та знизити аварійність сучасного судноплавства.

REFERENCES

- [1] Dubrovsky, O., Levitin, G., & Penn, M. (2002). A genetic algorithm with a compact solution encoding for the containership stowage problem. *Journal of Heuristics*, 8, 6, 585–599.

- [2] Fan, L., Low, M. Y. H., Ying, H. S., Jing, H. W., Min, Z., & 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, III*, 1–7.
- [3] Imai, A., Sasaki, K., Nishimura, E., & 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*, 171, 3, 373–389.
- [4] Michalewicz, Z. (1996). *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. London: Springer-Verlag.
- [5] Ribeiro, C. M., Azevedo, A. T., & Teixeira, R. F. (2010). Problem of assignment cells to switches in a cellular mobile network via beam search method. *WSEAS Transactions on Communications*, 9, 1, 11–21.
- [6] Sciomachen, A., & Tanfani, E. (2007). A 3D-BPP approach for optimizing stowage plans and terminal productivity. *European Journal of Operational Research*, 183, 3, 1433–1446.
- [7] Vacca, I., Bierlaire, M., & Salani, M. (2007). Optimization at container terminals: status, trends and perspectives. *7-th Swiss Transportation Research Conference, September*, 1–21.
- [8] Valente, J. M. S., & 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*, 48, 2, 363–375.
- [9] Wilson, I., & Roach, P. A. (1999). Principles of combinatorial optimization applied to container-ship stowage planning. *Journal of Heuristics*, 5, 4, 403–418.
- [10] Dyckhoff, H. (1990). A typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 44, 2, 145–159.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Dubrovsky, O., Levitin, G., & Penn, M. (2002). A genetic algorithm with a compact solution encoding for the containership stowage problem. *Journal of Heuristics*, 8, 6, 585–599.
- [2] Fan, L., Low, M. Y. H., Ying, H. S., Jing, H. W., Min, Z., & 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, III*, 1–7.
- [3] Imai, A., Sasaki, K., Nishimura, E., & 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*, 171, 3, 373–389.
- [4] Michalewicz, Z. (1996). *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. London: Springer-Verlag.
- [5] Ribeiro, C. M., Azevedo, A. T., & Teixeira, R. F. (2010). Problem of assignment cells to switches in a cellular mobile network via beam search method. *WSEAS Transactions on Communications*, 9, 1, 11–21.
- [6] Sciomachen, A., & Tanfani, E. (2007). A 3D-BPP approach for optimizing stowage plans and terminal productivity. *European Journal of Operational Research*, 183, 3, 1433–1446.
- [7] Vacca, I., Bierlaire, M., & Salani, M. (2007). Optimization at container terminals: status, trends and perspectives. *7-th Swiss Transportation Research Conference, September*, 1–21.
- [8] Valente, J. M. S., & 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*, 48, 2, 363–375.
- [9] Wilson, I., & Roach, P. A. (1999). Principles of combinatorial optimization applied to container-ship stowage planning. *Journal of Heuristics*, 5, 4, 403–418.
- [10] Dyckhoff, H. (1990). A typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 44, 2, 145–159.