

УДК 656.073.235

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ КОНТЕЙНЕРНОЇ ПЛОЩАДКИ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ГРАФІВ

Д-р техн. наук Є. С. Альошинський, канд. техн. наук А. О. Ковальов,
магістрант О. І. Іванюк

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ КОНТЕЙНЕРНОЙ ПЛОЩАДКИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ

Д-р техн. наук Е. С. Алёшинский, канд. техн. наук А. А. Ковалёв,
магистрант А. И. Иванюк

IMPROVEMENT OF CONTAINER YARD OPERATION TECHNOLOGY BASED ON GRAPH THEORY

Doct. of techn. sciences E. Alyoshinsky, cand. of techn. sciences A. Kovalov,
master student O. Ivaniuk

Розглянуто технологічний процес обробки контейнерних потоків на вантажних станціях. На основі теорії графів побудовано математичну модель, що описує процес роботи козлового крана на контейнерній площадці. Виходячи з математичної моделі, запропоновано оптимізаційну задачу, розв'язання якої дає змогу раціоналізувати переміщення козлового крана на контейнерній площадці за обраним критерієм.

Ключові слова: контейнерні перевезення, залізнична інфраструктура, контейнерна площадка, раціоналізація роботи, теорія графів.

Рассмотрен технологический процесс обработки контейнерных потоков на грузовых станциях. На основе теории графов построена математическая модель, описывающая процесс работы козлового крана на контейнерной площадке. Исходя из математической модели, предложена оптимизационная задача, решение которой позволяет рационализировать перемещение козлового крана на контейнерной площадке по выбранному критерию.

Ключевые слова: контейнерные перевозки, железнодорожная инфраструктура, контейнерная площадка, рационализация работы, теория графов.

Analyzed the feasibility of railway infrastructure development for the container flows processing. Considered the technological process of processing containers at freight stations. Proposed the mathematical model that describes the container yard operation technology based on the methods of graph theory. Formulated optimization problem, based on the proposed mathematical model, the solution of which will allow to optimize the movement of the gantry crane on the container yard, in the processing of container flows. As an optimality criteria is proposed gantry crane's runs, the time and energy to move. There is the possibility of formulating a multicriterial optimization problem, based on the proposed model. In the future, possible to use the presented model as a basis for the development container yard employee's workstation, through the establishment of appropriate decision support system.

Keywords: container shipping, railway infrastructure, container yard, work rationalization, graph theory.

Вступ. Вигідне географічне розташування дає Україні значний потенціал для розвитку економіки. Міжнародні вантажопотоки з країн Азії до країн Європи мають тенденцію до зростання з кожним роком. Обмежена пропускна спроможність країн-транзитерів, значні витрати на перевезення змушують виробників шукати нові шляхи надходження вантажів до споживачів. Задача України полягає в удосконаленні технології обробки вантажопотоків для розвитку свого транзитного потенціалу [1].

Незважаючи на тимчасово негативну динаміку зміни обсягів вітчизняних залізничних перевезень останніми роками, частка вантажів, що перевозяться в контейнерах, поступово зростає. Така тенденція вимагає розвитку контейнерних перевезень з метою підвищення ефективності роботи залізниць.

Важливим етапом контейнерних перевезень є процес навантаження-вивантаження контейнерів на контейнерних площадках. Цей етап є енерго- та часовитратним, проходить під впливом сезонних коливань та нерівномірностей. Наявність визначених факторів обумовлює необхідність створення нових і розвитку існуючих способів планування та управління роботою контейнерних площадок, що дають можливість раціоналізувати використання навантажувально-розвантажувальних пристроїв і зменшити непродуктивні простой транспортних засобів.

Аналіз попередніх досліджень. Технологія роботи контейнерних площадок, як невід’ємна частина процесу обробки контейнерних потоків, розглядається у роботах [2, 3, 4, 5]. Але в цих дослідженнях недостатньо уваги приділено питанню удосконалення технології роботи навантажувально-розвантажувальних пристроїв на контейнерній площадці.

Доцільність удосконалення технології роботи козлового крана на контейнерній площадці доводиться у дослідженнях [6, 7].

Слід більше уваги зосередити на специфіці роботи навантажувально-розвантажувального пристрою саме на залізничній контейнерній площадці.

У роботі [8] використано генетичні алгоритми для раціоналізації роботи козлового крана на контейнерному терміналі.

Мета дослідження. Метою дослідження є розроблення математичної моделі, що дасть змогу автоматизувати процес формування плану навантажувально-розвантажувальної роботи козлового крана.

Основна частина дослідження. Контейнерні площадки, як правило, складаються з території, що відведена під короткотермінове зберігання контейнерів, навантажувально-розвантажувального пристрою – козлового крана (далі – кран) та підкранових колій (рис. 1) [9]. Площадки розділені на ділянки та секції, кожна з яких спеціалізована під окремий тип контейнерів. Підкранові колії розташовані вздовж площадки. Паралельно до однієї з підкранових колій розташовано залізничну колію для подавання-забирання вагонів. Кран у процесі переміщення по площадці виконує навантаження-розвантаження контейнерів на рухомий склад.

Множину варіантів переміщення крана можна зобразити у вигляді зваженого двочасткового орієнтованого графа

$G = (V = (W \cup U), E)$ (рис. 2). Множина

вершин графа V – це загальна кількість точок простору p , в яких кран здійснює забирання-встановлення контейнера.

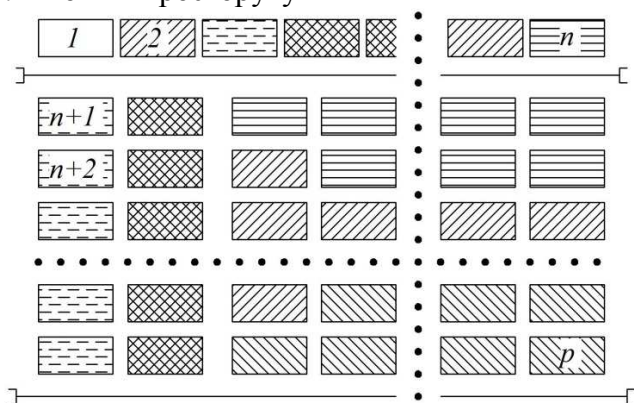
Перша частка графа $W \subset V$ – множина з n

контейнерів, що надійшли під

розвантаження, друга частка графа $U \subset V$ –

множина з $(p - n)$ контейнерних місць на площадці. Множині дуг графа E поставлено у відповідність ваги $e_{i,j}$, що характеризують переміщення крана з i -ї точки простору у

j -ту, відповідно до обраного критерію (відстань переміщення, витрати часу або енергії на переміщення). Відповідно до властивості двочастковості, дуги з'єднують вершини, що містяться у різних частках графа [10].








-  – контейнери, що підлягають ремонту;
-  – порожні контейнери;
-  – транзитні контейнери;
-  – місцеві контейнери, що підлягають відправленню залізницею;
-  – місцеві контейнери, що підлягають вивозу автотранспортом.

Рис. 1. Спрощена схема контейнерної площадки

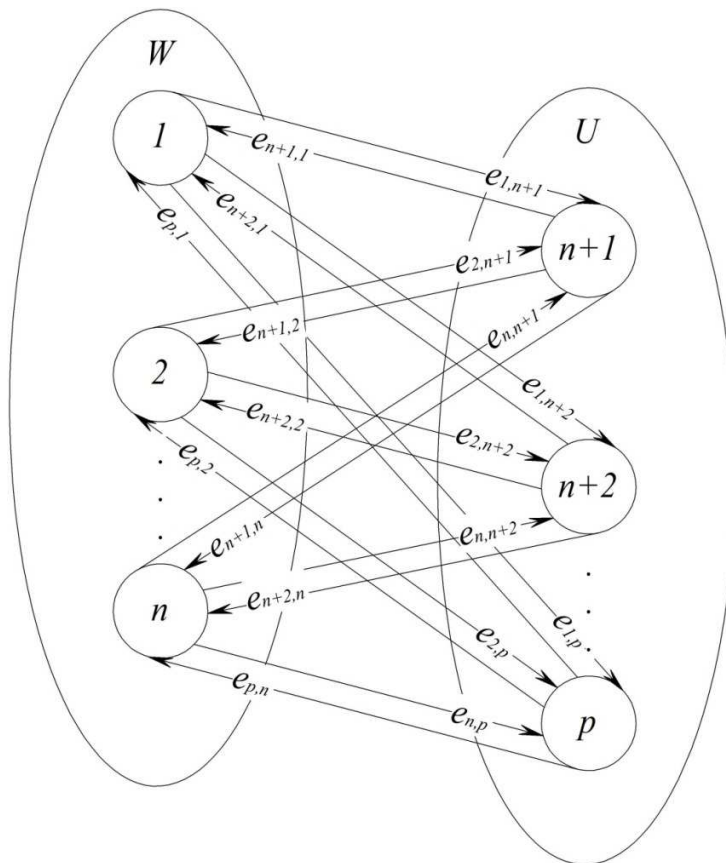


Рис. 2. Зважений двочастковий граф множини варіантів переміщення крана

Виходячи з поставленої задачі та її графового опису, процес раціоналізації роботи крана зводиться до пошуку маршруту мінімальної довжини на графі, що включає усі вершини першої частки

оптимізаційну задачу з цільовою функцією (1) та системою обмежень (2) [11].

$$X(x_{i,j}) = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p x_{i,j} \cdot e_{i,j} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$W \subset V$. В математичному вигляді маємо

$$\begin{cases} p \geq 2n; \\ x_{i,j} \in \{0; 1\}; \\ x_{i,j} = \begin{cases} 0, \text{ якщо перехід з } i \text{ в } j \text{ не включається;} \\ 1, \text{ якщо перехід з } i \text{ в } j \text{ включається;} \end{cases} \\ \sum_{i=1}^p x_{i,j} = 1, \forall j = \overline{1, p}; \\ \sum_{j=1}^p x_{i,j} = 1, \forall i = \overline{1, p}; \\ u_i - u_j + 2n \cdot x_{i,j} \leq 2n - 1, (i = \overline{1, p}, j = \overline{1, p}); \end{cases} \quad (2)$$

де $x_{i,j}$ – булева змінна;

$e_{i,j}$ – вага дуги графа, що з'єднує вершини i та j ;

u_i, u_j – змінні, які набувають значення порядкових номерів вершин.

Розв'язанням поставленої задачі є матриця-вектор $X^* = (x_{i,j}^*) (i = \overline{1, p}; j = \overline{1, p})$, яка задовольняє умови (2) і при якій цільова функція (1) набуває найменшого значення [11].

Для розв'язання поставленої оптимізаційної задачі необхідно сформулювати матрицю суміжності зваженого двочасткового графа $(e_{i,j})$ (3). Матриця складається з елементів, що відповідають вагам дуг графа $e_{i,j}$. Забороненим переходам (між вершинами однієї частки або між невідповідними одна одній вершинами через спеціалізацію ділянок та секцій площадки) в матриці суміжності приписується вага ∞ .

$$(e_{i,j}) = \begin{pmatrix} \infty & \infty & \dots & \infty & e_{1,n+1} & e_{1,n+2} & \dots & e_{1,p} \\ \infty & \infty & \dots & \infty & e_{2,n+1} & e_{2,n+2} & \dots & e_{2,p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \infty & \infty & \dots & \infty & \infty & \infty & \dots & \infty \\ e_{n+1,1} & e_{n+1,2} & \dots & \infty & \infty & \infty & \dots & \infty \\ e_{n+2,1} & e_{n+2,2} & \dots & \infty & \infty & \infty & \dots & \infty \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{p,1} & e_{p,2} & \dots & \infty & \infty & \infty & \dots & \infty \end{pmatrix}. \quad (3)$$

На першому етапі формується матриця $(l_{i,j})$, що характеризує пробіги крана. Ця матриця визначається за формулою:

$$(l_{i,j}) = (l_{i,j}^k) + (l_{i,j}^g), \quad (4)$$

де $(l_{i,j}^k)$ – матриця, елементи якої є відстанями переміщення крана по підкранових коліях;

$(l_{i,j}^g)$ – матриця, елементи якої є відстанями переміщення візка по мосту крана.

Матриці $(l_{i,j}^k)$ та $(l_{i,j}^e)$ формуються на основі координат контейнерів на колії подачі (встановлюються на основі інформації про розміщення контейнерів у вагонах і вагонів у подачі) та координат контейнерних місць на площадці шляхом знаходження різниці відповідних координатних складових.

У [9] вказано, що контейнери, які вивантажуються з вагонів, доцільно встановлювати на найближче до вагона вільне місце, тобто за критерій приймається мінімум пробігів крана, без декомпозиції переміщень крана на складові. Рационалізація роботи крана з дотриманням наведеної рекомендації досягається при розв'язанні оптимізаційної задачі (1), коли $(e_{i,j}) = (l_{i,j})$.

З нормативних документів [12] встановлено, що швидкості переміщення візка по мосту та крана по підкранових коліях відрізняються. З метою мінімізації часу навантаження-розвантаження вагонів, як ваги двочасткового графа доцільно використовувати час на переміщення контейнера замість відстаней. У цьому випадку необхідно сформувавши матрицю суміжності $(t_{i,j})$, елементами якої є час на переміщення контейнера від вершини i до вершини j . Ця матриця визначається за формулою:

$$(t_{i,j}) = V_k \cdot (l_{i,j}^k) + V_e \cdot (l_{i,j}^e), \quad (5)$$

де V_k – швидкість переміщення крана по підкранових коліях;

V_e – швидкість переміщення візка по мосту крана.

Аналізуючи роботу крана можна встановити, що витрати енергії на переміщення крана по підкранових коліях та візка по мосту крана відрізняються. Оптимізуючи витрати енергії на переміщення, необхідно сформувавши матрицю суміжності $(c_{i,j})$ за формулою:

$$(c_{i,j}) = \sigma_k \cdot (l_{i,j}^k) + \sigma_e \cdot (l_{i,j}^e), \quad (6)$$

де σ_k – витрати енергії на переміщення крана по підкранових коліях;

σ_e – витрати енергії на переміщення візка по мосту крана.

На основі трьох наведених матриць, які базуються на запропонованих критеріях, доцільно в подальшому сформувавши багатокритеріальну оптимізаційну задачу, що дасть змогу комплексно рационалізувати роботу крана.

Висновки. Запропонована математична модель дає можливість рационалізувати роботу контейнерної площадки шляхом формалізації процесу формування плану роботи козлового крана.

Зважаючи на велику розмірність сформульованої задачі, розв'язання доцільно виконувати за допомогою ЕОМ з використанням кластерного аналізу та стохастичних методів оптимізації (мурашиний алгоритм, алгоритм імітації відпалу, генетичний алгоритм).

На базі моделі, в подальшому, можливе удосконалення автоматизованого робочого місця прийомоздавальника вантажу контейнерного пункту шляхом створення додаткової системи підтримки прийняття рішень (СППР).

Список використаних джерел

1. Іванюк, О.І. Створення інтегрованого інформаційного простору з метою управління ланцюгами постачань. Я бачу так! [Текст] / О.І. Іванюк, Є.С. Альошинський // Студентська науково-дослідна робота. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 28 с.
2. Альошинський, Є. С. Розробка моделі функціонування пунктів переробки контейнерних вантажів з використанням мереж Петрі [Текст] / Є. С. Альошинський, Д. В. Ломотько // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2008. – №1/2(31). – С. 29-31.

3. Ковальов, А. О. Удосконалення технології переробки контейнерів на станції за допомогою ПЕОМ [Текст] / А.О. Ковальов, О.О. Нестеренко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 140. – С. 9-13.
4. Carlo, H.J. Storage yard operations in container terminals: Literature overview, trends, and research directions [Text] / H.J. Carlo, I.F.A. Vis, K.J. Roodbergen // European journal of operational research. – 2014, Jun. – Vol. 235, № 2. – P. 412-430.
5. Carlo, H.J. Transport operations in container terminals: Literature overview, trends, research directions and classification scheme [Text] / H.J. Carlo, I.F.A. Vis, K.J. Roodbergen // European journal of operational research. – 2014, Jul. – Vol. 236, № 1. – P. 1-13.
6. Wang, L. Rail mounted gantry crane scheduling optimization in railway container terminal based on hybrid handling mode [Text] / L. Wang, X. Zhu // Computational intelligence and neuroscience. – 2014, Jan. – Vol. 2014, Art. №. 31. – 8 p.
7. Wu, Y. Scheduling multiple yard cranes with crane interference and safety distance requirement [Text] / Y. Wu, W. Li, M.E.H. Petering, [et al] // Transportation Science. – 2015. – Vol. 49, №. 4. – P. 990-1005.
8. Guo, P. Gantry crane scheduling with interference constraints in railway container terminals [Text] / P. Guo, W. Chenga, Z. Zhanga [et al] // International Journal of computational intelligence systems. – 2013. – Vol. 6, № 2. – P. 244-260
9. Смехов, А. А. Управление грузовой и коммерческой работой на железнодорожном транспорте [Текст] : учебн. для вузов / А.А. Смехов, В.В. Повороженко, А.Т. Дерibas и др.; под ред. А.А. Смехова. – М. : Транспорт, 1990. – 351 с.
10. Трохимчук, Р. М. Теорія графів [Текст] : навч. посібник для студентів факультету кібернетики / Р. М. Трохимчук. – К. : РВЦ «Київський університет», 1998. – 43 с.
11. Наконечний, С. І. Математичне програмування [Текст] : навч. посібник / С. І. Наконечний, С. С. Савіна. – К. : КНЕУ, 2003. – 452 с.
12. ГОСТ 7352-88. Краны козловые электрические. Типы [Текст]. – Введ. 1990-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 14 с.

Альошинський Євген Семенович, доктор технічних наук, професор, кафедра транспортних систем та логістики, Український державний університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-55. E-mail: aesevgeny@gmail.com.
Ковальов Антон Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-85. E-mail: kovalovanton1979@gmail.com.
Іваниук Олександр Ігорович, магістрант, кафедра управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: ivaniuk.alex94@gmail.com.

Alyoshinsky Evgeny, doctor of technical sciences, professor, department of transport systems and logistics, Ukrainian state university of railway transport. Tel.: (057) 730-19-55. E-mail: aesevgeny@gmail.com.
Kovalov Anton, candidate of technical sciences, assistant professor, department of management of freight and commercial work, Ukrainian state university of railway transport. Tel.: (057) 730-10-85. E-mail: kovalovanton1979@gmail.com.
Ivaniuk Oleksandr, master student, department of management of freight and commercial work, Ukrainian state university of railway transport. E-mail: ivaniuk.alex94@gmail.com.

Стаття прийнята 14.06.2016 р.