

УДК 656.225

П. В. БЕХ^{1*}, О. В. ЛАШКОВ^{2*}, Є. А. МАКСИМЕНКОВ^{3*}, О. Ю. ПАПАХОВ^{4*}

^{1*} Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, т. +380973828468, ел. пошта bekhpit@gmail.com, ORCID 0000-0002-1782-9224

^{2*} Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, т. +380509645818, ел. пошта lashkovov@gmail.com, ORCID 0000-0001-7380-987X

^{3*} Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, т. +380686913961, ел. пошта maksimenkov@gmail.com, ORCID 0000-0002-9608-7301

^{4*} Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, т. +380675244322, ел. пошта papakhova0362@gmail.com, ORCID 0000-0003-2357-8158

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ ПУНКТІВ ПЕРЕРОБКИ ВЕЛИКОВАГОВИХ ВАНТАЖІВ

Мета. Перевезення негабаритних і великовагових вантажів вважається однією з найважливіших транспортних послуг, яка приносить найбільші прибутки. Для цього потрібна потужна техніка і підготовлені висококваліфіковані спеціалісти. Сучасна система організації перевезень передбачає приймання та видачу дрібних відправок великовагових вантажів на вантажних дворах та майданчиках, в процесі чого, кожна відправка може декілька разів перевантажуватись на вантажних майданчиках. Незважаючи на відносно середні відстані перевезення всередині України, кількість переробок може досягати 3 разів, а час знаходження на таких майданчиках – декількох діб. Тому збільшення строків доставки великовагових дрібних відправок виникає за рахунок тривалого їх знаходження на вантажних майданчиках. Першорядне значення для поліпшення організації перевезень великовагових вантажів дрібними відправками має вдосконалення технології вантажних майданчиків і їх технічного оснащення. **Методи.** Комплексний аналіз технічного оснащення та технології роботи пунктів переробки великовагових вантажів на залізничному транспорті, статистичний аналіз, математична теорія управління запасами, методи кореляційного аналізу. **Результати.** Проведений аналіз технології та технічного оснащення пунктів переробки великовагових вантажів, надані рекомендації по їх покращенню. Вивчений характер надходження транспортних засобів до вантажного фронту, досліджений режим використання навантажувально-розвантажувальних машин і надана методика оптимізації технічного оснащення вантажного фронту. Удосконалена методика визначення оптимальної місткості майданчиків для великовагових вантажів. **Практична значимість.** Виконані дослідження показали, що є резерви у вдосконаленні перевезень вантажів великоваговими дрібними відправками за рахунок розробки та застосування оптимальної технології. Основним напрямом у скороченні простою вагонів є оптимізація процесів переробки великовагових вантажів: збільшення потужності технічного оснащення, вдосконалення системи оперативного планування та управління роботою пунктів переробки великовагових вантажів. Застосування методики дозволяє оцінити різні варіанти технічного оснащення за приведеними витратами, розрахувати оптимальну ємність пунктів переробки місцевих та транзитних великовагових вантажів з використанням математичної теорії управління запасами та методів кореляційного аналізу. Завдання щодо складання оптимального оперативного плану сортування великовагових вантажів зведено до транспортної задачі лінійного програмування і вирішується за допомогою обчислювальної техніки.

Ключові слова: великовагові вантажі, дрібні відправки, вантажний фронт, вантажні майданчики.

Вступ

Глобальні зміни у світовій економіці останніх десятиліть, викликали попит на великі інфраструктурні проекти в світовому масштабі. Такі проекти, отримали свій розвиток в галузях промисловості, зайнятих розробками в області нафтогазодобування, проектуванні і будівництві заводів для хімічної і нафтохімічної промисловості, вітрогенераторних електростанцій, гірничодобувних платформ. Все це зумовило факт виникнення і збільшення обсягів промислового будівництва та зростання кількості будівельних

майданчиків по всьому світу. Такі явища відкрили нову епоху переміщення масивних і великогабаритних вантажів у міжнародних транспортних системах [1, 3].

Транспортування негабаритних і великовагових вантажів вимагає ретельного транспортного планування. Для подібних вантажів характерна відсутність стандартизації, тому транспортування негабариту – робота індивідуального характеру, організована спеціально під кожний тип вантажу. Негабаритні елементи вантажного місця неможливо відокремити або від'єднати на

різні складові частини і деталі. Тому такі вантажі необхідно транспортувати як одне ціле з одного географічного пункту в інший, а потім таким же чином підіймати, переміщувати та встановлювати на місце.

Оптимізація та удосконалення виробничих ліній та процесів, модернізація, реконструкція і ремонт промислових об'єктів, капітальне будівництво об'єктів виробничого і невиробничого призначення на підприємствах та впровадження новітніх технологій неможливо без використання спеціального обладнання, устаткування, машин та механізмів, що складають негабаритні та великовагові вантажі. У загальних витратах з доставки вантажів витрати на виконання НРР становлять значну питому вагу (у середньому 25-30 %, а при невеликих відстанях перевезення багатьох видів вантажу – 50 % і більше) [2, 5].

Перевезення негабаритних і великовагових вантажів вважається однією з найважливіших транспортних послуг, яка приносить найбільші прибутки. Для цього потрібна потужна техніка і підготовлені висококваліфіковані спеціалісти. Ринок перевезень негабаритних і великовагових вантажів зростає на 15 % щороку. Такі темпи зростання свідчать про те, що сегмент перевезень цих вантажів випереджає темп приросту регулярних перевезень [4, 7].

Сучасна система організації перевезень передбачає приймання та видачу дрібних відправок великовагових вантажів на вантажних дворах та майданчиках, в процесі чого, кожна відправка може декілька разів перевантажуватись на вантажних майданчиках.

Незважаючи на відносно середні відстані перевезення всередині України, кількість переробок може досягати 3 разів, а час знаходження на таких майданчиках – декількох діб. Тому збільшення строків доставки великовагових дрібних відправок виникає за рахунок тривалого їх знаходження на вантажних майданчиках.

Постановка завдання дослідження

Розроблення проектів транспортування негабаритних і великовагових вантажів отримало розвиток з середини-кінця ХХ століття і планувалось за кілька років до початку перевезення. Це було викликано недостатніми технічними можливостями транспортного обладнання і техніки того часу тому більшість наукових праць з даного питання присвячено розвитку технічних та технологічних схем при організації процесу транспортування. Першорядне значення для поліпшення організації перевезень великовагових

вантажів дрібними відправками має вдосконалення технології вантажосортувальних майданчиків і їх технічного оснащення.

Для визначення оптимального технічного оснащення пунктів переробки великовагового вантажу передбачається:

- математичний опис характеру надходження транспортних засобів на вантажний фронт;
- побудова розгорнутого вираження приведених витрат критерію оптимізації;
- визначення оптимальних параметрів вантажних фронтів (числа подач, механізмів і часу роботи).

Мета дослідження

Проблема підвищення ефективності перевезень залізницею великовагових вантажів безумовно є актуальною. Метою дослідження є розробка методик оптимізації технічного оснащення вантажних фронтів, визначення оптимальної місткості майданчиків для зберігання великовагових вантажів, розробка методів оптимального оперативного планування та управління роботою пунктів переробки великовагових вантажів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз публікацій, присвячених проблемам функціонування пунктів переробки великовагових вантажів показує відсутність комплексних досліджень, які б ув'язували технологію надходження, сортування та переробку таких вантажів. Такі дослідження особливо актуальні через специфіку як перевезення по залізницям, так і зберігання цих вантажів на станціях.

Так в роботах [1, 3, 4] досліджується організація вантажних операцій на місцях загального та незагального користування, організація роботи складів та їх оснащення. Але разом з тим приведені дослідження стосувались в основному вантажів широкою номенклатури.

В роботах [2, 5, 9, 13] досліджені управлінські методи вантажної та комерційної роботи на залізниці, організації планування та прогнозування, але знов таки в дуже загальних формах.

В роботі [4] проаналізовані методи організації вантажопотоків на залізничному транспорті, але здебільшого це стосується перевезень контейнерів.

Складська робота проаналізована в роботах [4, 11, 14], але без достатньої уваги стосовно великовагових вантажів.

Технологічні аспекти перевезення великовагових вантажів представлені в роботах [8, 10, 15, 16], але стосовно або морських перевезень, або фінансового обґрунтування такої діяльності.

Основний матеріал дослідження

Стратегії економічного розвитку багатьох розвинутих країн приділяють достатньо уваги розвитку інфраструктури та інвестиціям асоційованим з великими капітальними проектами, будь то будівництво, ремонт або модернізація. Невід'ємною частиною таких заходів є транспортування безлічі вантажів та товарів, необхідних для функціонування таких проектів. Залучені до таких проектів процеси потребують використання виробничого та технологічного обладнання що складається з високотехнологічних агрегатів, вузлів і механізмів. Пошук такого обладнання та устаткування досить складний процес і може бути глобальним, а час від виробництва, закупівлі, транспортування та до отримання може займати місяці або навіть роки. Специфічні умови доставки та перевезення такого обладнання теж не передбачають розбирання, демонтажу, або роз'єднання на складові частини, блоки, модулі через високу вартість і унікальність виробництва.

Глобальний ринок перевезень негабаритних і великовагових вантажів (НВВ) становив близько 233 мільярдів доларів у 2018 році, і, за прогнозами, він виросте за середньорічним темпом зростання (Compound Annual Growth Rate) на понад 5 % та перевищить 318 мільярдів доларів до 2024 року завдяки збільшенню торгівлі та обсягу перевезень [10].

Транспортування НВВ повинно бути попередньо сплановано таким чином, щоб ще на ранній стадії, все було максимально обумовлено задовго до етапу фінансування, розробки схем доставки або пошуку джерел придбання. Промислове будівництво та реконструкція об'єктів інфраструктури являє собою складні та багатогранні процеси які напряду пов'язані з тим, наскільки своєчасно доставляються як матеріали і сировина, так і готові штучні вантажі. У цьому контексті розуміння вимог до стратегічного планування вантажоперевезень і включення певної практики в процес планування запобіжить загальним проблемам, підвищить ефективність та знизить ризики під час етапу транспортування.

При розробці методики визначення оптимального технічного оснащення пунктів переробки великовагових вантажів потрібно передбачати:

- математичний опис характеру надходження транспортних засобів на вантажний фронт;
- побудову розвернутого виразу приведених витрат критерію оптимізації;

– визначення оптимальних параметрів вантажних фронтів (число подач, механізмів і часу роботи).

Функціонування вантажного фронту розглянуто з позиції теорії масового обслуговування. Вибір теоретичного закону розподілу, що характеризує надходження і переробку вагонів на станції, здійснювався у відповідності з видом гістограми статистичного розподілу і потім перевірявся за критеріями згоди Колмогорова і Пірсона (" χ^2 " - квадрат).

Вхідний потік вимог на фазі надходження вагонів з передачами на вантажну станцію призначенням на фронти сортування великовагових вантажів вдало апроксимується законом Пуассона, а характер зміни обсягу загальної переробки та сортування вантажів - нормальним законом.

Для оцінки варіантів технічного оснащення в якості техніко-економічних показників прийняті сумарні приведені витрати.

Для вантажних фронтів із сортування дрібних відправок, що перевозяться на відкритому рухомому складі, функцію приведених витрат в загальному вигляді можна виразити так

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4, \quad (1)$$

де C_1, C_2, C_3, C_4 – витрати, відповідно пов'язані з амортизацією та ремонтом навантажувально-розвантажувальних машин, віднесені до однієї доби; з простоем вагонів під вантажними операціями; з подаванням і прибиранням вагонів біля складу; з очікуванням вагонами часу обслуговування при їх випадковому підході.

При цілодобовому режимі роботи пунктів переробки великовагових вантажів час очікування вагонами обслуговування в денну і нічну зміни не однаково, так як в денну зміну фронт обслуговує вхідні потоки вагонів і автомобілів, а в нічну – тільки вагонів. Отже для кожної половини доби необхідно виразити окремо: витрати, пов'язані з очікуванням вагонами часу обслуговування в нічну зміну C_4^H і витрати, пов'язані з очікуванням вагонами часу в денну зміну C_4^L .

Загальний критерій оптимізації має вигляд

$$C = \frac{\alpha \cdot k \cdot (z_1 + z_2)}{365} + \frac{n_1 \cdot (1 - \beta) \cdot N \cdot q_B \cdot C_{B-G}}{z_1 \cdot q_n} + \frac{(1 - \beta) \cdot N \cdot t_M \cdot C_{L-G}}{n_1} + \frac{n_2 \cdot \beta \cdot N \cdot q_B \cdot C_{B-G}}{z_2 \cdot q_n} + \frac{\beta \cdot N \cdot t_M \cdot C_{L-G}}{n_2} + \frac{\beta \cdot N \cdot C_{B-G} \cdot \frac{Q_n}{q_n} \cdot t_B \cdot (1 + V_1^2)}{2 \cdot (z_2 \cdot T - \frac{Q_n}{q_n})} + \frac{2 \cdot Q_n \cdot t_B \cdot (1 + V_1^2) + Q_n \cdot t_a \cdot (1 + V_1^2)}{4 \cdot T \cdot z_1 \cdot q_n - 6 \cdot Q_n}, \quad (2)$$

де α – доля річних відрахувань на амортизацію та ремонт машин з врахуванням нормативного коефіцієнту ефективності капіталовкладень;

k – вартість однієї навантажувально-розвантажувальної машини, грн;

z_1, z_2 – кількість навантажувально-розвантажувальних машин в денну та нічні зміни;

n_1, n_2 – кількість вагонів в подачі в денну та нічні зміни;

q_v – статичне навантаження вагонів з великоваговими вантажами;

N – кількість вагонів, з якими виконуються вантажні операції біля складу за добу;

$C_{в-г}$ – вартість вагогодини простою, грн;

q_n – експлуатаційна продуктивність машин, т/год;

β – частка вагонів, що надходять в нічну зміну від загальної кількості вагонів прибуваючих за добу;

t_m – сумарна тривалість подавання та забирання вагонів, год;

t_v – сумарна тривалість простою вагонів під вантажними операціями, год;

t_a – сумарна тривалість простою вагонів під очікуванням обслуговування, год;

$C_{л-г}$ – вартість локомотиво-години маневрової роботи, грн;

Q_n – добовий об'єм переробки вантажного фронту, т.

При визначенні ємності майданчика для сортування великовагових вантажів досліджується кореляційна залежність між добовим прибуттям вантажу у збірних вагонах і кількістю вантажу, що вивантажується на майданчик у процесі сортування, а також часом накопичення його за призначенням плану формування вагонів.

Майданчики з переробки великовагового вантажу зазвичай розташовуються у великих промислових центрах і обслуговують велику кількість підприємств.

Регулювати вхідні потоки вантажів на ці майданчики неможливо, оскільки підприємства поставальники і споживачі часто розташовуються на великих відстанях, а час прямування вантажу великоваговими дрібними відправками має значні коливання.

Пошук оптимального значення місткості великовагових майданчиків можна здійснити за критерієм сумарних витрат, що залежать від ємності майданчика E , в які включені приведені капітальні витрати, витрати на утримання, амортизацію та ремонт майданчика, обслуговування вхідного потоку транспортних засобів, що дос-

тавляють вантажі на майданчик та втрати, пов'язані з недостатньою місткістю складу. До останніх відносяться витрати, зумовлені очікуванням вхідного потоку вантажів транспортних засобів обслуговування.

Для вирішення завдання майданчик розглядається як система масового обслуговування, що характеризується певною структурою та інтенсивністю вхідних та вихідних потоків, часом обслуговування заявок, наявністю перерв у роботі протягом доби.

Аналіз досліджень показав, що пропонуються різні моделі даної системи обслуговування. На нашу думку, робота великовагових майданчиків найбільшою мірою відповідає умовам роботи недетермінованої моделі.

Прийнято такі умови для вирішення поставленого завдання. Підхід транспортних засобів на склад носить випадковий характер і вхідний потік є найпростішим, система обслуговування одноступінчаста без втрат, дисципліна обслуговування заявок без пріоритету, закон розподілу часу обслуговування – показовий або довільний.

У відповідності з цим, критерій оптимізації в загальному вигляді можна виразити так:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6, \quad (3)$$

де C_1 – витрати на амортизацію та ремонт майданчика і комунікацій (залізничні колії, автопроїзди, електромережа, водопровід);

C_2 – витрати, пов'язані з подаванням та забиранням вагонів з майданчика;

C_3 – витрати, що обумовлені очікуванням подавання, часом обслуговування та очікуванням обслуговування вагонів біля майданчика внаслідок недостатньої вільної ємності, коли $K > n$ та $K \cdot q_v > y$, де K – кількість вагонів, що прибувають в поїзді з вантажами на адресу майданчика по переробці великовагового вантажу; n – число вагонів в подачі; q_v – середнє статичне навантаження на один вагон; y – вільна ємність майданчика;

C_4 – витрати, що пов'язані з очікуванням подавання та обслуговування вагонів на майданчику в кількості $K > n$: на майданчику є достатня вільна ємність $K \cdot q_v \leq y$;

C_5 – витрати, пов'язані з обслуговуванням та очікуванням обслуговування вагонів біля майданчику внаслідок недостатньої ємності, коли $K \leq n$ та $K \cdot q_v > y$;

C_6 – витрати, пов'язані з обслуговуванням вагонів біля складу, коли $K < n$ та $K \cdot q_v \leq y$.

Загальне вираження функції витрат може мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
C_E &= \alpha \cdot E \cdot \rho + \frac{t_M \cdot C_{л-г}}{n} \cdot \sum_n^{\infty} \frac{(\lambda \cdot t)^M}{M!} \cdot e^{-\lambda \cdot t} \cdot \\
&\sum_n^{\infty} \frac{M \cdot (\lambda \cdot t)^M}{M!} \cdot e^{-\lambda \cdot t} + C_{в-г} \sum_n^{\infty} \frac{(\lambda \cdot t)^K}{K!} \cdot e^{-\lambda \cdot t} \cdot \\
&\sum_n^{\infty} \frac{(\lambda \cdot t)^K}{K!} \cdot e^{-\lambda \cdot t} \cdot \left(\tau_1 \sum_0^{\frac{\overline{K_2 \cdot q_B}}{\rho}} \frac{(\lambda \cdot t)^\Pi}{\Pi!} \cdot e^{-\lambda \cdot t} + \tau_2 \cdot \right. \\
&\left. \sum_{\frac{\overline{K_2 \cdot q_B}}{\rho}}^{\infty} \frac{(\lambda \cdot t)^\Pi}{\Pi!} \cdot e^{-\lambda \cdot t} \right) + C_{в-г} \sum_0^n \frac{(\lambda \cdot t)^K}{K!} \cdot e^{-\lambda \cdot t} \cdot \\
&\sum_0^n \frac{(\lambda \cdot t)^K}{K!} \cdot e^{-\lambda \cdot t} \cdot \left(\tau_3 \cdot \sum_0^{\frac{\overline{K_1 \cdot q_B}}{\rho}} \frac{(\lambda \cdot t)^\Pi}{\Pi!} \cdot e^{-\lambda \cdot t} + \tau_4 \cdot \right. \\
&\left. \sum_{\frac{\overline{K_1 \cdot q_B}}{\rho}}^{\infty} \frac{(\lambda \cdot t)^\Pi}{\Pi!} \cdot e^{-\lambda \cdot t} \right), \quad (4)
\end{aligned}$$

де α – вартісний коефіцієнт, що являє собою питомі витрати на амортизацію та ремонт, віднесений до одиниці місткості площини великовагового майданчика;

E – місткість майданчика, т;

ρ – питоме навантаження на 1 м² майданчика;

$C_{в-г}$ – вартість вагоно години простою, грн;

t_M – час на подавання та забирання вагонів, год;

M – кількість вагонів, що прибувають на майданчик в продовж доби;

Π – вільна місткість майданчика, т;

K_1, K_2 – математичне очікування випадкової величини K в інтервалах відповідно $K \leq n$ та $K > n$;

e – основа натурального логарифму;

τ_1 – середня тривалість обслуговування однієї групи вагонів, що прибули на станцію в кількості $K > n$, коли $K \cdot q_B > y$;

τ_2 – середня тривалість обслуговування однієї групи вагонів, що прибули на станцію в кількості $K > n$, коли $K \cdot q_B \leq y$;

τ_3 – середня тривалість обслуговування однієї групи вагонів, що прибули на станцію в кількості $K \leq n$, коли $K \cdot q_B > y$;

τ_4 – середня тривалість обслуговування однієї групи вагонів, що прибули на станцію в кількості $K \leq n$, коли $K \cdot q_B \leq y$.

Проведений розрахунок зміни приведених витрат залежно від ємності майданчика з переробки великовагового вантажу при змінних значеннях інтенсивності вивезення вантажу та переробної здатності вантажного фронту показав, що сумарні приведені витрати зі збільшенням ємності знижуються і досягають свого оптимального значення, після чого починають зростати, однак, темп їх зростання набагато нижчий за темп зниження. Зниження сумарних приведених витрат відбувається за рахунок зменшення вагоно години простою, пов'язаних з очікуванням подачі, накопиченням і простоєм під вантажними операціями, а їх зростання – за рахунок

збільшення витрат на амортизацію, ремонт та утримання майданчика.

При більш загальних припущеннях, щодо виду вхідного і вихідного потоків заявок і закону розподілу часу обслуговування, ємність складу доцільно розраховувати за допомогою методу статистичних випробувань (метод Монте-Карло).

Виявлені залежності визначення оптимальної ємності можуть бути використані при проектуванні та реконструкції пунктів переробки великовагових вантажів. Розрахунок ємності для транзитного вантажу вимагає збору та обробки великого статистичного матеріалу. Тому пропонується розрахунок ємності для великовагових вантажів з використанням методу кореляційного аналізу.

Для вирішення цього завдання необхідно визначити кількість вантажу, що вивантажується на майданчик. При цьому слід врахувати час накопичення вантажу за кожним призначенням плану формування.

Для визначення значення залежно від зміни обсягу вантажопотоків великовагових вантажів були проведені дослідження на вантажних майданчиках станцій Запоріжжя-Вантажне, Нижньодніпровськ, Коростень, Овруч з 28 призначеннями плану формування.

Обробка статистичних даних методом кореляційного аналізу дозволила встановити залежність

$$Q'_{доб} = f(Q_{доб}); t_n = \varphi(Q_{доб}), \quad (5)$$

Підбір властивостей здійснювався шляхом найменших квадратів.

В результаті проведених розрахунків отримано наступні види залежності:

$$Q'_{доб} = 0,1649 \cdot Q_{доб} + 0,3621;$$

$$t_n = \frac{10,7446}{Q_{доб}} + 4,8876.$$

Значення змінних $Q'_{доб}$ та t_n визначались в інтервалах значень $Q_{доб}$ від 1,4 до 25 тонн за добу.

Загальна ємність великовагового майданчика розраховується за формулою

$$E = K \cdot \sum_{i=1}^n (3.5416 + 0.806 \cdot Q_{доб i} + \frac{3.8906}{Q_{доб i}}) + E_{пр} + E_{від}, \quad (6)$$

де $Q_{доб i}$ – добуве надходження вантажу i -го призначення, т;

$E_{пр}, E_{від}$ – ємність складу для великовагових вантажів по прибуттю та відправленню відповідно (розраховується за формулою 4).

Обсяг переробки на вантажних майданчиках у значному ступені залежить від якості планування їх роботи. План роботи з сортування великовагових вантажів на великих вантажних станціях складає прийомоздавач.

Із застосовуваних практично способів складання плану сортування можна назвати такі: по розміченим вагонним листам; за нарядами або сортувальними відомостями, складеними на всю групу поданих до вантажного майданчика вагонів.

Перелічені способи не мають наукового обґрунтування, і якість складених планів залежить від практичних навичок прийомоздавача.

При вирішенні такого роду завдань виникає необхідність розгляду великої кількості варіантів з метою вибору оптимального.

Складання оптимального плану сортування великовагових відправок, що перевозяться на відкритому рухомому складі, є завданням, яке може бути сформульовано в термінах лінійного програмування і вирішено із застосуванням обчислювальної техніки.

Умова виконання максимуму статичного навантаження вагонів забезпечується розглядом сумарної маси вантажу на майданчику та в поданих вагонах для кожного K -го призначення плану формування

$$A_k = a(0, k) + a(1, k) + \dots + a(n, k), \quad (7)$$

і вибором з них n найбільших.

Загальний критерій оптимальності тонно-метрової роботи крана має вигляд:

$$C_n = \sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^n C(k_{(t)}, j) \cdot y_{(t), j} \rightarrow \min, \quad (8)$$

де C – відстань (вартість) перевезення вантажу k -го призначення із вагона t в вагон j ;

y – кількість тон вантажу, що перевантажується із вагона t в вагон j .

Загальна схема розв'язання задачі така: спочатку будується план перевантаження, що не задовольняє, взагалі кажучи, всім умовам завдання. Далі здійснюється перехід до іншого плану перевезень, ближчого до плану завдання. Якщо побудований план навантаження відповідає всім умовам транспортної задачі, тобто є планом завдання, він автоматично виявляється її рішенням. Якщо ж деякі умови розглянутої задачі залишаються незадоволеними, метод дає можливість перейти до наступного плану перевезень, найближчого до плану завдання.

Отримане остаточне рішення у вигляді макета передається на об'єкт. У цьому повідомленні міститься повна інформація про послідовність роботи кранів із сортування вантажу.

Перед вступом на чергування прийомоздавач, за отриманим оперативним планом сортування вагонів, складає наряд на виконання роботи з навантаження-вивантаження, паралельно знайомлячись із вмістом вагонів.

Встановлено, що реалізація оптимального планування дозволяє на 11 % скоротити пробіг крана, на одну годину знизити простій вагона, на 10-15 % збільшити статичне навантаження вагонів.

Висновки

Виконані дослідження показали, що є резерви у вдосконаленні перевезень вантажів великоваговими дрібними відправками за рахунок розробки та застосування оптимальної технології.

Зокрема, дослідження станцій Запоріжжя-Вантажне, Нижньодніпровськ, Бердичів, Біла Церква, Буча, Вікторія, Волочиськ, Гайсин, Гнівань, Деражня, Жашків, Житомир, Жмеринка, Закупне, Малин, Калинівка, Кам'янець-Подільський, Київ-Петрівка, Коростень, Котюжани, Миронівка, Могилів-Подільський, Овруч, Олевськ, Київ-Дніпровський, Полонне, Ржевуська, Яблунець, Тетіїв, Хмільник, Ярошенка, Немирів показало, що 32,5 % часу вагони знаходяться на станціях, в очікуванні подачі на вантажний фронт, отже, основним напрямом у скороченні простою вагонів є оптимізація процесів переробки великовагових вантажів: збільшення потужності технічного оснащення, вдосконалення системи оперативного планування та управління роботою пунктів переробки великовагових вантажів.

На підставі досліджень, у статті запропоновано методику розрахунку оптимального варіанту технічного оснащення майданчиків з переробки великовагового вантажу. Для розв'язання задачі рекомендується градієнтний метод.

Застосування методики дозволяє оцінити різні варіанти технічного оснащення за приведеними витратами, розрахувати оптимальну ємність пунктів переробки місцевих та транзитних великовагових вантажів з використанням математичної теорії управління запасами та методів кореляційного аналізу.

Завдання щодо складання оптимального оперативного плану сортування великовагових вантажів зведено до транспортної задачі лінійного програмування і вирішується за допомогою обчислювальної техніки.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Мельник О.М. Problems statement and prospects for the development of oversized cargoes transportation in Ukraine (Стан проблеми та перспективи розвитку перевезень негабаритних вантажів в Україні) / О.М. Мельник // Судноводіння НУОМА. – 2019. – 29. – С.142-153. DOI:10.31653/2306-5761.29.219.142-153.
2. Ачкасова Л.М. Обґрунтування факторів ефективності перевезення вантажів / Л.М.Ачкасова // Економіка транспортного комплексу. – Вип. 25. 2015. С. 145–153.
3. Калініченко Л.Л. Логістичний підхід до вибору виду транспортування вантажів / Л.Л. Калініченко // ЕКОНОМІКА: реалії часу. № 2(18), 2015. С. 269–274.
4. Організація виконання вантажних і складських операцій: навчальний посібник / О.В. Лаврухін, Д.В. Ломотько, Є.С. Альошинський, А.О. Ковальов, Д.І. Мкртчян, А.Л. Обухова, О.В. Ковальова; за загальною редакцією С.В. Панченка. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – 181 с.
5. Котенко А.М. Перевезення негабаритних і великовагових вантажів у транспортних системах / А.М. Котенко, О.В. Лаврухін, П.С. Шилаєв, А.В. Світлична, В.І. Шевченко, інж. О.М. Пилипейко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. Експлуатація залізниць. Вип. 145. 2014. С. 50–59.
6. ІНСТРУКЦІЯ З ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕГАБАРИТНИХ І ВЕЛИКОВАГОВИХ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЦЯМИ УКРАЇНИ ЗАТВЕРДЖЕНО наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 23 листопада 2004 р. N 1026 Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 24 грудня 2004 р. за N 1640/10239.
7. Бех П. В. Управління вантажопотоками та вагонопотоками на залізничному транспорті [Текст] / П.В. Бех, О.В. Лашков, М.І. Музикін, Г.І. Нестеренко, С.І. Авраменко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля № 3 (233) 2017, с. 22-31.
8. Сток Дж.Р., Ламберт Д.М. Стратегическое управление логистикой. Пер. с англ. 4-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 797с.
9. Левицкая Л.П. Математико-статистические методы стратегического управления производственными системами железнодорожного транспорта: Монография. – М.: МИИТ, 2009. – 95 с.
10. Мельник О.М. Технологічні аспекти перевезення негабаритних вантажів. Транспортно-технологічне забезпечення процесів доставки і обробки негабаритних вантажів. / О.М. Мельник // Вчені записки ТНУ ім. Вернадського, 2020. – 31(70)2 – 2. – С. 168-174.
11. Дыбская В.В. Управление складированием в цепях поставок. – М.: Издательство «АльфаПресс», 2009. – 720с.
12. Бубнова Г.В. Модели управления маркетингом грузовых перевозок [Текст]: монография (переизданное) – М.: Маршрут, 2010 – 262 с.
13. Негрей, Н.П. Технология выполнения грузовых и коммерческих операций в портах / Н. П. Негрей. – Гомель : БелГУТ, 2003. – 72 с.
14. Pisz Iwona. Uwarunkowania realizacji projektu logistycznych w branży transport-spedycja-logistyka na przykładzie przewozu ładunków ponadnormatywnych / cz. 1, cz. 2 / Pisz Iwona, Łapuńska Iwona // Logistyka 3.2014. S. 5131–5155.«Трал Сервіс». Перевезення негабаритних вантажів. URL: <https://negabarit.com.ua/perevozki-negabaritnyh-gruzov/?lang=uk>.
15. Pluciński M., Semenov Iouri N., Filina L., Kotowska I., Wiktorowska-Jasik A., Zintegrowane łańcuchy transportowe, Difin, Warszawa 2008.
- Stajniak M., Hajdul M., Foltiński M., Krupa A., Transport i spedycja, Wydanie 2, Biblioteka Logistyka, Poznań 2008.

Надійшла в редколегію 12.11.2021

Прийнята до друку 22.11.2021

П. В. БЕХ, А. В. ЛАШКОВ, Е. А. МАКСИМЕНКОВ, А. Ю. ПАПАХОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ ПУНКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ГРУЗОВ

Цель. Перевозка негабаритных и тяжеловесных грузов считается одной из важнейших транспортных услуг, приносящей наибольшую прибыль. Для этого нужна мощная техника и высококвалифицированные специалисты. Современная система организации перевозок предусматривает приемку и выдачу мелких отправок тяжеловесных грузов на грузовых дворах и площадках, в процессе чего каждая отправка может несколько раз перегружаться на грузовых площадках. Несмотря на относительно средние расстояния перевозки внутри Украины, количество переработок может достигать 3 раз, а время нахождения на таких площадках – несколько суток. Поэтому увеличение сроков доставки тяжеловесных мелких отправок возникает за счет длительного их нахождения на грузовых площадках. Первостепенное значение для улучшения организации перевозок тяжеловесных грузов мелкими отправками имеет усовершенствование технологии этих площадок и их технической оснащённости. **Методы.** Комплексный анализ технической оснащённости и технологии работы пунктов переработки тяжеловесных грузов на железнодорожном транспорте, статистический анализ,

математическая теория управления запасами, методы корреляционного анализа. **Результаты.** Проведен анализ технологии и технического оснащения пунктов переработки тяжеловесных грузов, даны рекомендации по их улучшению. Изучен характер поступления транспортных средств на грузовой фронт, исследован режим использования погрузочно-разгрузочных машин и предоставлена методика оптимизации технического оснащения грузового фронта. Усовершенствована методика определения оптимальной емкости площадок для тяжеловесных грузов. **Практическая значимость.** Выполненные исследования показали, что есть резервы по совершенствованию перевозок грузов тяжеловесными мелкими отправлениями за счет разработки и применения оптимальной технологии. Основным направлением в сокращении простоя вагонов является оптимизация процессов переработки тяжеловесных грузов: увеличение мощности технической оснащенности, усовершенствование системы оперативного планирования и управления работой пунктов переработки тяжеловесных грузов. Применение методики позволяет оценить различные варианты технического оснащения по приведенным затратам, рассчитать оптимальную емкость пунктов переработки местных и транзитных тяжеловесных грузов с использованием математической теории управления запасами и методов корреляционного анализа. Задача по составлению оптимального оперативного плана сортировки тяжеловесных грузов сведена к транспортной задаче линейного программирования и решается с помощью вычислительной техники.

Ключевые слова: тяжеловесные грузы, мелкие отправки, грузовой фронт, грузовые площадки.

P. BEKH, A. LASHKOV, Y. MAKSYMENKOV, A. PAPAHOV

ANALYSIS OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF UKRAINIAN PRE-PORT RAILWAY STATIONS

Purpose. The transportation of oversized and heavy cargo is considered one of the most important transport services that bring the greatest profit. This requires powerful equipment and highly qualified specialists. The modern system of organizing transportation provides for the acceptance and delivery of small shipments of heavy cargo yards, during which each shipment can be reloaded several times at the cargo sites. Despite the relatively average transportation distances within Ukraine, the number of processing can reach 3 times, and the time spent at such sites is several days. Therefore, an increase in the delivery time for heavy small consignments arises due to their long stay at the cargo yards. Improvement of the technology of cargo yards and their technical equipment is of paramount importance for improving the organization of transportation of heavy cargo by small consignments. **Methods.** Comprehensive analysis of technical equipment and technology of work of points for processing heavy cargo on railway transport, statistical analysis, mathematical theory of inventory management, methods of correlation analysis. **Results.** The analysis of the technology and technical equipment of heavy cargo handling points is carried out, recommendations for their improvement are given. The nature of the arrival of vehicles on the cargo front has been studied, the mode of using loading and unloading machines has been studied, and a method for optimizing the technical equipment of the cargo front has been provided. The method for determining the optimal capacity of sites for heavy cargo has been improved. **Practical significance.** The studies carried out have shown that there are reserves for improving the transportation of goods by heavy small shipments through the development and application of optimal technology. The main direction in reducing the idle time of wagons is to optimize the processes of handling heavy cargo: increasing the capacity of technical equipment, improving the system of operational planning and management of the operation of points for processing heavy cargo. The application of the methodology makes it possible to evaluate various options for technical equipment at reduced costs, to calculate the optimal capacity of processing points for local and transit heavy cargo using the mathematical theory of inventory management and methods of correlation analysis. The task of drawing up an optimal operational plan for sorting heavy cargo is reduced to a linear programming transport problem and is solved with the help of computer technology.

Key words: heavy cargo, small consignments, cargo front, cargo yards.