

В. Л. РОМАХ

старший викладач кафедри експлуатації портів
і технології вантажних робіт
Одеський національний морський університет
ORCID: 0000-0003-3958-0041

В. І. ТИХОНІН

старший викладач кафедри експлуатації портів
і технології вантажних робіт
Одеський національний морський університет
ORCID: 0000-0003-1619-8130

І. І. ТИХОНІНА

старший викладач кафедри експлуатації портів
і технології вантажних робіт
Одеський національний морський університет
ORCID: 0000-0002-1945-9845

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СПІВВІДНОШЕННЯ ТИПІВ ПОРТОВОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ РОБОТІ З КОНТЕЙНЕРАМИ В ОПЕРАТИВНІЙ ЗОНІ ВАНТАЖНОГО ТЕРМІНАЛУ МОРСЬКОГО ПОРТУ

У даній роботі використовується один з методів динамічного програмування для вирішення задачі визначення домінуючої послідовності використання комбінацій портового обладнання при реалізації виробничих процесів з контейнерним вантажопотоком у відповідній зоні портового контейнерного терміналу. Враховано зони виробництва контейнерного портового терміналу. Встановлено відповідність площі складського майданчика діючим нормам. Визначені типи контейнерів. Визначено існуючі методики складування великотонажних контейнерів на складському майданчику оперативної зони контейнерного терміналу порту та обрано для розгляду позовжно-поперечний тип складування. Встановлено «лінійку» портового обладнання для даного типу виробництва. Визначено типи та комбінації вантажного обладнання порту, що можуть бути використаними на обраному об'єкті. Серед запропонованих показників ефективності використання сукупності портового обладнання для подальшого рішення задачі обрані показник експлуатаційних витрат та показник продуктивності судна. Визначено діапазон та альтернативні стратегії портового обладнання відповідно до їх комбінацій. Встановлено обмежені діапазони їх застосування. Сформовані відповідні похідна, допустима та робоча множини даних для реалізації метода визначення домінуючої послідовності використання комбінацій портового обладнання при реалізації виробничих процесів з контейнерним вантажопотоком у відповідній зоні портового контейнерного терміналу за допомогою запропонованого алгоритму Кеттеля. Введені обмеження за показниками ефективності використання сукупності портового обладнання та показниками часу. В результаті визначено домінуючі послідовності комбінацій портового обладнання одна з яких є пріоритетною за встановленими обмеженнями. Показано, що запропонований підхід може бути використаний і для інших конфігурацій моделювання та оптимізації. Обґрунтовано актуалізацію подальшого інтегрування композицій і об'єднань похідних даних.

Ключові слова: морський порт, вантажний термінал, оперативна зона, великотонажний контейнер, портове обладнання, оптимальне співвідношення, динамічне програмування, алгоритм Кеттеля.

V. L. ROMAkh

Senior Lecturer at the Department of Port Operation
and Trucking Technologies
Odesa National Maritime University
ORCID: 0000-0003-3958-0041

V. I. TYKHONIN

Senior Lecturer at the Department of Port Operation
and Trucking Technologies
Odesa National Maritime University
ORCID: 0000-0003-1619-8130

I. I. TYKHONINA

Senior Lecturer at the Department of Port Operation
and Trucking Technologies
Odesa National Maritime University
ORCID: 0000-0002-1945-9845

DETERMINATION OF THE OPTIMAL RATIO OF TYPES OF PORT EQUIPMENT WHEN WORKING WITH CONTAINERS IN THE OPERATIONAL AREA OF A CARGO TERMINAL OF A SEA PORT

In this work, one of the dynamic programming methods is used to solve the problem of determining the dominant sequence of using combinations of port equipment in the implementation of production processes with container cargo flow in the corresponding zone of the port container terminal. The production zones of the container port terminal are taken into account. Compliance of the area of the storage area with the current regulations has been established. Defined types of containers. The existing methods of storing large-tonnage containers at the storage area of the operational zone of the port's container terminal were determined, and the longitudinal-transverse type of storage was selected for consideration. A "line" of port equipment for this type of production has been installed. The types and combinations of port cargo equipment that can be used at the selected facility are defined. Among the proposed indicators of the efficiency of using a set of port equipment for the further solution of the problem, the indicator of operating costs and the indicator of ship productivity were selected. The range and alternative strategies of port equipment are defined in accordance with their combinations. The limited ranges of their application are established. The corresponding derived, admissible and working data sets were formed for the implementation of the method of determining the dominant sequence of the use of combinations of port equipment in the implementation of production processes with container cargo flow in the corresponding zone of the port container terminal using the proposed Kettel algorithm. Restrictions have been introduced on indicators of the efficiency of the use of the totality of port equipment and time indicators. As a result, dominant sequences of combinations of port equipment were determined, one of which is a priority according to the established restrictions. It is shown that the proposed approach can be used for other modeling and optimization configurations. The actualization of further integration of compositions and combinations of derived data is substantiated.

Key words: sea port, cargo terminal, operational zone, large-tonnage container, port equipment, optimal ratio, dynamic programming, Kettel's algorithm.

Постановка проблеми

Останніми роками зберігається тенденція зростання обсягів контейнерних перевезень, що посилює конкурентність стивідорного бізнесу, як наслідок, потребує оптимізації логістичних процесів, що відбуваються на терміналах портів зокрема. Очевидно, що така тенденція обумовлює необхідність підвищення виробничих та часових показників. Відповідно, спостерігається зростання попиту на технологічні рішення питання, реалізація якого може лежати в площині оптимізації типу та співвідношення спеціалізованого портового обладнання при інших заданих похідних.

В залежності від обсягів партій, типу контейнера, принципу складування контейнерів на складських майданчиках, параметрів самих майданчиків, тощо, оптимізація перевантаження може реалізуватися завдяки залученню різних типів навантажувальної техніки.

Співвідношення типів обладнання можуть мати різні комбінації. Враховуючи параметри складського майданчика, а саме місткості відкритого складу та його розташування, можливе використання декількох типів перевантажувального обладнання та їх співвідношень.

Для забезпечення оптимізації виробничого процесу стивідор, безпосередньо, повинен прийняти рішення щодо доцільності заміни складського вантажного обладнання у виробничій зоні терміналу порту. Тож вирішення задачі обрання оптимального співвідношення типів портового обладнання при портовому виробництві для подальшого підвищення виробничих показників, враховуючи різноманіття перевантажувального обладнання, конфігурацію та компоновання основних зон вантажного терміналу порту потребують застосування спеціалізованих методів дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Рішенню задач з оптимізації роботи як окремих складових вантажного терміналу порту, так і комплексним питанням присвячено значну кількість робіт. Так в роботі [1] використана багатоцільова оптимізація роботи вантажного терміналу, в [2, 3] моделюється робота вантажного терміналу у взаємодії морського та залізничного транспорту. комплексний підхід до планування руху транспортних засобів в інтермодальному морському порту надає Робота [4]. В [5] застосовується лінійне моделювання роботи портового оператора в умовах мультимодальності. Джерело [6] присвячено проблемам параметричного уявлення інфраструктури мережевих потужностей. В Роботі [7] використано мультикризовий аналіз для обґрунтування структури парку вантажного обладнання порту. В [8] визначено комплекс імітаційних динамічних моделей з оптимізація параметрів перевантажувальних комплексів порту.

Таким чином для визначення оптимального співвідношення параметрів засобів для перевантаження великотоннажних контейнерів з урахуванням параметрів складського майданчика вантажного терміналу морського порту необхідно обрати методику, що забезпечує отримання результату з максимальним урахуванням всіх факторів.

Формулювання мети дослідження

Наявність відповідних параметрів інфраструктури портового терміналу та вантажних засобів, що забезпечують комунікацію складських майданчиків з оперативною зоною порту (в даній постановці – лінією кордону) потребують метода, який би надав послідовність кроків та обрання оптимального рішення за сукупністю показників шляхом вилучення завідомо неоптимальних позицій. Тож метою роботи є розробка методики формування оптимальної множини альтернативних співвідношень параметрів портового обладнання, враховуючи улаштування внутрішньої портової інфраструктури, використовуючи для цього інструменти динамічного програмування [9].

Викладення основного матеріалу дослідження

Перед застосуванням методу, необхідно привести основні параметри складових, що будуть використовуватися у якості «опорних». Це основні виробничі зони порту, типорозміри складського майданчика для великотоннажних контейнерів, основні параметри контейнерів, параметри перевантажувального обладнання що може бути застосоване, тощо.

Так у межах трьох основних частин порту виділяють п'ять функціональних зон на двох з яких безпосередньо відбуваються процеси виробництва [10]. На рисунку 1 представлені зони, об'єкти та умови виробничого процесу.

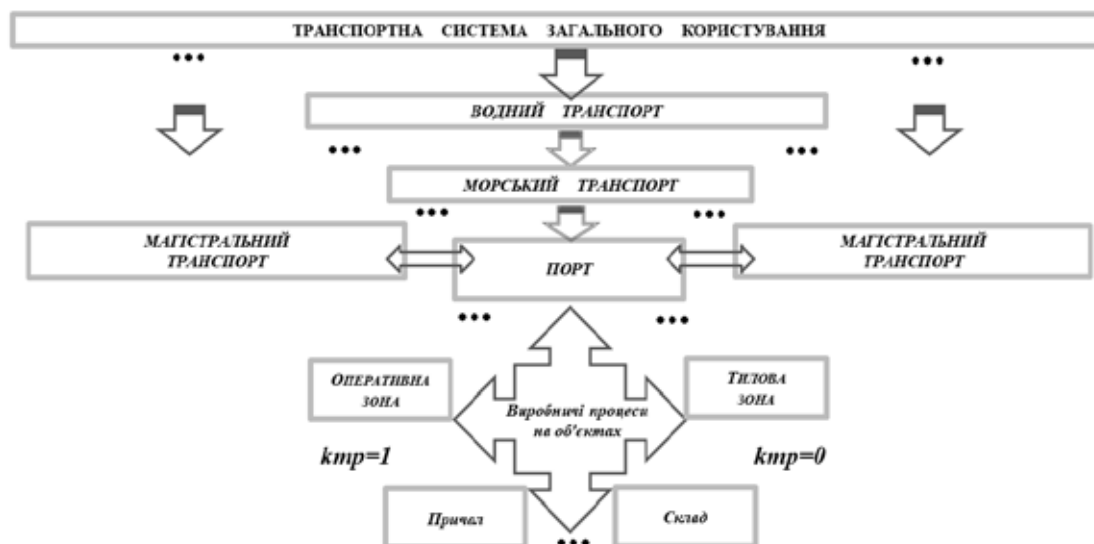


Рис. 1. Зони, об'єкти та умови виробничого процесу

Джерело: побудовано авторами

Так оперативна (операційна) зона вантажних причалів призначена для розміщення технічних об'єктів та засобів порту, що безпосередньо беруть участь у перевантажувальному процесі: причалів, складів, перевантажувального обладнання, вантажно-розвантажувальних ділянок залізничного та автомобільного транспорту, оперативні (прикордонні та тиллові) залізничні колії. Виробнича зона вантажних районів примикає до оперативної зони причалів, знаходиться за межами території, де здійснюється перевантажувальний процес. На території виробничої зони розташовуються об'єкти районного призначення: склади, що не належать до оперативної зони, районні залізничні колії, автодороги, виробничі та допоміжні будівлі та споруди. Спеціалізовані райони для контейнерів мають ряд характерних рис, відмінних від районів тарно-штучних вантажів: великі території, які потрібні для перевантаження і зберігання контейнерів:

1. Тяжке підйомно-транспортне обладнання, яке використовується для перевантажувальних операцій з великотоннажними контейнерами (мостові перевантажувачі, автотранспортні засоби, автоконтейнеровози тощо);
2. Значні зосереджені навантаження, що передаються від складування контейнерів;
3. Потужне покриття території.

Стандартно контейнерний термінал у порту має:

- причальний фронт для обробки суден-контейнеровози: один-три причали при ширині фронту в межах 15–50 метрів;
- технологічну територію для переміщення контейнерів;

- тиловий вантажний фронт для обробки автомобільного та залізничного транспорту;
- склади комплектації для проведення затарки/розтарки контейнерів (може бути винесено за межі терміналу);

- зона виконання ремонтних робіт та технічного обслуговування;
- приміщення службового та побутового призначення.

У свою чергу, технологічні майданчики розділені на кілька зон зі спеціалізацією:

- зберігання контейнерів;
- проведення оглядових операцій;
- приймання-видачі контейнерів;
- переміщення техніки до причального фронту.

Основні параметри для класифікації контейнерів – призначення, конструкція, вантажопідйомність. Класифікація контейнерів для перевезення вантажів і визначення їх призначення засновані на міжнародних стандартах ISO 668, в рамках якого всі вантажні контейнери піддаються класифікації за особливостями їх використання, ваговим та габаритним параметрами, форматом конструкції. Відмінності і аспекти прямо впливають на їх призначення, що дозволяє виявити допустимі / прийнятні види вантажів і перелік завдань, доступних для ефективного вирішення з використанням конкретної моделі транспортного обладнання.

Одні з найпопулярніших рішень для перевезення вантажів морем та, відповідно, перевантаженням, складування, транспортуванням залишаються типи контейнерів DC і HC.

- DC (Dry Cube), GP (General Purpose), DV (Dry Van) – стандартні універсальні (суховантажні) моделі типу 1CC або 1AA;
- HC (High Cube) – високий контейнер зі збільшеною місткістю типу 1CCC або 1AAA;

Для перевантаження та складування великотоннажних контейнерів спеціалізовані термінали мають відповідне обладнання. Створюються чіткі правила складування для оптимізації використання існуючих площ морських контейнерних терміналів. За нормативом для розміщення 150 TEU (контейнер у 20-футовому еквіваленті), потрібно не менше 0,4 га території.

Правила штабелювання великотоннажних контейнерів:

- складування ведеться відповідно до технологічних карт і схем, затверджених у конкретному порту;
- висота складування до 5 ярусів, але у кожному порту визначається індивідуально з урахуванням можливостей перевантажувальної техніки та допустимими навантаженнями майданчиків;
- для порожніх контейнерів штабелювання без додаткового кріплення допускається за висотою не вище двох ярусів для унеможливлення ризиків їх перекидання в негоду;
- для штабелювання з ручною установкою контейнерів у бунт передбачається наявність уступів заввишки 1 ярус для забезпечення безпеки персоналу;
- процеси навантаження/розвантаження та складування максимально механізуються з використанням мобільних козлових кранів, автонавантажувачів типу «Річстакер» та інших машин.

На сьогодні контейнерні термінали використовують кілька схем для розміщення вантажів в залежності від обладнання, типу вантажопотоку та транспортних засобів. Розглянемо основні методи розташування контейнерів на складських майданчиках вантажних терміналів морських портів.

Для вихідного контейнеропотоку (та для рефережераторних контейнерів) використовується стрічкова методика розташування (кожна стрічка для певного напрямку роботи). Розташовується вздовж або тоцем до кордону. Мінімальна кількість контейнерів в ряду від 8 одиниць із збільшенням до 80–90 одиниць. Мінімальний зазор між контейнерами збоку від 1,27 метра, з торців максимум 0,3 метра. По висоті штабелювання проводиться не вище трьох ярусів залежно від можливостей конкретного терміналу. Для робіт використовується порталний навантажувач.

За відсутності стабільного вихідного вантажопотоку використовується поперечна схема Розміщення штабелів передбачається поперек причального фронту.

Для вхідного потоку, при невеликих обсягах переробки (та для рефережераторних контейнерів), використовується баштова схема. Штабелі формуються у 2 ряди по 8–12 контейнерів у кожному. Ширина проїзду між рядами становить від 4 метрів і вище. Висота складування не більше двох ярусів із залишенням вільних місць у вежах для можливості зручної перевалки. Використовується навантажувач з бічним захватом.

При рівномірності потоку вантажу що надходить та виходить використовується поздовжньо-поперечна методика розташування контейнерів. Контейнери зберігаються в блоках з розташуванням штабелів поздовжньо і перпендикулярно до причального фронту. Для поздовжніх рядів використовується черговість контейнерів імпортного та експортного спрямування, що дозволяє оптимізувати роботу, одночасно займаючись обробкою суден-контейнеровозів, автомобільного та залізничного транспорту.

Блокова схема є адаптованою для роботи кранів або автотранспорту з бічними захватами. Розміщення контейнерів проводиться рядами з мінімальними бічними розривами та розміщенням модулів у торець один одному. Довжина блоку визначається розмірами складського майданчика. Висота штабелів становить до 3-х ярусів для завантажених контейнерів та до 5-ти ярусів для порожніх.

На терміналах, що здійснюють обробку суден типу РО-РО використовують трейлерну схему. Основою розміщення трейлерів із контейнерами є принцип під'їзду до них портових та сідельних тягачів,

Сьогодні портові термінали найчастіше оснащують наступним транспортним та перевантажувальним обладнанням:

- причальні крани-перевантажувачі (STS); з їх допомогою можна укласти до 20...22 рядів контейнерів за шириною і в 6 ярусів за висотою над палубою судна; вони працюють лише біля причалу;
- мобільні портові крани (mobile harbours cranes, MCH);
- кранові мобільні контейнерні крани на гумових пневмошинах (rubber tired gantry cranes, RTG) або на рейковому ході (rail mounted gantry cranes, RMG);
- автоконтейнеровози (staddle carriers, SC);
- навантажувачі для штабелювання порожніх контейнерів (empty container handling forklifts trucks, FLT), річстакери (reach stackers, RS) зі спредерами або мультистакери зі змінними захоплювальними органами різних типів (спредерними, крановими, вилочними, грейферними тощо);
- важкі вилочні навантажувачі контейнерів, спеціальні вилочні навантажувачі з низькою висотою для перевалки контейнерів на ролкерних суднах (rogo forklift trucks), навантажувачі з бічним вантажопідйомником та спредером;
- термінальний тягач (terminal tractor, TT) та тягачі ро-ро (rogo tractor).

Наведемо показники ефективності використання типу обладнання контейнерного терміналу порту (складського майданчика) в залежності від кількості контейнерів. При цьому площа складського майданчика визначена у розмірі 1 га.

Діапазон D-1. При кількості контейнерів в діапазоні від 0–250 TEU обґрунтовано використання тягача використовується тягача РО-РО / шасі;

Діапазон D-2. При кількості контейнерів в діапазоні від 0–500 TEU обґрунтовано використання річстакера;

Діапазон D-3. При кількості контейнерів в діапазоні від 0–750 TEU обґрунтовано використання автоконтейнеровоза;

Діапазон D-4. При кількості контейнерів в діапазоні від 0–1000 TEU обґрунтовано використання кранів RTS, ASC;

Використання складського обладнання нерозривно пов'язано з показником ефективності виробничої взаємодії сукупності вантажного обладнання безпосередньо при роботі в оперативній зоні терміналу (таблиця 1).

Таблиця 1

Показники ефективності використання сукупності портового обладнання в оперативній зоні порту

№	Показник	RS+TT	SC	RTG+TT	RTG+SHC	ASC+SHC	ASC+AGV
		варіант					
		1	2	3	4	5	6
1	Продуктивність судна	**	***	**	***	***	*
2	Автотранспорт біля воріт/на дорозі	**	***	**	***	**	**
3	Щільність складування	**	**	***	***	***	***
4	Вибірковість	*	***	**	**	**	**
5	Використання робочої сили	*	**	*	*	***	***
6	Капітальні витрати	***	**	***	**	*	*
7	Експлуатаційні витрати	**	*	***	*	**	**
8	Земельні роботи	**	***	***	**	*	*
9	Можливість автоматизації	*	**	*	**	***	***

Рівні взаємодії в таблиці 1 позначені наступним чином – *помірний, ** добрий, *** відмінний. При подальшому використанні переводимо в натуральне значення. Основні скорочення, що було використано в таблиці: RS річстакер; SC автоконтейнеровоз; RTG кран на пневмоході; ASC кран для автоматичного укладання контейнерів; SHC челночний автоконтейнеровоз; TT термінальний тягач; AGV автоматизований транспорт.

Очевидно, що в різних діапазонах (D) можливе використання різної множини номенклатури та комбінації портового обладнання. В таблиці 2 надано кількість альтернативних стратегій співвідносин портового обладнання.

Таблиця 2

Альтернативні стратегії комбінацій портового обладнання в обраних діапазонах

Діапазон	Об'єм вантажу, TEU	Кількість альтернатив
D – 1	0 – 250	7
D – 2	0 – 500	6
D – 3	0 – 750	5
D – 4	0 – 1000	4

Джерело: побудовано авторами

На прикладі діапазону D – 2 є очевидним можливістю застосування 6 альтернативних стратегій, чотири з яких (1, 3, 4, 5) характеризують продуктивність взаємодії портового обладнання. Робимо припущення про рівномірність потоку вантажу що надходить та виходить. Тож можливість використання поздовжньо-поперечного типу складування при наявності всієї лінійки портового обладнання ставить перед портовим оператором питання щодо прийняття рішення обрання оптимальної альтернативи співвідношення обладнання (об'єкт дослідження) що працює безпосередньо на складі та обладнання, що забезпечує поставку вантажу до лінії кордону з чотирьох можливих альтернатив (комбінацій). При цьому різні розміри складів, напрямлення вантажопотоків та наявність множини портового обладнання підвищує складність прийняття рішення. Тож розглянемо теоретичні методи для визначення поставленої цілі. Використовуємо декомпозицію та застосовуємо алгоритм Кеттеля.

Використовуючи метод декомпозиції, наведений в [6] визначаємо теоретично етапи формування ефективної множини альтернатив комбінацій вантажного обладнання порту в оперативній зоні портового терміналу. Спираючись на постулати теорії множин:

1. Виокремлюємо елементи G_1 , що входять в похідну множину Ω_1 :

$$\Omega_1 \subseteq G_1 \tag{1}$$

$$G_1 = \{g_{ij}\}, i = 1, n; j = 1, m \tag{2}$$

де G_1 - похідна множина об'єкту дослідження;

g_{ij} – елемент похідної множини, що розглядається в оперативній зоні порту j-го типу:

$$g_{ij} \{p_{ijk}\}, i = 1, n; j = 1, m \tag{3}$$

де p_{ijk} – параметри g_{ij} -го елемента;

k – тип параметра g_{ij} -го елемента.

2. Формуємо із множини Ω_1 допустиму множину Ω_2 , застосовуючи нормативні обмеження (типу складування):

$$\Omega_2 \subseteq G_2 \tag{4}$$

$$G_2 = \{g_{ij}^2\}, i = 1, n; j = 1, m; \tag{5}$$

де G_2 – допустима множина об'єкту дослідження;

g_{ij}^2 – елемент допустимої множини, що розглядається на відповідному складі j-го типу з відповідною схемою розташування контейнерів:

$$g_{ij}^2 \{p_{ijk}^2\}, i = 1, n; j = 1, m; k = 1, l \tag{6}$$

де p_{ijk}^2 – параметри g_{ij}^2 -го елемента;

k – тип параметра g_{ij}^2 -го елемента.

При цьому

$$\{g_{ijk}^2 \perp \forall g_{ij} (p_{ijk} \neq N_{ij})\} \tag{7}$$

де N_{ij} – множина обмежень t .

3. Надалі формуємо робочу множину Ω_3 з допустимої Ω_2 , застосовуючи обмеження зі наявності сполучень типів обладнання (з виключенням автоматизації):

$$\Omega_3 \subseteq G_3 \tag{8}$$

$$G_3 = \{g_{ij}^3\}, i = 1, n; j = 1, m; \tag{9}$$

де G_3 - робоча множина об'єкту дослідження;

g_{ij}^3 – елемент допустимої множини, що розглядається на відповідному складі j-го типу з відповідною схемою розташування контейнерів:

$$g_{ijk}^3 \{P_{ijk}^3\}, i = 1, n; j = 1, m; k = 1, l \tag{10}$$

де P_{ijk}^3 – параметри g_{ij}^3 -го елемента;
 k – тип параметра g_{ij}^3 -го елемента.

При цьому

$$\{g_{ijk}^3 \perp \forall g_{ijk}^2 \in J_v\} \tag{11}$$

де J_v – типи сполучень портового обладнання після перевірки системи на працездатність, $v=1, z$.

4. На основі отриманої множини Ω_3 , формуємо множину Ω через застосування принципу Паретто для виключення неефективних результатів:

$$\Omega_3 \subseteq \Omega \tag{12}$$

Для множини що виявлена справедливе наступне:

виключаються неконкурентні показники шляхом їх ранжування по зростанню експлуатаційних витрат (R_y) при використанні кожного сполучення, що входять область дослідження:

$$R_1 < R_2 < \dots < R_y \tag{13}$$

виключаються неконкурентні показники шляхом їх ранжування по зниженню показника продуктивності судна (P_y) при використанні кожного сполучення, що входять область дослідження:

$$P_1 > P_2 > \dots > P_y \tag{14}$$

виключаються неконкурентні показники шляхом їх ранжування по зниженню часового показника (встановлюється заздалегідь емпіричним шляхом) від зниження експлуатаційних витрат (ΔT_y) та підвищення продуктивності ($\Delta T'_y$) відповідно:

$$\Delta T_1 > \Delta T_2 > \dots > \Delta T_y \tag{14}$$

$$\Delta T'_1 > \Delta T'_2 > \dots > \Delta T'_y \tag{15}$$

Спираючись на деякі показники ефективності використання сукупності портового обладнання в оперативній зоні порту (показники 1,7) та відповідної кількості альтернативні стратегії портового обладнання в обраному діапазоні (6 альтернатив) приведемо реалізацію метода. При першій постановці максимальна кількість R_y не повинна перевищувати 2 – значення показника. При другій постановці P_y не повинна приймати значення менше, ніж 2 – значення показника. При третій та четвертій постановці значення кожного з показників (ΔT_y) та ($\Delta T'_y$) не повинно перевищувати 3 – значення показника. Сформована відповідним чином похідна множина Ω_1 (таблиця 3) в результаті реалізації запропонованого алгоритму, вводючи обмеження та визначаючи домінуючі послідовності, набуває відповідного трансформування (таблиця 4).

Таблиця 3

Похідна множина Ω_1

Варіант	№ варіанту	№ не реалізованих композицій	R_y	ΔT_y	P_y	$\Delta T'_y$
	0	1,2,3,4,5	0	0	0	0
V1	1	2,3,4,5	2	3	2	3
V2	2	1,3,4,5	3	6	3	6
V3	3	1,2,4,5	2	4	3	4
V4	4	1,2,3,5	3	2	2	3
V5	5	1,2,3,4	1	1	1	2

Джерело: побудовано авторами

Таблиця 4

Підсумкова домінуюча послідовність використання композицій портового обладнання при реалізації виробничих процесів з контейнерним вантажопотоком

Варіант	№ варіанту	№ нереалізованих композицій	R_y	P_y	ΔT_y	$\Delta T'_y$
V1	1	2,3,4,5	2	2	3	3
V4	4	1,2,3,5	3	2	2	3

Джерело: побудовано авторами

В результаті рішення було встановлено, що в оперативній зоні порту домінуючою послідовністю використання комбінацій RS – TT та RTG – SHC. При цьому використання комбінації RS – TT є пріоритетною за встановленими обмеженнями.

Висновки

В роботі на основі одного з методів динамічного програмування вирішена задача визначення домінуючої послідовності використання комбінацій портового обладнання при реалізації виробничих процесів з контейнерним вантажопотоком. Попередньо встановлено зону портового терміналу для дослідження, визначено відповідність площі складського майданчика нормативним складовим. В залежності від напрямку вантажопотоку встановлено схему складування великотонажних контейнерів на складському майданчику терміналу порту. Визначено типи та комбінації вантажного обладнання порту, що можуть бути використаними. Обрано показники ефективності використання сукупності портового обладнання: експлуатаційні витрати та продуктивність судна. Визначено діапазон та альтернативні стратегії портового обладнання в обраному діапазоні.

Для реалізації метода за допомогою одного з методів динамічного програмування сформована відповідна похідна множина Ω_1 , введені обмеження за показниками ефективності використання сукупності портового обладнання та показниками часу. В результаті визначено домінуючі послідовності комбінацій портового обладнання одна з яких є пріоритетною за встановленими обмеженнями.

Очевидно, що застосування даної процедури дозволяє не тільки виключити можливість самих комбінацій, але й їх наступні композиції. Таку методику можливо використовувати як на одному елементі портової інфраструктури (оперативній зоні), так і застосовувати інші композиційні об'єднання.

Список використаної літератури

1. Zhang Q., Yang H., Zhang L. Multi-objective Model on Connection Time Optimization in Sea-rail Intermodal Transport //GSTF Journal of Engineering Technology (JET). 2014. Т. 3. №. 1. P.12–118 DOI: 10.5176/2251-3701_3.1.118
2. Postan M. Y., Kurudzhi Y. V. Modeling the influence of transport units movements irregularity on storage level of cargo at warehouse //Acta Systemica. 2012. Т. 12. №. 1. С. 31-36. ISSN 1813-4769
3. Крук Ю. Ю., Постан М. Я. Разработка и анализ динамической модели оптимизации взаимодействия транспортных потоков на портовом терминале //Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. Т. 1. №. 3 (79). С. 19-23. doi: 10.15587/1729-4061.2016.61154
4. Yan B. et al. Transshipment operations optimization of sea-rail intermodal container in seaport rail terminals // Computers & Industrial Engineering. 2020. Т. 141. С. 106296. doi.org/10.1016/j.cie.2020.106296
5. Куруджи Ю.В., Ромаха В.Л. Моделирование ланцюгів поставок портовим оператором в умовах мультимодальності // Вісник Херсонського національного технічного університету. 2022. №. 3(82). 103–111. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.3.14>
6. Ромаха В. Л. Формирование эффективного множества альтернатив в решении задач кластерной оптимизации // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2019. №. 3. С. 151-155. ICV 2017: 48.35, ISSN 1998-7927
7. Kirillova, Ye., & Malaksiano, M. (2017). Substantiation of structure of the port handling equipment fleet based on a multicriteria approach. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(3(89)), 52-59. <https://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2017.111971>
8. Тихонін В. І. Комплекс імітаційних динамічних моделей оптимізації параметрів технологічних перевантажувальних комплексів порту / В. І. Тихонін // Розвиток транспорту. 2018. Вип. 2. С. 32-46. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/transdevel_2018_2_6.
9. Оптимальные задачи надежности // под ред. Ушакова М. 1968. 293с.
10. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю., Ромаха В.Л. Улаштування та обладнання портів: навчальний посібник / О.В. Кириллова, В.Ю. Кириллова, В.Л. Ромаха. Одеса, 2023. 167 с.

References

1. Zhang, Q., Yang, H., & Zhang, L. (2014) Multi-objective Model on Connection Time Optimization in Sea-rail Intermodal Transport. GSTF Journal of Engineering Technology (JET). no. 3(1). doi: 10.5176/2251-3701_3.1.118.
2. Postan, M. Y., & Kurudzhi, Y. V. (2012) Modeling the influence of transport units movements irregularity on storage level of cargo at warehouse. Acta Systemica, no. 12(1), pp. 31-36. ISSN 1813-4769.
3. Kruk, Yu. Yu., & Postan, M. Ya. (2016) Development and analysis of a dynamic model for optimizing the interaction of traffic flows at the port terminal. East European Journal of Advanced Technologies, no. 1(3(79)), pp. 19-23. doi: 10.15587/1729-4061.2016.61154.
4. Yan B. et al. (2020) Transshipment operations optimization of sea-rail intermodal container in seaport rail terminals // Computers & Industrial Engineering. Т. 141. С. 106296. doi.org/10.1016/j.cie.2020.106296

5. Kurudzhi Yu.V., Romakh V.L. (2022) Modeling of supply chains by a port operator in conditions of multimodality. Bulletin of the Kherson National Technical University. no. 3(82). pp. 103–111. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.3.14>
6. Romakh V. L. (2019) Formation of an effective set of alternatives in solving problems of cluster optimization. Bulletin of Volodymyr Dahl Khidnoukrainian National University. no. 3, pp. 151-155. ICV 2017: 48.35, ISSN 1998-7927.
7. Kirillova, Ye., & Malaksiano, M. (2017). Substantiation of structure of the port handling equipment fleet based on a multicriteria approach. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(3(89)), 52-59. <https://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2017.111971>
8. Tikhonin V. I. (2018) Complex of simulated dynamic models of optimization of parameters of technological transshipment complexes of the port. Development of transport. Issue 2. pp. 32-46. http://nbuv.gov.ua/UJRN/transdevel_2018_2_6.
9. Ushakova M. (ed.) (1968) Optimum problems of reliability. Under the editorship. 293p.
10. Kirillova O.V., Kirillova V.Yu., Romakh V.L. (2023) Arrangement and equipment of ports: training manual. Gypsy. Odesa. 167 P.