

Войченко Т.О., Трофименко А.О., Рященко О.І., Лісовський С.В.

МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ НА ТЕРМІНАЛАХ МОРСЬКИХ ПОРТІВ: РОЗРОБКА ПРАКТИЧНИХ ПРОПОЗИЦІЙ

Метою статті є розробка пропозицій щодо моделювання управління процесами перевантаження на терміналах морських портів для підвищення ефективності їх функціонування. Поставлена мета досягається шляхом розробки комплексу різноманітних моделей для формалізації процесів переміщення вантажів на терміналах морських портів. Встановлено, що одним із способів зниження витрат на розвиток перевантажувальних потужностей у морських портах та покращення їх техніко-економічних показників може стати впровадження ефективної системи координаційного управління технологічними процесами на транспортних вузлах. Тому процеси переміщення вантажів на транспортних вузлах розглядаються як об'єкти моделювання, що дозволяють знаходити оптимальні варіанти перевантаження та розвантаження вантажів. Разом з тим дослідження в галузі управління перевантажувальними процесами морських портів показали, що на сьогоднішній день немає єдиного рішення для ефективного управління даними процесами. У статті проведено системний аналіз цих процесів, створено структуру дерева цілей, що відображає цілі та функції системи управління, виявлено множину завдань, спрямованих на зменшення комплексних витрат. Через аналіз перевантажувальних процесів у морському порту було встановлено систему критеріїв, яка відображає технічні характеристики перевантажувальних комплексів та набір параметрів перевантажувальних процесів. Також було створено семантичну модель, яка дозволяє сформувати предметну область перевантажувальних процесів у морському порту та представити її у вигляді моделі станів перевантажувальних процесів, яка визначає напрямки руху вантажів усередині порту та зміни станів системи управління перевантажувальними процесами. Найбільш суттєвим результатом є саме модель станів перевантажувальних процесів у терміналі морського порту. Дана модель дозволяє відображати напрямок руху вантажів і моделювати процес перевезення всередині порту, що забезпечує можливість визначати зміни у стані системи управління перевантажувальними процесами. Крім того, створена модель дозволяє виявляти можливі напрями покращення ефективності перевантажувальних процесів.

Ключові слова: *термінал морського порту, управління, перевантаження, вантаж, декомпозиція, моделювання, модель станів.*

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку перевезень зростає потреба в доставці вантажів з дотриманням жорстких вимог до термінів, якості транспортування і зниження витрат на транспортно-складські операції. Транспортні вузли грають важливу роль у транспортній системі, так як саме в них починається і закінчується доставка вантажів, а також перевантаження вантажу з одного виду транспорту на інший. Незважаючи на те, що в Україні введені в експлуатацію нові портові перевалочні комплекси, вітчизняні порти задовольняють потреби в перевантажувальних потужностях значно менше необхідного рівня [1]. Тому оптимізація управління перевантажувальними процесами порту та його інфраструктури на основі сучасних інформаційних та комп'ютерних технологій є важливим напрямком підвищення ефективності перевезень. Однак для забезпечення ефективного функціонування перевантажувального комплексу необхідно враховувати взаємозв'язок між багатьма технічними, економічними і соціальними показниками, на які можуть впливати численні фактори.

Ще однією характерною особливістю перевантажувальних процесів у морському порту є їх постійний розвиток. Це пов'язано зі зміною потреб у перевантаженні вантажів і зміною ситуації в порту і регіонах, які він обслуговує. У зв'язку з цим необхідна максимальна формалізація процесів прийняття рішень з оперативно-диспетчерського управління перевантажувальними процесами, їх модернізації та реорганізації. Ефективна система координаційного управління технологічними процесами на транспортних вузлах може стати одним із шляхів зниження витрат на розвиток перевантажувальних потужностей у морських портах і поліпшення їх експлуатаційних і техніко-економічних показників. Тому процеси перевантаження на транспортних вузлах розглядаються як об'єкти моделювання, що дозволяють вирішувати завдання оптимального управління різними варіантами перевантаження і розвантаження вантажів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато вчених досліджують шляхи ефективності функціонування морських портів, зокрема питання перевантаження вантажів (навантаження/розвантаження) [2 - 14].

Наприклад, у роботі [2] проаналізовано сучасний стан та особливості розвитку морських портів в Україні. Доведено необхідність реформування морських торговельних портів у напрямках, що знайшли відображення у комплексних стратегічних документах морської політики України.

У роботі [3] визначено, що пряме перевантаження – це новий спосіб перевантаження контейнерів, при якому частина перевантажувальних контейнерів завантажується безпосередньо на плавучі бази з фідерних суден, а не буферизується в місці зберігання. Для його ефективної реалізації необхідно вирішити кілька питань, пов'язаних з прийняттям рішень, одним з яких є виділення спальних місць і складських приміщень. Інтегрована модель призначена для оптимізації розподілу причалів, складських площ і плану прямої перевантаження одночасно. Мета – мінімізувати експлуатаційні витрати вантажних автомобілів і портових кранів, а також витрати на затримку суден. Для вирішення цього завдання розроблений евристичний алгоритм. Наведено чисельні експерименти, що ілюструють правильність запропонованої моделі та алгоритмів. Результати показують, що режим прямого перевантаження дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати. Модель враховує переваги як для операторів терміналів, так і для перевізників, стимулюючи використання прямого перевантаження як ефективного методу підвищення ефективності перевантаження і, таким чином, підвищення конкурентоспроможності контейнеровозів.

Предметом статті [4] є процес розвантаження і навантаження суден на морських контейнерних терміналах. Оскільки проблеми прийняття рішень у контейнерних терміналах носять динамічний характер і повинні з часом переоцінюватися в залежності від стану деяких важливих базових факторів (таких як судна, крани або характеристики місць зберігання), проблема формулюється як марківський процес прийняття рішень (MDP). Завдання полягає в тому, щоб забезпечити оптимальну послідовність рішень, які повинні бути прийняті в кожен момент часу в період вантажно-розвантажувальних робіт, щоб мінімізувати загальний час простою швартових кранів і транспортних засобів, призначених для обслуговування контейнеровоза. У цій статті також розроблено імітаційну модель для перевірки та оцінки оптимальної політики, наданої MDP.

У роботі [5] зазначено, що світова торгівля неухильно зростає, а управління транспортом і логістикою день за днем стикається з безліччю проблем. Контейнерні перевезення є одним з тих напрямків, управління яким стало основним завданням через свою важливу роль у забезпеченні якості обслуговування вантажних перевезень. У даній статті автори описують систему моніторингу та управління в режимі реального часу, призначену для автоматизації управління морськими термінальними контейнерами. Запропоноване рішення базується на використанні технологій Інтернету речей (IoT) та великих даних для створення системи, що надає розширені функції для різних аспектів управління контейнерною логістикою. Оскільки реалізація запропонованої системи передбачає використання різних інструментів та технологій, було проведено порівняльне дослідження кількох технологій та інструментів, пов'язаних з IoT та великими даними, з метою вибору відповідних. Автори також прийняли багаторівневу архітектуру для запропонованої системи, і в статті вони представили сферу застосування, роль та набір інструментів для кожного шару.

У статті [6] сформульована двокритеріальна задача розподілу причалів зі стохастичним часом обробки суден. Для розв'язання задачі пропонується евристика на основі еволюційного алгоритму й алгоритм скорочення фронту Парето на основі моделювання. Дослідження показують, що запропонований підхід передбачає рішення, які перевищують ті, де використовується очікуване значення часу обробки судна.

Таким чином, дослідження у сфері управління перевантажувальними процесами у морських портах підтверджують, що на даний момент не існує однозначного рішення, яке б дозволило ефективно керувати такими процесами.

Метою статті є розробка пропозицій щодо моделювання управління процесами перевантаження на терміналах морських портів для підвищення ефективності їх функціонування.

Основні результати дослідження. Відсутність в Україні портів, які мають інтегровані інтелектуальні логістичні системи, створює перешкоди для ефективної взаємодії учасників процесу обробки вантажів. Для вирішення цього завдання необхідно розробити високоефективну транспортно-логістичну інфраструктуру, яка забезпечить швидкість і надійність надання транспортних послуг, в тому числі з використанням інтелектуальних транспортних систем. При розвитку такої інфраструктури також необхідно формалізувати процеси управління вантажними операціями в морських портах. При цьому одним з важливих етапів формалізації є етап моделювання відповідних процесів.

У рамках формування пропозицій щодо моделювання процесів управління процесами перевантаження в терміналах морського порту у даній статті:

- 1) проведено комплексний аналіз процесів перевантаження в терміналах морського порту у рамках розробки моделі декомпозиції функцій, що виконуються у процесі перевантажування вантажів (навантаження/розвантаження);
- 2) розроблена ієрархічна модель цілей системи управління процесом перевантаження;
- 3) створена система критеріїв, що відображає технічні характеристики перевантажувальних комплексів з метою забезпечення ефективності оцінки цих систем;
- 4) розроблена семантична модель процесу перевантаження, що описує предметну область об'єкта управління;
- 5) розроблено модель управління процесами перевантаження;
- 6) розроблено модель станів, яка дає можливість оцінити зміни станів системи управління процесами перевантаження.

Декомпозиція функцій на рис. 1, яка відображає процеси перевантаження вантажів у морських портах, дозволяє створити модель портового терміналу і розділити її на набір P окремих вантажно-розвантажувальних пунктів

$$P = \{p_i\}, i = \overline{1,5}, \quad (1)$$

де p_1 – причал (завантаження/розвантаження);

p_2 – перенесена платформа (завантаження/розвантаження);

p_3 – склад (завантаження/розвантаження);

p_4 – місце для обробки транспортних засобів (завантаження/розвантаження);

p_5 – залізнична станція (завантаження/розвантаження).

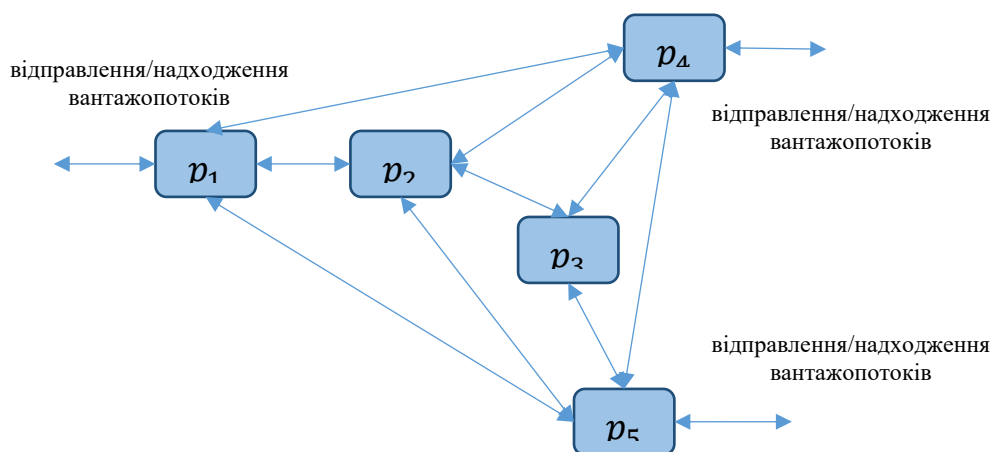


Рисунок 1 – Модель декомпозиції функціонування перевантажувальних процесів на терміналах морських портів

Ієрархічна модель цілей системи управління перевантажувальним процесом (рис. 2) вказує на те, що основною метою такої системи є підвищення ефективності управління перевантажувальними процесами в морському порту.

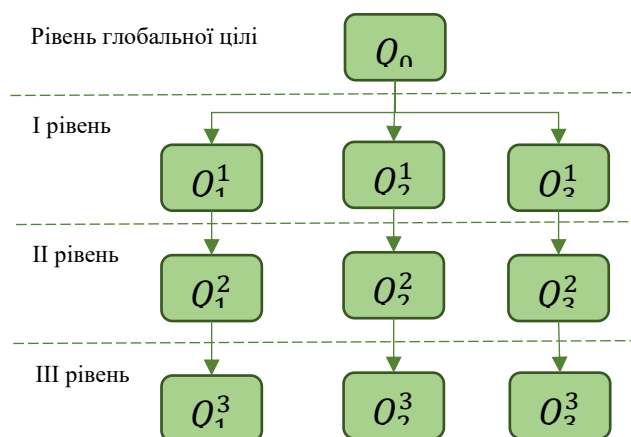


Рисунок 2 – Ієрархічна модель цілей системи управління процесами перевантаження

Глобальна ціль являє собою кортеж, який складається з таких компонент:

$$Q_0 \Rightarrow \langle Q_1^1, Q_2^1, Q_3^1 \rangle, \quad (2)$$

де Q_1^1 – своєчасне завантаження і розвантаження;

Q_2^1 – удосконалення організації процесів перевантаження;

Q_3^1 – оптимізація управління процесами обробки.

Згодом кожна ціль уточнюється відповідно до типу кінцевого продукту:

$$\langle Q_1^1, Q_2^1, Q_3^1 \rangle \Rightarrow \langle Q_1^2, Q_2^2, Q_3^2 \rangle, \quad (3)$$

де Q_1^2 – збільшення обсягу вантажів, що перевозяться;

Q_2^2 – підвищення ефективності вантажних процесів;

Q_3^2 – зниження комплексних витрат на процеси перевантаження.

Дані кортежі розглядаються як компоненти простору ініціації цілей:

$$\langle Q_1^2, Q_2^2, Q_3^2 \rangle \Rightarrow \langle Q_1^3, Q_2^3, Q_3^3 \rangle, \quad (4)$$

де Q_1^3 – удосконалення організації та технології вантажних операцій;
 Q_2^3 – вирішення проблеми планування обробки вантажів;
 Q_3^3 – мінімізація витрат на перевалку вантажів.

Представлена система критеріїв K_0 (рис. 3) містить дві групи елементів:

- технічні характеристики перевантажувальних комплексів K_2^1 ;
- допоміжні технологічні елементи K_1^1 .

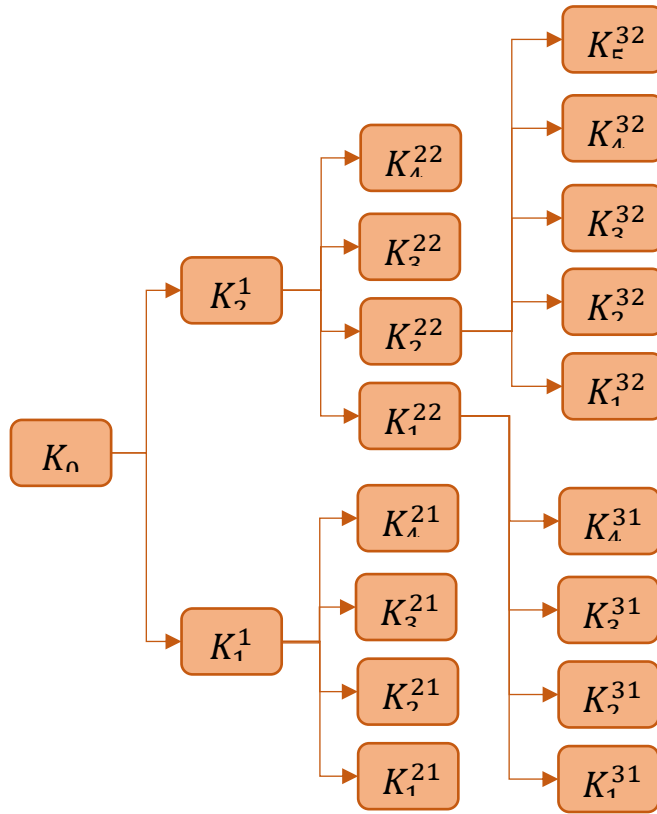


Рисунок 3 – Система критеріїв, що відображають технічні характеристики перевантажувальних комплексів

Формально запропоновану систему критеріїв представляється таким виразом:

$$K_0 = \{K_1^1, K_2^1\} = \{K_1^{21}, K_2^{21}, K_3^{21}, K_4^{21}\} \cup \{K_1^{22}, K_2^{22}, K_3^{22}, K_4^{22}\},$$

$$K_1^{22} = \{K_1^{31}, K_2^{31}, K_3^{31}, K_4^{31}\},$$

$$K_2^{22} = \{K_1^{32}, K_2^{32}, K_3^{32}, K_4^{32}, K_5^{32}\} \quad (5)$$

де $K_1^{21} \in K_1^1$ – засоби зв'язку;
 $K_2^{21} \in K_1^1$ – силові та освітлювальні електромережі;
 $K_3^{21} \in K_1^1$ – водопровід;
 $K_4^{21} \in K_1^1$ – інші допоміжні технологічні елементи;
 $K_1^{22} \in K_2^1$ – транспортні засоби;
 $K_{12}^{22} \in K_2^1$ – підйомна-транспортна техніка;
 $K_3^{22} \in K_2^1$ – склади;

$K_4^{22} \in K_2^1$ – пірси;
 $K_1^{31} \in K_1^{22}$ – залізничний транспорт;
 $K_2^{31} \in K_1^{22}$ – автомобільний транспорт;
 $K_3^{31} \in K_1^{22}$ – водний транспорт;
 $K_4^{31} \in K_1^{22}$ – інший транспорт;
 $K_1^{32} \in K_2^{22}$ – кран;
 $K_2^{32} \in K_2^{22}$ – навантажувач;
 $K_3^{32} \in K_2^{22}$ – конвеєр;
 $K_4^{32} \in K_2^{22}$ – елеватор;
 $K_5^{32} \in K_2^{22}$ – інше обладнання.

На основі системи критеріїв (5) розроблено семантичну модель процесу перевантаження, що описує предметну область об'єкта управління у вигляді кортежу

$$PP = \langle O, B, T, D, R, C \rangle, \quad (6)$$

де O – множина опорних елементів;
 $B = \{b_i | i = \overline{1, n}\}$ – множина пірсів, $b_i = \{l_b^i, d_b^i\}$, l_b^i – довжина пірсу, d_b^i – глибина пірсу;
 $T = \{t_h | h = \overline{1, l}\}$ – множина транспортних засобів, $t_h = \{N_t^h, G_t^h\}$, N_t^h – тип та G_t^h – вантажопідйомність транспортних засобів;
 $D = \{d_j | j = \overline{1, s}\}$ – множина складів, $d_j = \{e_d^j, w_d^j, k_d^j\}$, e_d^j – ємності, w_d^j – площа, k_d^j – вид складу;
 $R = \{r_q | q = \overline{1, m}\}$ – множина вантажно-розвантажувальної техніки;
 $C = \{c_p | p = \overline{1, g}\}$ – множина вантажопотоків.

Кортеж (6) дозволяє сформувати процес перевантаження в морському порту і представити його у вигляді моделі. Розроблена модель управління процесами перевантажування формально представлена у вигляді

$$MPP = \{TP, ITP, OTP, FTP, AL\}. \quad (7)$$

У даній моделі під об'єктом моделювання TP розглядається процес перевантаження морського порту і перевантажувальних комплексів, які безпосередньо здійснюють свою діяльність.

ITP – вхідні параметри, що містять параметри елементів семантичної моделі перевантажувальних процесів і дані для розрахунку витрат на процеси перевантаження.

OTP – вихідні параметри (оптимальний план транспортування вантажу, цільова функція, що мінімізує складні витрати).

FTP – функція переведення (алгоритми пошуку плану перевезення за заданими значеннями критеріїв вибору).

AL – правила виведення засобів містять систему обмежень на перевагу особи, яка приймає рішення.

Розроблена модель станів перевантажувальних процесів (рис. 4) показує, що в порту є такі підсистеми, як причал, залізнична станція, фронтальна платформа, місце обробки вагонів і склад. Такими підсистемами у транспортному вузлу порту є пункти завантаження і розвантаження. Ці моменти на рис. 4 представлені вершинами графа станів $V(S, E)$ і складають множину вершин (станів)

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}, N = \overline{1, 5} \quad (8)$$

і множину дуг (напрямків (варіантів) перевезення вантажів усередині порту)

$$E = \{E_{12}, E_{21}, \dots, E_{45}, E_{54}\}. \quad (9)$$

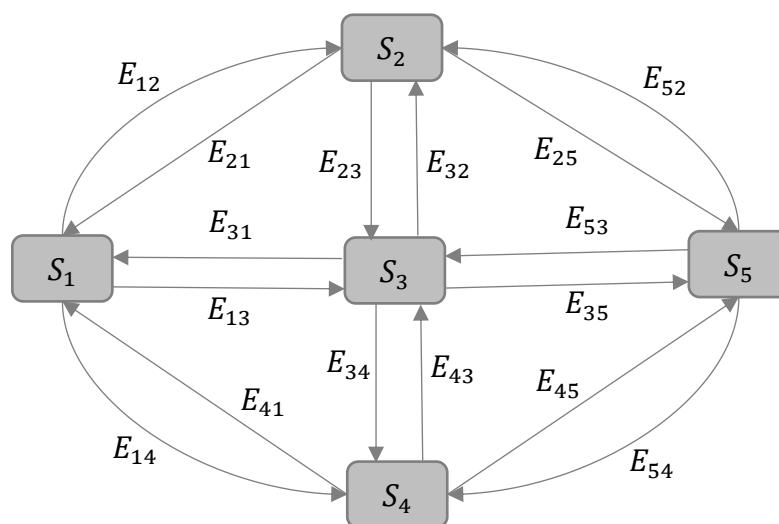


Рисунок 4 – Модель станів перевантажувальних процесів у терміналі морського порту

Під станом системи управління перевантажувальними процесами розуміється знаходження вантажного потоку у певній вершині графа. Коли вантажний потік переміщується з однієї точки в іншу, відбувається зміна стану системи. Модель станів дозволяє відображати напрямки руху вантажів і моделювати процес перевезення всередині порту, що дає змогу визначити зміни в стані системи управління перевантажувальними процесами. Розроблена модель також дозволяє виявляти напрями поліпшення ефективності перевантажувальних процесів.

Висновки. Дослідження, проведені в галузі управління перевантажувальними процесами морських портів, засвідчили, що наразі не існує єдиного рішення, яке дало б змогу ефективно управляти перевантажувальними процесами. У зв'язку з цим, у статті проведено системний аналіз перевантажувальних процесів, створено структуру дерева цілей, яка відображає цілі та функції системи управління перевантажувальними процесами, виявлено множину завдань, спрямованих на скорочення комплексних витрат. На основі аналізу перевантажувальних процесів у морському порту було встановлено систему критеріїв, що відображають технічні характеристики перевантажувальних комплексів, яка дає змогу визначити набір параметрів перевантажувальних процесів. Було створено семантичну модель, яка дозволяє сформувати предметну область перевантажувальних процесів у морському порту та представити її у вигляді моделі станів перевантажувальних процесів, що визначає напрямки руху вантажів усередині порту та зміни станів системи управління перевантажувальними процесами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стратегія розвитку морських портів України на період до 2038. URL: http://publications.chamber.ua/2018/Infrastructure/Strategy_2038.pdf (дата звернення: 02.10.2024)
2. Reshetkov D.M. Development and use of power ports of ukraine on an innovative basis. *SWorldJournal*. 2018. № 04-01. С. 64–68. URL: <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2020-04-01-012> (дата звернення: 02.10.2024).
3. Zeng Q., Feng Y., Chen Z. Optimizing berth allocation and storage space in direct transshipment operations at container terminals. *Maritime Economics & Logistics*. 2017. Vol 19, No. 3. P. 474–503. URL: <https://doi.org/10.1057/mel.2016.2> (дата звернення: 02.10.2024).
4. Rida M. Modeling and Optimization of Decision-Making Process During Loading and Unloading Operations at Container Port. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2014. Vol. 39, No. 11. P. 8395–8408. URL: <https://doi.org/10.1007/s13369-014-1328-8> (дата звернення: 02.10.2024).

5. Kaderi F. A., Koulali R., Rida M. Automated management of maritime container terminals using internet of things and big data technologies. SCA '19 : Proceedings of the 4th International Conference, Casablanca, Morocco, 2–4 October 2019. New York, USA, 2019. URL: <https://doi.org/10.1145/3368756.3369046> (дата звернення: 02.10.2024).
6. The berth allocation problem with stochastic vessel handling times / J. Karafa et al. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2012. Vol. 65, No. 1-4. P. 473–484. URL: <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4186-0> (дата звернення: 02.10.2024).
7. Bielli M., Boulmakoul A., Rida M. Object oriented model for container terminal distributed simulation. *European Journal of Operational Research*. 2006. Vol. 175, No. 3. P. 1731–1751. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.02.037> (дата звернення: 02.10.2024).
8. Logistics node design and control over the whole life cycle based on web based simulation / A. Bruzzone et al. *International journal of internet manufacturing and services*. 2007. Vol. 1, No. 1. P. 32–50.
9. Shabayek A. A., Yeung W. W. A simulation model for the Kwai Chung container terminals in Hong Kong. *European Journal of Operational Research*. 2002. Vol. 140, No. 1. P. 1–11. URL: [https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(01\)00216-8](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(01)00216-8) (дата звернення: 02.10.2024).
10. Efficient Solution Algorithms for Factored MDPs / C. Guestrin et al. *Journal of Artificial Intelligence Research*. 2003. Vol. 19. P. 399–468. URL: <https://doi.org/10.1613/jair.1000> (дата звернення: 02.10.2024).
11. Kim K. H., Park Y.-M. A crane scheduling method for port container terminals. *European Journal of Operational Research*. 2004. Vol. 156, No. 3. P. 752–768. URL: [https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(03\)00133-4](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(03)00133-4) (дата звернення: 02.10.2024).
12. Kim K. H., Kim H. B. The optimal sizing of the storage space and handling facilities for import containers. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2002. Vol. 36, No. 9. P. 821–835. URL: [https://doi.org/10.1016/s0191-2615\(01\)00033-9](https://doi.org/10.1016/s0191-2615(01)00033-9) (дата звернення: 02.10.2024).
13. Lee B. K., Kim K. H. Optimizing the block size in container yards. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2010. Vol. 46, No. 1. P. 120–135. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2009.07.001> (дата звернення: 02.10.2024).

REFERENCES

1. Stratehiia rozvytku morskyykh portiv Ukrainy na period do 2038 [Strategy for the development of seaports of Ukraine for the period until 2038]. URL: http://publications.chamber.ua/2018/Infrastructure/Strategy_2038.pdf (accessed: 02.10.2024) (in Ukrainian)
2. Reshetkov, D. M. (2018). Development and use of power ports of Ukraine on an innovative basis. *SWorldJournal*, 04-01, 64–68. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2020-04-01-012> (accessed: 02.10.2024)
3. Zeng, Q., Feng, Y., & Chen, Z. (2017). Optimizing berth allocation and storage space in direct transshipment operations at container terminals. *Maritime Economics & Logistics*, 19(3), 474–503. <https://doi.org/10.1057/mel.2016.2> (accessed: 02.10.2024)
4. Rida, M. (2014). Modeling and optimization of decision-making process during loading and unloading operations at container port. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(11), 8395–8408. <https://doi.org/10.1007/s13369-014-1328-8> (accessed: 02.10.2024)
5. Kaderi, F. A., Koulali, R., & Rida, M. (2019). Automated management of maritime container terminals using internet of things and big data technologies. In *Proceedings of the 4th International Conference on Smart City Applications. Association for Computing Machinery*. <https://doi.org/10.1145/3368756.3369046> (accessed: 02.10.2024)
6. Karafa, J., Golias, M. M., Ivey, S., Saharidis, G. K. D., & Leonardos, N. (2012). The berth allocation problem with stochastic vessel handling times. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 65(1-4), 473–484. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4186-0> (accessed: 02.10.2024)
7. Bielli, M., Boulmakoul, A., & Rida, M. (2006). Object oriented model for container terminal distributed simulation. *European Journal of Operational Research*, 175(3), 1731–1751. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.02.037> (accessed: 02.10.2024)

8. Bruzzone, A., Longo, F., Massei, M., Saetta, S., & van Gelder, L. (2007). Logistics node design and control over the whole life cycle based on web based simulation. *International Journal of Internet Manufacturing and Services*, 1(1), 32–50.
9. Shabayek, A. A., & Yeung, W. W. (2002). A simulation model for the Kwai Chung container terminals in Hong Kong. *European Journal of Operational Research*, 140(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00216-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00216-8) (accessed: 02.10.2024)
10. Guestrin, C., Koller, D., Parr, R., & Venkataraman, S. (2003). Efficient solution algorithms for factored MDPs. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 19, 399–468. <https://doi.org/10.1613/jair.1000> (accessed: 02.10.2024)
11. Kim, K. H., & Park, Y.-M. (2004). A crane scheduling method for port container terminals. *European Journal of Operational Research*, 156(3), 752–768. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00133-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00133-4) (accessed: 02.10.2024)
12. Kim, K. H., & Kim, H. B. (2002). The optimal sizing of the storage space and handling facilities for import containers. *Transportation Research Part B: Methodological*, 36(9), 821–835. [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(01\)00033-9](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(01)00033-9) (accessed: 02.10.2024)
13. Lee, B. K., & Kim, K. H. (2010). Optimizing the block size in container yards. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(1), 120–135. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2009.07.001> (accessed: 02.10.2024)

Voichenko T.O., Trofymenko A.O., Riashchenko O.I., Lisovskyi S.V.

MODELLING OF THE MANAGEMENT OF TRANSSHIPMENT PROCESSES AT SEAPORT TERMINALS: DEVELOPMENT OF PROPOSALS

The aim of the article is to develop proposals for modelling the management of transshipment processes at seaport terminals to improve the efficiency of their functioning. This goal is achieved by developing a set of various models to formalise the processes of cargo movement at seaport terminals. It has been established that one of the ways to reduce the costs of developing transshipment capacities in seaports and improve their technical and economic indicators may be the introduction of an effective system of coordinating management of technological processes at transport hubs. Therefore, the processes of cargo movement at transport hubs are considered as objects of modelling, which allow finding optimal options for cargo handling and unloading. At the same time, research in the field of management of transshipment processes at seaports has shown that today there is no single solution for the effective management of these processes. The article carries out a systematic analysis of these processes, creates a structure of a goal tree that reflects the goals and functions of the management system, and identifies a set of tasks aimed at reducing complex costs. Through the analysis of transshipment processes in a seaport, a system of criteria was established that reflects the technical characteristics of transshipment complexes and a set of parameters of transshipment processes. A semantic model has also been created that allows to form the subject area of transshipment processes in a seaport and present it in the form of a transshipment process state model that determines the direction of cargo movement within the port and changes in the states of the transshipment process management system. The most significant result is the model of transshipment processes in the seaport terminal. This model allows displaying the direction of cargo movement and modelling the process of transportation within the port, which makes it possible to identify changes in the state of the transshipment management system. In addition, the created model allows identifying possible ways to improve the efficiency of transshipment processes.

Key words: seaport terminal, management, transshipment, cargo, decomposition, modelling, state model.