

д.т.н., проф. Гунченко Ю.О. (ОНУ ім. І.І. Мечникова)  
Камєнєв К.І. (НУ “Одеська морська академія”)  
к.т.н., доц. Камєнєва А.В. (ОНУ ім. І.І. Мечникова)  
Зуй О.М. (ОНУ ім. І.І. Мечникова)

DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2023/78-04>

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРНОГО СУДНА З УРАХУВАННЯМ СТРУКТУРНИХ ТА ОПЕРАЦІЙНИХ ОБМЕЖЕНЬ

*Підвищення ефективності завантаження контейнерних суден, особливо у воєнний час, є однією з найважливіших проблем. У статті розглянуто питання забезпечення безпеки судноплавства на контейнерних суднах на етапі складання вантажного плану. Приведено відомі вантажні програми, що є частинами великих вбудованих комплексів, які розроблені для вирішення подібних проблем. Наведено булеву математичну модель для задачі завантаження контейнерного судна, яка охоплює певні операційні та структурні обмеження самого судна, а також обмеження щодо сумісності небезпечних вантажів. Для розв'язання вищевказаної задачі, що використовується в запропонованому модулі вантажної програми, виконується поділ завдання на два етапи. На першому етапі виконується розрахунок попереднього розміщення контейнерів з урахуванням структурних та експлуатаційних обмежень за допомогою евристичного метода та розраховуються параметри безпеки (остійність, диферент, міцність, крен та ін.). На другому етапі виконується оптимізація розміщення контейнерів щодо зазначених параметрів за допомогою генетичного алгоритму стаціонарного стану. Розроблено модуль вантажної програми Bay Plan, який дозволяє виконувати попереднє розміщення контейнерів як за допомогою евристичного методу, так і вручну, а також оптимізувати таке розміщення щодо морехідних якостей судна. Також запропоновано структури даних для вантажної програми контейнерного судна. Розроблений інтерфейс модуля Bay Plan дозволяє користувачу графічно зображати вантажний план контейнерного судна та вводити і редагувати інформацію по судну, контейнерах, небезпечних вантажах, правилах їх розміщення та сегрегації на основі таблиць сегрегації Міжнародного морського кодексу з небезпечних вантажів IMDG Code, а також редагувати існуючі правила розміщення та сегрегації небезпечних вантажів.*

*Ключові слова: контейнерні судна, вантажний план, небезпечні вантажі, вантажна програма, генетичний алгоритм стаціонарного стану, булева математична модель, послідовність завантаження контейнерів, параметри безпеки, перевірка завантаження.*

**Вступ та постановка задачі.** Одним з основних напрямків національної транспортної стратегії України на період до 2030 року є масова контейнеризація перевезень. Її ціль – збільшення частки та стимулювання розвитку контейнерних перевезень [1]. У теперішній час світовий контейнерний флот продовжує збільшуватись в розмірах та місткості, але самі судна мають витрачати менше часу в портах на обробку вантажів [2]. Тому підвищення ефективності завантаження контейнерних суден, особливо у воєнний час, є однією з найважливіших проблем. Підготовка вантажного плану контейнерних суден при забезпеченні обмежень щодо морехідної безпеки є однією з головних задач вирішення цієї проблеми. Попереднє планування розміщення контейнерів на судні вимагає врахування великої кількості факторів. Також при складанні вантажного плану необхідно брати до уваги людський фактор, тому на сучасному флоті для створення вантажного плану використовуються вантажні програми, які зменшують його вплив і, тим самим, підвищують безпеку судноплавства [3]. В даний час є багато вантажних програм, деякі з них являють собою частини цілих вбудованих комплексів, деякі створюються і використовуються окремо, проте всі вони розроблені з однією головною метою – підвищити безпеку мореплавства шляхом забезпечення виконання вимог міжнародних документів, таких як International Codeon Intact Stability (Міжнародний кодекс остійності суден у непошкодженому стані), IMDG Code тощо.

При експлуатації будь-якого судна вантажні програми відіграють окрему роль, а в разі експлуатації контейнеровозів вони дозволяють отримати результати з великою точністю, яка обумовлена тим, що вантажні місця контейнерів чітко визначені [4].

Причинами, які стримують повсюдне використання комп'ютеризованих комплексів, є великі витрати на їх впровадження та експлуатацію та функціональна складність і надмірність поширених програмних продуктів [5]. Для кращого розуміння специфіки такого програмного забезпечення необхідно розглянути існуючі продукти. Програма MACS3 Basic Loading Program [6] розрахована для різних типів суден (контейнерних, танкерів, балкерів, пасажирських, Ро-Ро, генеральних). Для кожного типу суден використовується відповідний модуль.

У випадку контейнеровозів таким модулем є «BELCO Container Management Module». Модуль небезпечних вантажів DAGO перевіряє виконання вимог укладки і сегрегації відповідно до кодексу IMDG.

Програма LOAD-DEQ [7] від компанії NAUDEQ також має декілька модулів, кожен з яких має свої особливості.

В модулі, призначеному для контейнерних вантажів, є можливість для вводу та зберігання інформації про контейнерні вантажі та складання вантажного плану. Дії з небезпечними вантажами обмежені.

NEREIDA Loading Calculator [8] – продукт компанії S.A. Sedni (Іспанія).

Дане програмне забезпечення завжди перевіряє вимоги до остійності і міцності згідно з міжнародними вимогами і вимогами класифікаційних товариств.

Для контейнеровозів є можливість використовувати модуль NEREIDA Containers. Це програмне забезпечення призначене для використання як на суші, так і в морі.

Програма підтримує перевірку вимог ISO щодо контейнерів та містить модуль сегрегації небезпечних вантажів. Програма також підтримує функції пов'язані з операціями у портах.

Крім згаданих є багато інших вантажних програм, проте основні функції у них співпадають з вимогами IACS (International association of classification societies, Міжнародна асоціація класифікаційних товариств).

Також, слід зазначити, що відомі програми працюють за закритими алгоритмами і не дозволяють швидко відкоригувати вимоги до розташування вантажів. З цієї причини навіть найпотужніші продукти є дуже вразливими до раптових факторів і зовсім негнучкими [4].

У зв'язку з викладеним, був розроблений модуль Bay Plan вантажної програми контейнерного судна, який можна використовувати для розрахунку та редагування розташування контейнерів з урахуванням структурних та експлуатаційних обмежень, сегрегації небезпечних товарів відповідно до Міжнародного морського кодексу з небезпечних вантажів IMDG Code (International maritime dangerous goods code), а також для перевірки параметрів безпеки.

На рис.1 показано головне вікно зазначеного модуля Bay Plan вантажної програми контейнерного судна, розробленого в середовищі Microsoft Visual Studio засобами мови C#.

Вантажний план у додатку Bay Plan складається з використанням булевої математичної моделі [9, 10].

Позначимо через  $x_{tcijkp}$  контейнер розміру  $t$  (0 – TEU, 1 – FEU) з вантажем класу IMDG  $c$  ( $c=0,1,\dots,17$ ;  $c=0$  – безпечний вантаж) в позиції  $(i, j, k)$ , що йде в порт  $p$  ( $p=1, 2, \dots$ ). Координата  $i$  відповідає за порядковий номер бея, починаючи з носа; координата  $j$  та  $k$  – за розташування контейнера у відповідному беї.

$x_{tcijkp} = 1$ , якщо контейнер розміру  $t$  з вантажем класу  $c$  знаходиться у позиції  $(i, j, k)$  і йде в порт  $p$ ,  $x_{tcijkp} = 0$  в іншому випадку.

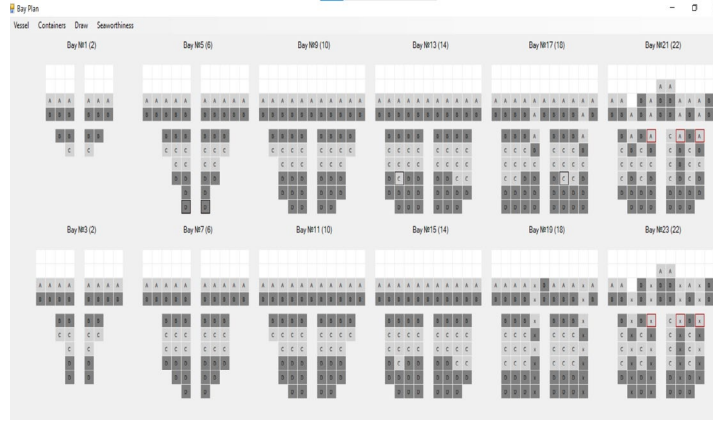


Рисунок 1. Інтерфейс модуля Bay Plan

Нехай треба завантажити на судно  $n_{op}^c$  TEU і  $2n_{1p}^c$  FEU для кожного класу небезпечних вантажів  $c$  та порту  $p$ :

$$-\left(\sum_i \sum_j \sum_k x_{tcijkp}\right) \leq (-1 - t)n_{1p}^c, \quad \forall t, c, p; \quad (1)$$

$i \in [0..i_{max}]$ , де  $i_{max} + 1$  – загальна кількість беїв у TEU;  
 $j \in [0..j_{max}]$ , де  $j_{max} + 1$  – максимальна кількість контейнерів по  $j$ ;  
 $k \in [0..k_{max}]$ , де  $k_{max} + 1$  – максимальна кількість контейнерів по  $k$ .

FEU займають 2 TEU позиції (заі). Таким чином, якщо  $x_{1ci'jkp} = 1$ , то  $x_{1c(i'+1)jkp} = 1$ , і навпаки, де  $i' \in i$  – номери беїв під FEU. Стандартний вид цього обмеження для задачі оптимізації:

$$\left|x_{1ci'jkp} - x_{1c(i'+1)jkp}\right| \leq 0, \quad \forall i, i', j, k, p; \quad (2)$$

В одній позиції трюму може бути TEU, FEU, або вона може бути порожньою. Тобто, якщо  $x_{0cijkp} = 1$ , то  $x_{1cijkp} = 0$ , і навпаки:

$$\sum_t \sum_c \sum_p (x_{tcijkp}) \leq 1, \quad \forall i, j, k; \quad (3)$$

Контейнери можуть знаходитися на палубі, кришці або один поверх іншого, вони не можуть парити в повітрі:

$$k * \sum_t \sum_c \sum_p (x_{tcijkp}) - \sum_{k^*=0}^{k-1} \sum_t \sum_c \sum_p x_{tcijk^*p} \leq 0, \quad \forall i, j, k > 0; \quad (4)$$

Конструкція контейнерів дозволяє ставити FEU поверх TEU, але не дозволяє ставити TEU поверх FEU. Таким чином, якщо  $x_{1cijkp} = 1$ , то  $\sum_c \sum_p \sum_{k^*>k} (x_{0cijk^*p}) = 0$ . Звідки:

$$2M \sum_c \sum_p x_{1cijkp} + \sum_c \sum_p \sum_{k^*>k} (x_{0cijk^*p}) \leq 2M, \quad \forall i, j, k; \quad (5)$$

Тут  $M$  – найбільша кількість контейнерів, яка може бути в одному стеку.

Також не можна вантажити FEU на стеки TEU різної висоти:

$$\left| \left[ \sum_c \sum_p \sum_{k^*=0}^k X_{0ci'jk^*p} \right]_s - \left[ \sum_c \sum_p \sum_{k^*=0}^k X_{0c(i'+1)jk^*p} \right]_s \right| \leq M - Mw_s, \quad (6)$$

$$\left[ \sum_p \sum_c X_{1ci'j(k+1)p} + \sum_p \sum_c X_{1c(i'+1)j(k+1)p} \right]_s \leq Mw_s, \quad \forall i', j, k;$$

До кожного  $s$ -го обмеження вводиться додаткова логічна змінна  $w_s \in \{0; 1\}$  [11].

Вимоги до сегрегації небезпечних вантажів можна подати так:

$$\sum_{i^*=i''-l_{c1c2}}^{i''+l_{c1c2}} \sum_{j=j''-w_{c1c2}}^{j''+w_{c1c2}} \sum_{k^*=k''-h_{c1c2}}^{k''+h_{c1c2}} (x_{t,c1,i^*j^*k^*p}) \leq R(1 - x_{tc2ijkp}), \quad (7)$$

$\forall t, p, c1 \neq c2, i'', j'', k''$ .

Тут  $i'' \in [l_{c1c2} \cdot i_{\max} - l_{c1c2}]_t$ ,  $j'' \in [w_{c1c2} \cdot j_{\max} - w_{c1c2}]_t$ ,  $k'' \in [h_{c1c2} \cdot k_{\max} - h_{c1c2}]_t$ , де  $l_{c1c2}$  – вимога для поздовжнього інтервалу в TEU,  $h_{c1c2}$  – вимога для вертикального інтервалу, а  $w_{c1c2}$  – вимога для поперечного інтервалу між двома контейнерами IMDG класів  $c1$  та  $c2$ ;  $R$  – максимальна кількість контейнерів у зоні обмежень.

І, нарешті, вантажі, призначені до порту призначення, неспроможні перебувати під вантажами до наступних за ним портів:

$$M \sum_t \sum_c x_{tcijkp} + \sum_t \sum_c \sum_{k^*>k} \sum_{p^*>p} x_{tcijk^*p^*} \leq M, \quad \forall i, j, k, p. \quad (8)$$

Тут  $M$  – найбільша кількість контейнерів, яка може бути в одному стеку.

Таким чином, математична модель (1) – (8) охоплює певні операційні та структурні обмеження і забезпечує наступне:

1. Усі необхідні контейнери завантажуються з урахуванням їх видів та типів вантажів.
2. Жодні два контейнери не займають одне і те ж місце.
3. FEU (forty-foot equivalent unit) контейнери займають два TEU (twenty-foot equivalent unit) слоти у вантажному просторі.
4. TEU контейнери не можна завантажувати поверх FEU контейнерів.
5. FEU контейнери не можна завантажувати поверх двох стеків TEU різної висоти.
6. Як TEU, так і FEU контейнери, можуть бути розміщені тільки над іншими контейнерами, або на палубі судна; вони не можуть парити у повітрі.
7. Контейнери, які містять небезпечні вантажі, задовольняють обмеженням Міжнародного морського кодексу з небезпечних вантажів.
8. Контейнери, призначені для кожного порту призначення, не можуть перебувати під вантажами для наступних портів.

У додатку Bay Plan для розрахунку розміщення контейнерів використовується метод, який заснований на генетичному алгоритмі та враховує обмеження математичної моделі. Задача розташування деякої кількості контейнерів у вантажному просторі судна є NP-повною, проте загальна кількість варіантів розташування робить використання точних методів

непрактичними. Серед неточних методів було обрано генетичний алгоритм через його гнучкість, точність та історію успішного використання для розв'язання подібних задач [12].

Для роботи з програмою спочатку треба ввести інформацію про судно та вантажі. Це можна зробити за допомогою меню програми, наприклад, рис.2, або із файлу.

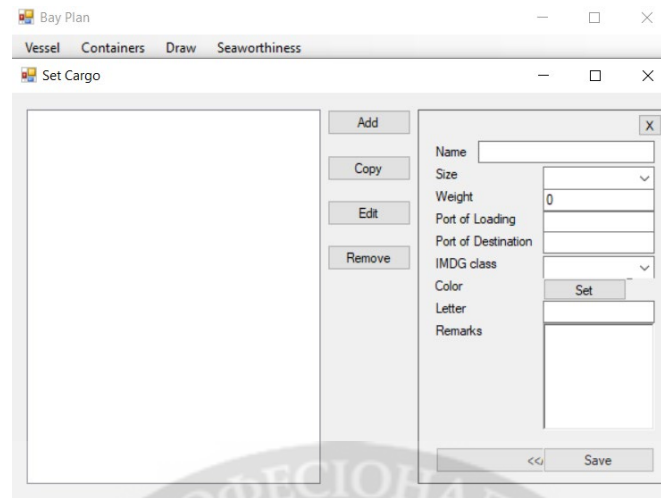


Рисунок 2. Введення інформації про вантажі

Після введення інформації про судно та вантажі модуль Bay Plan виконує розрахунок попереднього розміщення контейнерів (рис.1) з урахуванням структурних та експлуатаційних обмежень за допомогою евристичного методу. Після чого виконується оптимізація за допомогою генетичного алгоритму стаціонарного стану [13].

Попереднє планування розміщення контейнерів на судні також вимагає врахування характеристик небезпечних вантажів та їх сумісності. У додатку Bay Plan є можливість редагувати існуючі правила та додавати довільно задані правила, які дозволяють уточнити вимоги до сегрегації окремих вантажів на суднах відповідно до IMDG Code (рис.3).

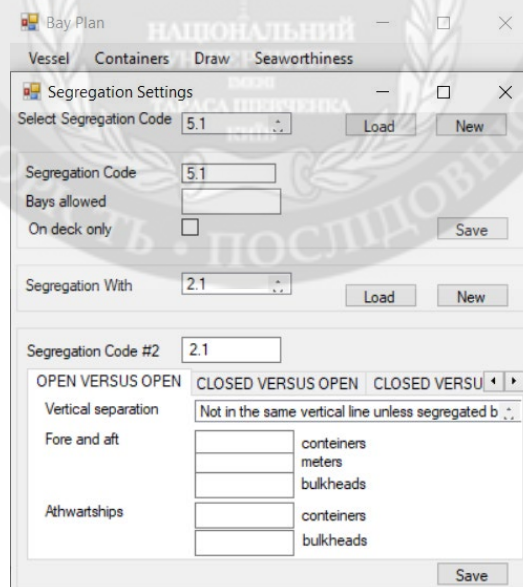


Рисунок 3. Інтерфейс редагування правил сегрегації

Розв'язання задачі щодо автоматизації складання плану завантаження контейнеровозу передбачає поділ завдання на два етапи.

На першому етапі розраховується допустиме розташування контейнерів з урахуванням конструктивних обмежень, послідовності завантаження контейнерів, сумісності небезпечних

вантажів, після чого розраховуються параметри безпеки (остійність, міцність, диферент тощо). На другому етапі виконується оптимізація розташування контейнерів на основі цих параметрів.

Завантаження контейнерних суден повинно задовольняти обмеженням щодо морехідної безпеки. Додаток Bay Plan дає змогу показати розраховані морехідні якості судна (рис.4).

Додаток Bay Plan реалізовано засобами об'єктно-орієнтованої мови C#, яка дозволяє представити реально існуючі сутності об'єктами, що є екземплярами відповідних класів. Таким чином, є можливість описати значну частину реалізації проекту в термінах, які характеризують предметну область, що сприяє ясному уявленню даних та їм притаманних методів і властивостей на рівні програмного коду.

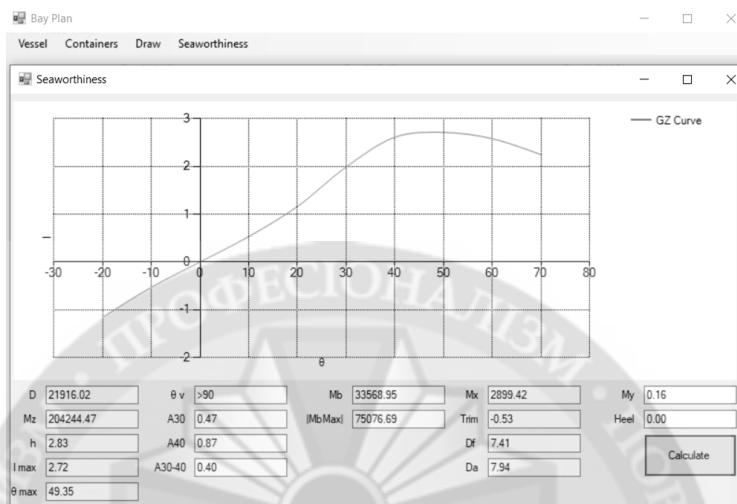


Рисунок 4. Розрахунок морехідних якостей судна

При розробці модуля Bay Plan було створено об'єкти, які описують реальні предмети і процеси.

Основним об'єктом для вантажної програми є об'єкт, який відповідає судну. Для створення такого об'єкта був спроектований відповідний клас, який називається vs1. Клас – абстрактний тип даних, деякий шаблон, на основі якого створюватимуться його екземпляри – об'єкти.

Цей клас містить поля: назва судна, максимальна довжина судна, максимальна ширина судна, довжина судна між перпендикулярами, водотоннажність, моменти, список плечей остійності (кожне плече є окремим об'єктом відповідного класу), список бейв судна (кожен бейв є окремим об'єктом відповідного класу), список контейнерів судна (кожен контейнер є окремим об'єктом відповідного класу), гідростатичні таблиці, список портів, клас для зберігання інформації про небезпечні вантажі та їх сумісність та інші дані про судно.

Так як розглядається контейнерне судно, то основною одиницею вантажного плану є бейв, а не трюм. Тому клас vs1 (судно) містить підклас bay, який є відображенням бейв для стандартних 20-футових контейнерів. Клас bay містить такі поля як: номер бейв, номер відповідного 40-футового бейв (якщо є), висота та ширина бейв у контейнерах, координати центру ваги для 20-футових та 40-футових контейнерів, вантаж, що знаходиться у бейві, у вигляді двовірного масиву об'єктів класу box та in.

### Висновки

1. В статті наведено інформаційну систему для завантаження контейнерного судна з урахуванням структурних та операційних обмежень.

2. Пропонований модуль вантажної програми є легким в освоєнні і дозволяє:

- здійснювати розрахунок розміщення вантажів з урахуванням структурних та операційних обмежень судна та сегрегації небезпечних товарів відповідно до IMDG Code та графічно зображати вантажний план контейнерного судна (рис. 1);

- редагувати список контейнерів;

- задавати правила сегрегації на основі таблиць сегрегації IMDG Code, а також редагувати існуючі правила (рис.3);
- розраховувати морехідні якості судна (рис. 4).
- 3. Окрім цього дана програма дозволяє задавати правила розміщення та розподілення для будь-яких інших вантажів, які вимагають додаткових обмежень.
- 4. Існує можливість доповнити запропонований модуль вантажної програми додатковим функціоналом.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року [Електронний ресурс] Кабінет Міністрів України. Розпорядження, 2021. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>
2. Review of Maritime Transport 2020 [Електронний ресурс] United Nations Conference on Trade and Development, 2020. Режим доступу: [https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020_en.pdf)
3. Комплексный метод загрузки судна тарно-штучными грузами с учетом инерционных сил качки: автореферат / А.О. Чепок. О.: Вид. ОНМА, 2014. 22 с.
4. Каменев, К.І., Каменева, А.В. Розробка вантажної програми для контейнерного судна з урахуванням вимог Міжнародного морського кодексу з небезпечних вантажів / Наукові праці: Науково-методичний журнал. Комп'ютерні технології. 2017. Том 308. Вип. 296. С. 94-99.
5. Горб, С.И., Каменева, А.В. Информационная система для автоматизации технического менеджмента судов/ Автоматика-2008: доклады XV международной конференции по автоматическому управлению. 2008. С. 134-137.
6. MACS3 for container vessels [Електронний ресурс] Navis Carrier & Vessel Solutions, 2022. Режим доступу: [https://www.navis.com/getmedia/554999be-7a35-432d-92fa-200f81081974/flyer\\_mac3\\_container-vessels.pdf](https://www.navis.com/getmedia/554999be-7a35-432d-92fa-200f81081974/flyer_mac3_container-vessels.pdf)
7. Product LOAD-DEQ [Електронний ресурс] Nautic Expo by virtual expo group, 2022. Режим доступу: <https://pdf.nauticexpo.com/pdf/naudeq/load-deq/32008-33704.html>
8. NEREIDA Loading Calculator [Електронний ресурс] Sedni Marine System, 2022. Режим доступу: <https://sedni.com/en/neraida-en/>
9. Каменев, К.І., Каменева, А.В., Цимбал, М.М. Розробка математичної моделі для задачі бей-плану з урахуванням послідовності завантаження контейнерів/ Судноводіння: наук. –техн. зб. 2021. Вип. 32. С. 34 – 45.
10. Zhu, H., Ji, M., Guo, W. Integer Linear Programming Models for the Containership Stowage Problem / Math. Probl. Eng. 2020. Vol. 2020. doi: 10.1155/2020/4382745
11. Kamieniev, K., Kamienieva, A., Tsymbal, M. Construction of a mathematical model and a method for arranging hazardous cargoes on a containership / Eastern-European J. Enterp. Technol. 2019. № vol. 6, no. 3–102, С. 20–27.
12. Mingo López, L.F., Gómez Blas, N., Arteta Albert, A. Multidimensional knapsack problem optimization using a binary particle swarm model with genetic operations / Soft Comput. 2018. Vol. 22, no. 8. С. 2567–2582.
13. Tsymbal, M., Kamieniev, K. Modified Integer Model for Solving the Master Bay Problem / The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation Journal. 2021. Vol. 15 No. 4. С. 749-753.

#### REFERENCES:

1. "Proskhvalennja Nacional'noji transportnoj strategiji Ukrainyna period do 2030 roku" [On approval of the National Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2030] (2021), Kabinet Ministriv Ukrainy. Rozporjadzhennja, <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>
2. "Review of Maritime Transport 2020" 2020th ed. (2020), [https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020_en.pdf)
3. Чепок, А.О. (2014), "Kompleksnyj metod zaghruzky sudna tarно-shtuchnyj ghruzamy s uchetom ynercyonnykhsylkachky": avtoreferat [An integrated method for loading a ship with packaged cargoes, taking into account the inertial forces of rolling], ONMA, Odesa, 22 p.
4. Kamieniev, K.I. and Kamienieva, A.V. (2017), "Rozrobka vantazhnoji prohramy dlja kontejnernogho sudna z urakhuvannjam vymogh Mizhnarodnogho mors'kogho kodeksu z nebezpechnykh vantazhiv" [Development of a cargo program for a container ship taking into account the requirements of the International

Maritime Code for Dangerous Goods], *Naukovipraci: Naukovo-metodychnyjzhurnal. Komp'juternitekhnologiji*, vol. 308. No.296, pp. 94-99.

5. Gorb, S.Y. and Kamienieva, A.V. (2008), "Ynformacyonnaja systema dlja avtomatyzacyy tekhnicheskogho menedzhmenta sudov" [Information system for automating the technical management of ships], *Avtomatyka-2008: doklady XV mezhdunarodnoj konferencyy po avtomaticheskomu upravleniju*, pp. 134-137.

6. MACS3 for container vessels, Navis Carrier & Vessel Solutions (2022), [https://www.navis.com/getmedia/554999be-7a35-432d-92fa-200f81081974/flyer\\_mac3\\_container-vessels.pdf](https://www.navis.com/getmedia/554999be-7a35-432d-92fa-200f81081974/flyer_mac3_container-vessels.pdf)

7. Product LOAD-DEQ, Nautic Expo by virtual expo group (2022), <https://pdf.nauticexpo.com/pdf/naudeq/load-deq/32008-33704.html>

8. NEREIDA Loading Calculator, Sedni Marine System (2022), <https://sedni.com/en/nereida-en/>

9. Kamieniev, K. I., Kamienieva, A.V. and Tsymbal, M. M. (2021), "Rozrobka matematychnoji modeli dlja zadachibej-planu z urakhuvannjam poslidovnosti zavantazhennja kontejneriv" [Development of a mathematical model for the bay-plan problem considering the sequence of loading containers], *Sudnovodinnja*, No. 32, pp. 34 – 45.

10. Zhu, H., Ji, M. and Guo, W. (2020), "Integer Linear Programming Models for the Containership Stowage Problem", *Math. Probl. Eng.*, vol. 2020, doi: 10.1155/2020/4382745

11. Kamieniev, K., Kamienieva, A. and Tsymbal, M. (2019), "Construction of a mathematical model and a method for arranging hazardous cargoes on a containership", *Eastern-European J. Enterp. Technol.*, vol. 6, No. 3–102, pp. 20–27.

12. Mingo López, L.F., Gómez Blas, N. and Arteta Albert, A. (2018), "Multidimensional knapsack problem optimization using a binary particle swarm model with genetic operations", *Soft Comput.*, vol. 22, no. 8, pp. 2567–2582.

13. Tsymbal, M. and Kamieniev, K. (2021), "Modified Integer Model for Solving the Master Bay Problem", *The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation Journal*, Vol. 15 No. 4, pp. 749-753.

**D.Sci. Tech. prof. Gunchenko Y., Kamieniev K., Ph.D. Kamienieva A., Zui O.**

## **STOWAGE PLANNING SOFTWARE DEVELOPMENT CONSIDERING STRUCTURAL AND OPERATIONAL CONSTRAINTS**

*Increasing the efficiency of loading container ships, especially in wartime, is one of the most important problems. The paper examines elimination of safety issues in marine transportation of containerized goods at the stowage planning stage. The article examines well-known stowage planning software that was developed in order to help with the stowage planning process. This paper presents a Boolean mathematical model of integer linear programming, which considers structural and operational constraints of a vessel and containers likewise, including hazardous cargoes compatibility constraints (according to the International Maritime Dangerous Cargoes Code) and container loading sequences (that depends on discharging port order). The proposed approach for solving the task mentioned above consists of dividing it into two stages. At the first stage, a preliminary stowage arrangement is calculated using a simple heuristic, which takes into account structural and operational limitations, container loading sequence and compatibility of dangerous cargoes as well as certain safety parameters (stability, durability, etc.). At the second stage, the arrangement is optimized using the safety parameters using a steady-state genetic algorithm.*

*Developments on the subject include*

- data structures for application in container vessel stowage planning software;
- interface that allows a user to graphically display a stowage plan of a container ship;
- interface that allows a user to display safety parameters of a container ship (stability, durability, etc.);
- interface that allows to input and edit containers and vessel data, as well as dangerous goods segregation provisions according to the International Maritime Dangerous Cargoes Code, and displays a notification if those are not satisfied.

*Keywords: container vessels, stowage plan, dangerous goods, stowage planning software, stowage control, steady-state genetic algorithm, Boolean mathematical model, container loading sequence, safety parameters, stowage control.*