

К.В. Крячко, доц., канд. техн. наук, **В.В. Кулешов**, доц., канд. техн. наук, **А.М. Шрамко**
Український державний університет залізничного транспорту м. Харків, Україна
e-mail: krackokaterina@gmail.com

Раціоналізація роботи перевантажувальних кранів на контейнерних терміналах вантажних станцій

В статті розглядається питання ефективності використання технічного оснащення контейнерних терміналів та раціоналізації роботи перевантажувальних засобів та економічного обґрунтування необхідної їх кількості на розрахунковий термін експлуатації з урахуванням виділення капіталовкладень в умовах обмежених ресурсів.

У випадку коли контейнерну площадку обслуговує декілька перевантажувальних засобів, то простій однієї групи вагонів залежить від простою інших перевантажувальних засобів.

Таким чином впровадження раціональної технології управління навантажо-розвантажувальними засобами повинне відповідати такій конструкції вантажної станції та контейнерного терміналу, що дала б можливість у повній мірі реалізувати усі розрахункові параметри з найменшими експлуатаційними витратами.

контейнерний термінал, перевантажувальні засоби, вантажні станції, капітальний ремонт, коефіцієнт надійності

Постановка проблеми. Згідно з Національною транспортною стратегією України [1] основна частина вантажів, крім масових, заплановано до перевезення в контейнерах, тому із загальної кількості вантажних станцій загального користування більше половини виконують роботу з навантаження-вивантаження контейнерів козовими кранами на контейнерних терміналах і лише 30% невеликих станцій [2] мають контейнерні площадки з роботою автокранів.

Серед різних видів кранів 10% вимагають капітального ремонту і 10% - підлягає списанню. На третині контейнерних терміналів відсутні автостропи, що збільшує експлуатаційні витрати на утримання додаткового штату і значно скорочує ефективність використання перевантажувальних засобів, простої яких щорічно складають біля 100 тис. год. [3] з яких приходиться на простої при виконанні ручних операцій, 70% через відсутність роботи та 20% через несправність відповідних механізмів.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Половина вантажних станцій загального користування та 20% механізованих дистанцій на даний час не мають відповідної бази та обладнання для ремонту кранів, автостропів, електрообладнання та ін [4].

Постановка завдання. Після вирішення задач по приведенню технічного оснащення контейнерних терміналів до належного рівня [5] виникає необхідність раціоналізації роботи кранів та економічного обґрунтування необхідної їх кількості на розрахунковий термін експлуатації з урахуванням виділення капіталовкладень в умовах обмежених ресурсів, що викликає поетапне технічне переоснащення після виконання капітальних ремонтів зі зменшенням рівня надійності роботи механізмів.

Виклад основного матеріалу. Результати досліджень показали, що коефіцієнт надійності на T-му році, в залежності від розрахункового строку експлуатації (Tr) можна визначити

$$\gamma_t = 0,9^{n_{кр}} \exp(-t_i / T_p), \quad (1)$$

де $n_{кр}$ – число капітальних ремонтів для даного НРМ,
 t_i – поточний рік роботи НРМ

Оптимальне число НРМ пропонується визначати за допомогою функціонала Беллмана

$$R_{t, \dots, n-1}^* = \min_{\Delta K_t}^{1, 0,8^{-t}} \{g_t(K_{t-1}, \Delta K_t) + R_{t+1, \dots, n-1}^*[f(K_{t-1}, \Delta K_t)]\}$$

при обмеженнях $0 \leq \Delta K_t \leq \Delta K_t^{\max}; K_{t-1}^{\min} \leq K_{t-1} \leq K_{t-1}^{\max}$ (2)

де $1,08^{-t}$ – коефіцієнт віддалення капіталовкладень з нормативом приведення різнорічних витрат $0,08$.

При цьому $K_t^{\min} = z_t^{\min} K_z; Z_t^{\min} = N_{k_0} / T_z \Pi_0 \gamma_t X_n$, (3)

де Z – число НРМ на t -му році експлуатації;

K_z – вартість одного НРМ;

ΔK_t – додаткові капіталовкладення при зміні числа контейнеро-операцій (N_{k_0}) на t -му році;

T_z – тривалість роботи НРМ на протязі доби на t -му році;

Π_0 – номінальна продуктивність НРМ;

X_n – число подач вагонів на протязі T_z .

Функція $g_t(K_{t-1}, \Delta K_t)$ – це сумарні приведені витрати на t -му році на технічне оснащення терміналу з урахуванням експлуатаційних витрат на маневрову роботу та простої рухомого складу.

Функціонал $R_{t+1, \dots, n-1}^*[f(K_{t-1}, \Delta K_t)]$ – це сумарні витрати за період одного або декількох етапів (від $t+1$ до $n-1$), які передують t -му етапу. Стан системи у $t-1$ році будуть визначати кошти, що виділяються на цей рік, а додаткові кошти на переоснащення у t -му році (ΔK_t) – управління, яке впливає на стан системи, при цьому обмеженням буде

$$K_t^{\min} - K_{t-1} \leq \Delta K_t \leq K_t^{\max} - K_{t-1}. \quad (4)$$

Аналіз результатів моделювання показав, що на оптимальне значення НРМ в першу чергу впливає їх продуктивність та обсяг контейнеро-операцій, крім того суттєвий вплив чинить технологія обробки вагонів [6], підготовка подач та їх тривалість, яка залежить від схеми станції та колійного розвитку вантажних фронтів.

Однією з основних проблем оптимального управління перевантажувальними процесами [7] є вибір раціональної стратегії управління НРМ в межах виконання робочого циклу, коли дальність їх переміщення при розрахункових швидкостях і прискореннях руху є визначальною з урахуванням обмежень, що накладаються на параметри управління, які визначаються конструктивними та експлуатаційними умовами (допустимими швидкостями та прискореннями для конкретного вантажного

фронту [8], максимальними тяговими зусиллями, експлуатаційною продуктивністю, ємністю площадки і ін.). Критеріями оптимізації можуть бути вартісні параметри на виконання основних операцій робочого циклу з урахуванням енергетичних витрат у залежності від дальності переміщення НРМ. Ці витрати визначаються окремо на протязі початково-кінцевих відрізків шляху [9] та під час стабільного руху за допомогою цільової функції E

$$F(E) = E_{en} + E_{cm} + E_{ek} \quad (5)$$

при системі обмежень: $P_{\min} \leq P_T \leq P_{\max}; P_{\max} \leq P_{кр}$

$$P_T \geq P_w + P_{ce}; l_n + l_k \leq l_{вф}; l_n \leq V_{ном} t_n; \quad (6)$$

де E_{en}, E_{ek} – експлуатаційні витрати при виконанні, відповідно, початкових та кінцевих операцій;

E_{cm} – експлуатаційні витрати при стабільній швидкості руху;

P_T – тягові зусилля;

P_w, P_{ce} – сила опору руху та середовища і вітру;

l_n, l_k – довжина переміщення при виконанні, відповідно, початкових та кінцевих операцій;

$l_{вф}$ – довжина вантажного фронту;

t_n – тривалість виконання початкових операцій.

Висновки:

1. Аналіз результатів моделювання роботи контейнерних терміналів показав, що для конкретних вихідних даних оптимальна довжина l_n складає від 2,4м до 5,3м, l_{cm} - від 26 до 43м і l_k від 1,7м до 3,9м, а тому довжина вантажного фронту для організації оптимального процесу управління НРМ повинна знаходитися у межах від 30 до 50м, тобто на довжину трьох-чотирьох вагонів.

2. На існуючих вантажних станціях довжина площадок для розміщення контейнерів складає від 100 до 300м і більше. Інтенсивність використання довжини вантажного фронту дуже незначна, що викликає великий обсяг маневрової роботи, міжопераційні простої НРМ і рухомого складу.

3. Якщо дану площадку обслуговує декілька кранів, то простій однієї групи вагонів залежить від простою інших кранів. Отже впровадження оптимальної технології управління НРМ повинне відповідати такій конструкції станції та контейнерного терміналу, яка б дала можливість у повній змозі реалізувати розрахункові параметри з мінімальними експлуатаційними витратами [10].

Список літератури

1. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р., № 430-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> (дата звернення: 27.10.2021)
2. Зелена книга. Залізничні вантажні перевезення / Мельник З.І. та ін.; за ред. Дороганя О.В. та ін. Київ, 2021. 134 с.
3. Звіт про технічний стан залізниць України. Міністерство інфраструктури України, 2021. URL: <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-pro-ukrainski-zalznici.html> (дата звернення: 29.10.2021).

4. Ломотько Д. В., Головань К. Р. Аналіз сучасного стану ринку контейнерних перевезень та напрямки його розвитку на маршруті Китай-Україна-ЄС. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2021. Вип. 195. С. 70-78.
5. Костенніков О. М. Перспективи розвитку контейнерних поїздів у напрямку міжнародних транспортних коридорів та територією УКРАЇНИ. URL: <http://csw.kart.edu.ua/article/view/93051> (дата звернення 07.11.2020).
6. Lomotko D. V., Prymachenko H. O., Hryhorova Y. I. The Role of Ukrainian Railway Transport in Modern Logistic Processes. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. Science and Transport Progress*. 2019. № 5 (83). P. 43–51. URL: <http://stp.diit.edu.ua/article/download/184487/188350> (last accessed 20.11.2020).
7. Стройко Т. В. Сучасний стан залізничної галузі як важливого елементу національної інфраструктури. *Журнал «Економіст»*. 2016. №10. С.14-18.
8. Лаврухін А. В. Вантажні перевезення на залізничному транспорті. Харків: УкрДУЗТ, 2015.
9. Тарифне керівництво №4 . Київ: Нормативно-правова база Укрзалізниці, 2015.
10. Окорочков А. М. Аналіз перспектив розвитку ринку контейнерних перевезень в Україні. *Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2015. № 10. С. 98–104.

References

1. Pro skhvalennia Natsional'noi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku: rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30 travnia 2018 r., № 430-r. [On approval of the National Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2030: order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of May 30, 2018, № 430-r.]. *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>. [in Ukrainian].
2. Melnyk, Z.I et al. (2021). Zelena knyha. Zaliznychni vantazhni perevezennia [Green Paper. Railway freight transportation]. O.V.Doroganya (Ed.). Kyiv [in Ukrainian].
3. Zvit pro tekhnichnyj stan zaliznyts' Ukrainy. Ministerstvo infrastruktury Ukrainy [Report on the technical condition of the railways of Ukraine. Ministry of Infrastructure of Ukraine]. (2021). *mtu.gov.ua*. Retrieved from <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-pro-ukrainski-zalznici.html> [in Ukrainian].
4. Lomotko, D.V. & Golovan, K.R. (2021). Analiz suchasnoho stanu rynku kontejnerykh perevezen' ta napriamky joho rozvytku na marshruti Kytaj-Ukraina-ES [Analysis of the current state of the container market and directions of its development on the route China-Ukraine-EU]. *Collection of scientific works of UkrDURT, issue. 195, 70-78* [in Ukrainian].
5. Kostennikov, OM (2013). Perspektyvy rozvytku kontejnerykh poizdiv u napriamku mizhnarodnykh transportnykh korydoriv ta terytoriiu UKRAYNY [Prospects for the development of container trains in the direction of international transport corridors and the territory of UKRAINE]. Retrieved from <http://csw.kart.edu.ua/article/view/> [in Ukrainian].
6. Lomotko, D.V., Prymachenko, H.O. & Hryhorova, Y.I. (2019). The Role of Ukrainian Railway Transport in Modern Logistic Processes. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. Science and Transport Progress*. № 5 (83). P. 43–51. Retrieved from <http://stp.diit.edu.ua/article/download/184487/188350> [in English].
7. Stroyko, T.V. (2016). Suchasnyj stan zaliznychnoi haluzi iak vazhlyvoho elementu natsional'noi infrastruktury [The current state of the railway industry as an important element of national infrastructure]. *Zhurnal «Ekonomist» – Journal "Economist", 10,14-18* [in Ukrainian].
8. Lavrukhin, A.V. (2015). Vantazhni perevezennia na zaliznychnomu transporti [Freight transportation by rail]. Kharkiv: UkrDUZT [in Ukrainian].
9. Taryfne kerivnytstvo №4 [Tariff guide №4]. (2015). Kyiv: Regulatory framework of Ukrzaliznytsia, [in Ukrainian].
11. Okorokov, A.M. (2015). Analiz perspektyv rozvytku rynku kontejnerykh perevezen' v Ukraini [Analysis of prospects for the development of the container traffic market in Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats' Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana – Collection of scientific works of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 10, 98–104* [in Ukrainian].

Kateryna Kryachko, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Ukrainian State University of Railway Transport (UkrDURT), Kharkiv, Ukraine

Valerii Kuleshov, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Ukrainian State University of Railway Transport (UkrDURT), Kharkiv, Ukraine

A. Shramko, student

Ukrainian State University of Railway Transport (UkrDURT), Kharkiv, Ukraine

Rationalization of Reloading Cranes at Container Terminals of Freight Stations

The article considers the issue of efficiency of technical equipment of container terminals and rationalization of handling facilities and economic justification of their required number for the estimated service life, taking into account the allocation of investments in conditions of limited resources.

One of the main problems of optimal control of reloading processes is the choice of a rational strategy for controlling loading and unloading machines within the work cycle, when the range of their movement at design speeds and accelerations is crucial given the constraints imposed on control parameters determined by design and operational conditions (permissible speeds and accelerations for a particular cargo front, maximum traction, operational productivity, site capacity, etc.). The optimization criteria can be the cost parameters for performing the basic operations of the operating cycle, taking into account energy costs depending on the range of loading and unloading machines.

In the case where the container site is serviced by several handling equipment, the downtime of one group of cars depends on the downtime of other handling facilities.

At existing freight stations, the length of container sites ranges from 100 to 300 m and more. The intensity of use of the length of the cargo front is very small, which causes a large amount of shunting work, interoperable downtime of loading and unloading machines and rolling stock.

Thus, the introduction of rational control technology for loading and unloading facilities should be consistent with the design of the cargo station and container terminal, which would allow to fully implement all the design parameters with the lowest operating costs.

container terminal, transshipment facilities, freight stations, overhaul, reliability factor

Одержано (Received) 12.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 20.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022