

Ю. О. Накул, провідний фахівець НДЧ

e-mail: Nak.01@ukr.net

Чорноморський національний університет ім. Петра Могили  
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, 54003, Україна

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРОВОЗА

*В статті розглядаються розроблена математична модель системи завантаження контейнеровоза, що дозволяє визначати переважну більшість технічних параметрів судна після проведення завантаження. Модель передбачає контроль за належною масою контейнерів, її рівномірний розподіл, відповідність завантажуваних контейнерів до обраних критеріїв оптимізації завантаження, до яких відноситься пріоритетність завантаження за масою, черговістю доставки в місця призначення, цінність та інше. Розроблена модель дозволяє встановити залежності між вхідними і вихідними параметрами та використати її під час подальшої апаратно-програмно реалізації.*

**Ключові слова:** судно, математична модель, контроль, завантаження.

**Вступ.** Останнім часом у морських перевезеннях відбувається збільшення частки перевезень за рахунок використання контейнерів, тобто – контейнеровозів. Процес завантаження контейнеровозів є складним завданням, що вимагає координації багатьох складових. Для здійснення повного контролю за переміщеннями контейнерів під час завантаження та отримання можливості автоматичної перевірки параметрів стійкості судна потрібно мати можливість автоматичної реєстрації їх переміщень та ваги.

В роботі, перш за все, було розглянуто перебіг основних процесів, що відбуваються під час заходу судна в порт та при його завантаженні [1-4]. У результаті узагальнення проаналізованих даних виявлено відсутність наукових рішень щодо автоматизації контролю процесу завантаження та перерахунку основних показників судна в реальному часі.

Аналіз існуючих комп'ютерних систем [1-2] показав відсутність наявних методів перевірки основних параметрів судна, таких як остійності та ін., в режимі реального часу при завантаженні/розвантаженні судна. У зв'язку з цим в роботі висунуто пропозицію щодо створення нових інтегрованих підходів до управління процесом завантаження, по розробці математичної моделі, що стане основою створення автоматичного контролю за параметрами судна в режимі реального часу при його завантаженні / розвантаженні, основою розробки нових методів та систем для контролю за завантаженням судна, що дозволить контролювати режими завантаження в авто-

матичному режимі та даватимуть інформацію у реальному часі.

Таким чином, **мета роботи** полягає в розробці математичної моделі системи завантаження контейнеровоза, що дозволить визначати переважну більшість технічних параметрів судна після проведення завантаження.

**Основна частина.** На початковому етапі всю систему можна розглядати в якості моделі «чорного ящика» (рис. 1) [5-8].

Як відомо, модель «чорного ящика» пов'язана із середовищем за допомогою своїх входів і виходів, опишемо ці параметри. На вхід системи подані параметри:  $N$  – комплексна характеристика кількості виділених блоків для завантаження та координат їх розташування,  $L$  – кількість завантажуваних контейнерів,  $W$  – комплексна величина, що визначається кількістю та масою контейнерів, накопичених вантажем, що вже міститься на палубі та енергія нових контейнерів, що завантажуються на судно. На виході системи спостерігатися величини:  $W$  – комплексна величина, яка надасть інформацію про розподіл маси контейнерів та їх кількості, на основі чого можна розрахувати основні параметри стійкості судна,  $t$  – час виконання системою завдань,  $M$  – загальна маса контейнерів, що будуть транспортуватися в подальшому.

Також на вхід системи передаються параметри завдань, які в даному випадку будуть часом завантаження конкретного контейнера, кількість маніпуляцій при завантаженні, порядок доставки вантажів.

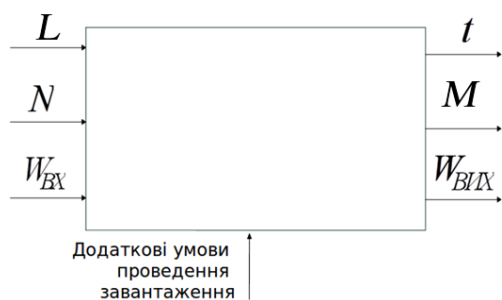


Рис. 1. Модель системи автоматизації процесу завантаження у вигляді «чорного ящика»

Оскільки ці параметри можуть коригуватися поза системою, їх можна вважати керованими. Важливо відзначити, що пріоритет завдань встановлюється в залежності від маси завантажуваного контейнера та порядку й часу його доставки в місце призначення: від меншого до більшого за часом і від більшого до меншого за масою.

Таким чином була отримана вихідна модель комп'ютерної системи завантаження контейнеровозів, яка потребує подальшого математичного розв'язку.

На першому етапі потрібно ввести умову ефективної безперервної та надійної роботи системи завантаження:

$$\sum_{j=1}^n (S_j^{нак} + S_j^{ноступ}) = 0, \quad (1)$$

де  $S_j^{нак}$  – кількісно-масовий показник, комплексна величина, що визначається кількістю та масою контейнерів – співвідношення кількості та маси вантажів, що вже містяться на палубі;  $S_j^{ноступ}$  – кількісно-масовий показник, комплексна величина, що визначається кількістю та масою завантажених контейнерів. Дана рівність визначатиме стійкість корабля та вантажу. Відмінність від нуля вказуватиме на наявність крену чи диференту судна, що може призвести до втрати вантажу під час транспортування.

За умови, що комплексна величина сумарного обсягу та ваги завантажених контейнерів не повинна перевищувати допустимий обсяг та масу можливого додаткового вантажу:

$$m_{ij}^{СУДНА} \geq x_{ij} \cdot m_i^{КОН}, \quad (2)$$

де  $m_i^{КОН}$  – маса  $i$ -го завантажуваного контейнера;  $m_{ij}^{СУДНА}$  – допустимий обсяг та маса  $j$ -го блоку на палубі судна;  $i = \overline{1, l}$  – кількість

завантажуваних контейнерів,  $j = \overline{1, n}$  – кількість виділених блоків.

У зв'язку зі специфікою функціонування даної системи прийняття рішення при завантаженні контейнерів, а саме – обмеженим часом завантаження/розвантаження судна та розподіленням маси при завантаженні, для виконання  $i$ -го завдання вибирається контейнер з максимальним значенням кількісно-масового показника:

$$S_j^{ноступ} = \max_{j=1}^n \{S_j^{ноступ} \cdot \overline{r_j}\}, \quad (3)$$

де  $\overline{r_j}$  – ваговий коефіцієнт для  $j$ -го контейнера вибирається як:

$$\overline{r_i} = \max_{j=1}^L \{k_j\} \quad (4)$$

де  $k_j$  – поточний ваговий коефіцієнт контейнера, який знаходиться як:

$$k_i = \frac{t_i^{дост}}{\sum_{p=1}^i t_p^{мерм}}, \quad (5)$$

де  $t_p^{мерм}$  – час затрачений на переміщення контейнера в термінали,  $t_i^{дост}$  – час на доставку контейнера до кінцевого місця призначення

Сформуємо матрицю оптимального розподілу завдань завантаження, в якій кожен елемент може приймати такі значення:

$$\begin{cases} x_{ij} = 0, & i\text{-е завдання не призначено } j\text{-му контейнеру,} \\ x_{ij} = 1, & i\text{-е завдання призначено } j\text{-му контейнеру.} \end{cases}$$

Тоді цільова функція мінімізації часу виконання завдань, що надійшли в систему керування завантаженням, буде мати вигляд:

$$\left( \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_j^{ноступ} x_{ij} t_{ij} \right) \rightarrow \min \quad (6)$$

Ще одна умова стійкості формулюється так: кількісно-масовий показник навантаженого судна має бути не менше або рівний сумі кількісно-масових показників накопичених та завантажених контейнерів:

$$\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_{ij}^{СУДНА} \leq \sum_{j=1}^n S_j^{нак} + \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_{ij}^{ноступ}. \quad (7)$$

Продуктивність системи завантаження визначається з виразу:

$$W = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij} \times K_{ij} \times I_{ij}, \quad (8)$$

де  $K_{ij}$  – кількість операцій, виконаних при виконанні  $j$ -им завантажувачем  $i$ -ої роботи по

переміщенню контейнера;  $I_{ij}$  – кількість кра-  
нових завантажувачів, задіяних при наванта-  
женні/розвантаженні судна.

Таким чином, модель функціонування  
комп'ютерної системи завантаження контей-  
неровозу набуде вигляду:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n S_j^{нак} + S_j^{ноступ} = 0, \\ \left( \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot t_{ij} \right) \rightarrow \min, \text{ при } m_{ij}^{СУДНА} \geq x_{ij} \cdot m_i^{КОН}, \\ S_j^{ноступ} = \max_{j=1}^n \{S_j^{ноступ}\}, S_{ij}^{ноступ} > 0, \\ \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_{ij}^{СУДНА} \leq \sum_{j=1}^n S_j^{нак} + \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_{ij}^{ноступ}, \\ W = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot K_{ij} \cdot I_{ij} \rightarrow \min, \text{ при } K_{ij} \rightarrow 0, j = \overline{1, n}, i = \overline{1, l}. \end{cases}$$

Виходячи з отриманої моделі, можна перетворити модель «чорного ящика» в модель «прозорого ящика» (рис. 2).

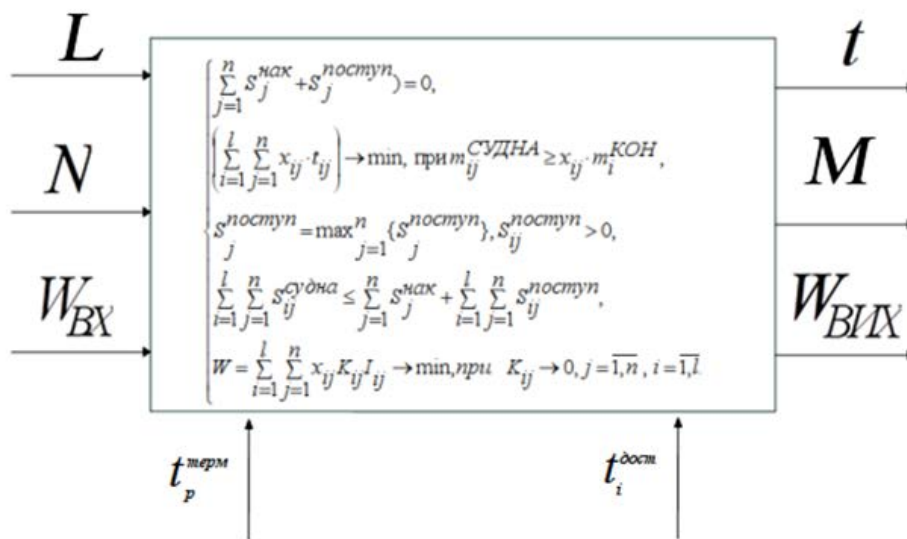


Рис. 2. Подання системи у вигляді моделі «прозорого ящика»

**Висновки.** Таким чином, в роботі була розроблена математична модель функціонування комп'ютерної системи завантаження контейнеровозу, яка описує ключові параметри системи, такі як час завантаження, продуктивність, подальша безпека вантажу та ефективність при розвантаженні в наступному місці призначення, при цьому враховує енергетичні обмеження системи.

Розроблена модель дозволяє встановити залежності між вхідними і вихідними параме-

трами та використати її під час подальшої апаратно-програмної реалізації.

### Список літератури

1. Накул Ю. А., Нікольський В. В., Стовманенко В. С. Система контролю завантаження контейнеровозів. *Судовождение*. Одесская национальная морская академия. 2017. №27. С. 127–136.
2. Бабаков В. В. Расчет грузового плана

- контейнеровоза на персональных ЭВМ. Одесса: ОГМА, 1992. 40 с.
3. Кокин А. С. Международная морская перевозка грузов: право и практика. М.: Волтерс Клувер, 2007. 584 с.
  4. Николаева Л. Л., Цымбал Н. Н. Морские перевозки: учебник. О.: Одесская национальная морская академия, Феникс, 2005. 200 с.
  5. Живицкая Е. Н. Системный анализ и проектирование. Лекция 3: Системы. Модели систем. URL: <http://victor-safronov.ru/systems-analysis/lectures/zhivickaya/05.html>.–017.
  6. Згуровський М. З., Панкратова Н. Д. Основи системного аналізу. К.: Видавнича група BHV, 2007. 544 с.
  7. Миротин Л. Б., Тышбаев Ы. Э. Системный анализ в логистике: учебник. М.: Экзамен, 2002. 480 с.
  8. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. М.: ВШ, 1989. 363 с.

**Yu. O. Nakul**, *Leading Specialist in Research*,  
The Petro Mohyla Black Sea National University (BSNU),  
68 Desantnykiv St., 10, Mykolaiv, 54003, Ukraine.

### THE MATHEMATICAL MODEL OF LOADING SYSTEMS OF A CONTAINER SHIP

*The article deals with the developed mathematical model of container loading system, which allows determining the overwhelming majority of technical parameters of the vessel after loading. The model involves controlling the proper weight of the containers, its uniform distribution, the compliance of the loaded containers with the selected download optimization criteria, which includes the priority of loading by weight, the order of delivery to the destination, value and so on. The developed model allows to establish dependencies between incoming and outgoing parameters and use it during further hardware-software implementation.*

**Keywords:** *ship, mathematical model, control, loading.*

*Стаття надійшла 18.05.2018.*

*Рецензенти: М. П. Мусієнко, д.т.н., професор,  
В. В. Нікольський, д.т.н., професор.*