

15. Tong, C. O. A schedule-based dynamic assignment model for transit networks [Text] / C. O. Tong, S. C. Wong // Journal of Advanced Transportation. – 2000. – Vol. 33, Issue 3. – P. 371–388. doi: 10.1002/atr.5670330307
16. Lam, W. H. K. A stochastic user equilibrium model for congested transit networks [Text] / W. H. K. Lam, Z. Y. Gao, K. S. Chan, H. Yang // Transportation Research Part B: Methodological. – 1999. – Vol. 33, Issue 5. – P. 351–368. doi: 10.1016/s0191-2615(98)00040-x
17. Введение в эргономику [Текст] / под ред. В. П. Зинченко. – М.: Советское радио, 1974. – 352 с.
18. Руководство по физиологии труда [Текст] / под ред. М. И. Виноградова. – М.: Медицина, 1969. – 408 с.
19. Физиологические принципы разработки режимов труда и отдыха [Текст] / под ред. В. И. Медведева. – Л. Наука, 1984. – 140 с.
20. Голев, Н. У. Выбор рационального количества автобусов на маршрутах города с учетом влияния человеческого фактора [Текст] : дис...канд. техн. наук / Н. У. Голев. – Х.: ХАДИ, 1993. – 174 с.
21. Галушко, В. Г. Вероятностно-статистические методы на автотранспорте [Текст] / В. Г. Галушко. – Киев: Вища школа, 1976. – 232 с.
22. Крохин, М. Н. Оптимальная длительность работы и отдыха локомотивной бригады. Какой ей быть? [Электронный ресурс] / М. Н. Крохин, А. Б. Кирпичников. – 2006. – 8 с. – Режим доступа: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2004-01a04>

Одержано залежності витрат на функціонування транспортного вантажного комплексу від кількості виробничих ресурсів – маневрових локомотивів, вантажно-розвантажувальних машин та складських площ з метою подальшої раціоналізації технічного оснащення, приведення у відповідність до фактичних обсягів роботи та зменшення собівартості переробки вантажів. Запропоновано модель для визначення та оцінки витрат транспортних вантажних комплексів

Ключові слова: витрати, виробничі ресурси, вантажний комплекс, оптимізація, критерій ефективності, функціональна залежність, імітаційна модель

Получены зависимости затрат на функционирование транспортного грузового комплекса от количества производственных ресурсов – маневровых локомотивов, погрузочно-выгрузочных машин и складских площадей с целью дальнейшей рационализации технического оснащения, приведения его в соответствие с фактическими объемами работы и снижения себестоимости переработки грузов. Предложена модель для определения и оценки затрат транспортных грузовых комплексов

Ключевые слова: затраты, производственные ресурсы, оптимизация, критерий эффективности, функциональная зависимость, имитационная модель

УДК 656.788
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.39792

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНИХ ВАНТАЖНИХ КОМПЛЕКСІВ

А. М. О कोरोков

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра «Управління експлуатаційною роботою»
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна
вул. Лазаряна, 2,
м. Дніпропетровськ, Україна, 49010
E-mail: andrew_okorokoff@mail.ru

1. Вступ

Перетворення та реформування транспортної галузі України призводять до значних структурних змін як в її роботі, так і в управлінні. Створення центрів розподілу, які суміщають в собі транспортні, складські та збутові функції при наданні клієнтам повного спектру супутніх послуг – транспортних вантажних комплексів (ТВК) є одним з ефективних заходів для зниження як собівартості перевезень, так і загального

рівня витрат. Врахування в їх діяльності інтересів вантажовідправників дозволяє зменшити не лише витрати транспортних підприємств, а й їх клієнтів, що також може сприяти залученню додаткових обсягів перевезень, та підвищенню якості транспортного обслуговування [1]. Таким чином питання оптимізації роботи ТВК шляхом раціоналізації технічного оснащення значно впливає як на ефективність їх роботи, так і на собівартість вантажопереробки та рівень транспортного сервісу, отже є актуальним [2].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Аналіз проведених досліджень [3, 4] показує, що сучасна тенденція побудови логістичного ланцюга спирається на мережу логістичних центрів, які можуть бути створені на базі вантажних станцій та ТВК.

Необхідність одночасного врахування інтересів споживачів транспортної продукції та транспортників, потребує використання принципів логістики. Основним принципом логістики є системний підхід [5], для ефективної реалізації якого потрібна відповідна методика оцінки ефективності функціонування всіх елементів логістичного ланцюга, зокрема і ТВК [6]. При цьому в якості цільової функції доцільно скористатися питомим показником, що, з однієї сторони, враховує цілі функціонування вантажного комплексу на ринку транспортних послуг, а з іншої – ефективність використання інвестованих в матеріальну базу ТВК фінансових засобів [7].

Використання для оптимізації управління лише на тактичному рівні здатне принести короткостроковий прибуток, проте для сталого та довгострокового розвитку необхідна оптимізація в тому числі на стратегічному рівні [8].

Сучасні транспортні компанії для підвищення якості своїх послуг все частіше делегують повноваження з виконання вантажних операцій до спеціалізованих посередників [9], в якості яких можуть виступати ТВК, в цьому випадку використання сучасних «розумних» технологій дозволяє скоротити витрати всього логістичного ланцюга [10] та узгодити роботу окремих підрозділів [11].

Недоліком цих технологій є потреба у значному обсязі інформації, який має поступати фактично в режимі реального часу, що з урахуванням існуючих інформаційних систем робить неможливим їх повноцінне застосування в Україні. Тому для оптимізації роботи та параметрів окремих об'єктів необхідна методика, заснована на досяжному обсязі інформації [12].

3. Мета і завдання дослідження

Мета даної роботи – подальший розвиток та застосування методики викладеної в [2], для одержання залежності витрат на функціонування ТВК від кількості виробничих ресурсів – маневрових локомотивів, вантажно-розвантажувальних машин, складських площ. Одержана методика застосовується для оптимізації технічного оснащення ТВК розташованого на базі Придніпровської залізниці – станції Дніпропетровськ-Вантажний.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні задачі:

- сформулювати функціонали залежності критерію ефективності від виробничих ресурсів;
- провести перетворення та одержати залежності витрат від технічних параметрів системи;
- провести за допомогою одержаних залежностей оптимізацію технічного оснащення ТВК на базі станції Дніпропетровськ-Вантажний.

4. Встановлення функціональної залежності критерію ефективності від окремих виробничих параметрів ТВК та оптимізація кількості виробничих ресурсів

Визначення оптимальної кількості виробничих ресурсів транспортного комплексу проводиться шляхом вирішення задач з максимізації значення прийнятого критерію ефективності функціонування комплексу згідно з [2]:

$$\Pi_{\text{оф}} = \frac{\Pi_t}{\text{ОФ}_t} \rightarrow \max, \tag{1}$$

де $\Pi_{\text{оф}}$ – питомий прибуток підприємств ТВК на одиницю вартості основних фондів вантажного комплексу; Π_t – прибуток підприємств ТВК за період часу t , грн; ОФ_t – вартість основних фондів ТВК на момент закінчення періоду t , грн.

Цільова функція перетворюється в залежності від типу виробничого ресурсу (локомотиви, вантажно-розвантажувальні машини чи складські площі), методикою, наведеною у [1].

Функціонал, що описує залежність критерію ефективності від кількості маневрових локомотивів, має наступний вигляд:

$$\Pi_{\text{оф}}(N_1) = \frac{1}{B_t^1 + B_{\text{од}}^{\text{лок}} N_1} \times (D_t^1 + k_1 \cdot N_1 + k_2 \cdot N_1^{0.664} + k_3 \cdot N_1^{-0.429} + k_4 \cdot N_1^{-0.054} + k_5), \tag{2}$$

де D_t^1 – прибуток підприємств ТВК при обслуговуванні клієнтури без урахування витрат на функціонування маневрових локомотивів, грн:

$$D_t^1 = D_t \cdot (1 - \delta_{\text{ВЛТ}} \cdot \delta_p) - (1 - \delta_p) \cdot E_t^1, \tag{3}$$

k_1, \dots, k_5 – постійні відносно кількості локомотивів значення функціональної залежності:

$$k_1 = -24 \cdot (1 - \delta_p) \cdot c_{\text{пост}}^{\text{лок}}, \tag{4}$$

$$k_2 = -\frac{90 \cdot (1 - \delta_p) \cdot (c_{\text{ЗМ}}^{\text{лок}} - c_{\text{пост}}^{\text{лок}}) \cdot \xi_q^{0.884}}{\xi_t^{0.885}}, \tag{5}$$

$$k_3 = -\frac{2172 \cdot (1 - \delta_p) \cdot c_{\text{пост}}^{\text{ван}} \cdot \xi_q^{2.527}}{\xi_t^{1.979}}, \tag{6}$$

$$k_4 = -\frac{176 \cdot (1 - \delta_p) \cdot c_{\text{пост}}^{\text{пор}} \cdot \xi_q^{0.978}}{\xi_t^{0.865}}, \tag{7}$$

$$k_5 = -\frac{104 \cdot (1 - \delta_p) \cdot (c_{\text{ЗМ}}^{\text{ван}} + c_{\text{ЗМ}}^{\text{пор}}) \cdot \xi_q^{1.054}}{\xi_t^{0.961}}. \tag{8}$$

Аналіз графіків функції (2), представлених на рис. 1, дозволяє стверджувати, що існує таке значення кількості маневрових локомотивів, при якому кри-

терій ефективності функціонування ТВК має максимальне значення.

Оптимальне значення кількості локомотивів є екстремумом функції (2) і визначається на підставі вирішення рівняння

$$\frac{\Pi_{\text{оф}}(N_l)}{dN_l} = 0. \quad (9)$$

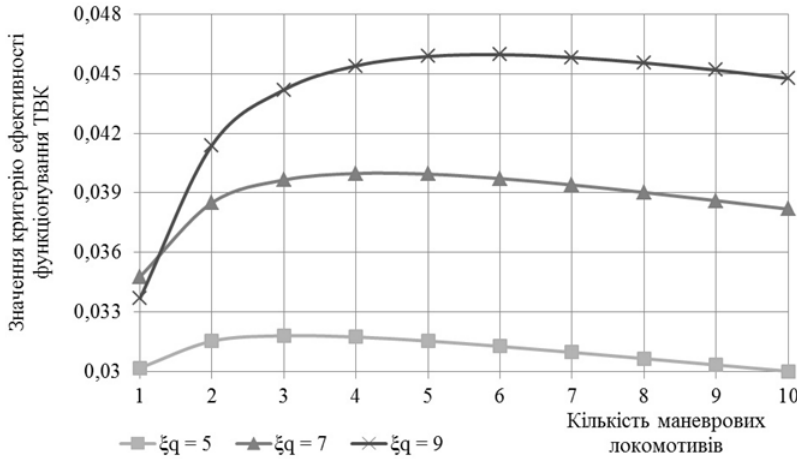


Рис. 1. Графічне відображення залежності критерію ефективності функціонування ТВК від кількості маневрових локомотивів

Диференціюючи функцію $\Pi_{\text{оф}}(N_l)$ відносно N_l , отримуємо наступне рівняння:

$$\begin{aligned} & -\frac{B_{\text{од}}^{\text{лок}}}{(B_t^1 + B_{\text{од}}^{\text{лок}} \cdot N_l)^2} \cdot (D_t^1 + k_1 \cdot N_l + k_2 \cdot N_l^{0,664} + \\ & + k_3 \cdot N_l^{-0,429} + k_4 \cdot N_l^{-0,054} + k_5) + \\ & + \frac{1}{B_t^1 + B_{\text{од}}^{\text{лок}} \cdot N_l} \cdot (k_1 + 0,664 \cdot k_2 \cdot N_l^{-0,336} - \\ & - 0,429 \cdot k_3 \cdot N_l^{-1,429} - 0,054 \cdot k_4 \cdot N_l^{-1,054}) = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Після перетворень рівняння (9) приймає вигляд:

$$\begin{aligned} & -0,336 \cdot B_{\text{од}}^{\text{лок}} \cdot k_2 \cdot N_l^{2,093} + [B_t^1 \cdot k_1 - \\ & - B_{\text{од}}^{\text{лок}} \cdot (D_t^1 + k_5)] \cdot N_l^{1,429} - 1,054 \cdot k_4 \cdot B_{\text{од}}^{\text{лок}} \cdot N_l^{1,375} + \\ & + 0,664 \cdot k_2 \cdot N_l^{1,093} - 1,429 \cdot k_3 \cdot B_{\text{од}}^{\text{лок}} \cdot N_l - \\ & - 0,054 \cdot k_4 \cdot B_t^1 \cdot N_l^{0,375} - 0,429 \cdot k_3 \cdot B_t^1 = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Визначення оптимальної кількості вантажно-розвантажувальних машин, що зайняті обслуговуванням вагонів на фронті вантажних робіт, для відомої кількості маневрових локомотивів оцінюється з урахуванням залежності викладеної у [1]:

$$\Pi_{\text{оф}}(N_g) = \frac{1}{B_t^g + B_{\text{од}}^{\text{мех}} \cdot N_g} \cdot (D_t^g + y_1 \cdot N_g + y_2 \cdot N_g^{-2,368} + y_3). \quad (12)$$

де D_t^g – прибуток ТВК від обслуговування вагонопотоку без урахування витрат на функціонування механізмів на фронті вантажних робіт, грн:

$$D_t^g = D_t \cdot (1 - \delta_{\text{ВАТ}} \cdot \delta_p) - (1 - \delta_p) \cdot E_t^g, \quad (13)$$

y_1, y_2, y_3 – постійні відносно кількості вантажно-розвантажувальних машин значення функції, що визначаються з виразів:

$$y_1 = -24 \cdot (1 - \delta_p) \cdot c_{\text{пост}}^{\text{мех}}, \quad (14)$$

$$y_2 = -48704 \cdot (1 - \delta_p) \times \frac{c_{\text{пост}}^{\text{ван}} \cdot N_l^{0,305} \cdot \mu_t^{1,129} \cdot \xi_q^{2,982}}{\xi_t^{2,698}}, \quad (15)$$

$$y_3 = -123 \cdot (1 - \delta_p) \cdot (c_{\text{пост}}^{\text{ван}} + c_{\text{зм}}^{\text{мех}} - c_{\text{пост}}^{\text{мех}}) \cdot \mu_t. \quad (16)$$

Графічний аналіз отриманої функціональної залежності показує (рис. 2), що існує таке значення кількості механізмів, що обслуговують вагони на вантажному фронті, при якому критерій ефективності приймає максимально можливе значення.

Для визначення екстремуму (оптимальної кількості вантажно-розвантажувальних машин) функція (12) диференціюється по змінній N_g , а отриманий вираз прирівнюється до 0. В результаті визначення похідної функції $\Pi_{\text{оф}}(N_g)$ отримано наступне рівняння:

$$\begin{aligned} & -\frac{B_{\text{од}}^{\text{мех}}}{(B_t^g + B_{\text{од}}^{\text{мех}} \cdot N_g)^2} \cdot (D_t^g + y_1 \cdot N_g + y_2 \cdot N_g^{-2,368} + y_3) + \\ & + \frac{1}{B_t^g + B_{\text{од}}^{\text{мех}} \cdot N_g} \cdot (y_1 - 2,368 \cdot y_2 \cdot N_g^{-3,368}) = 0. \end{aligned} \quad (17)$$

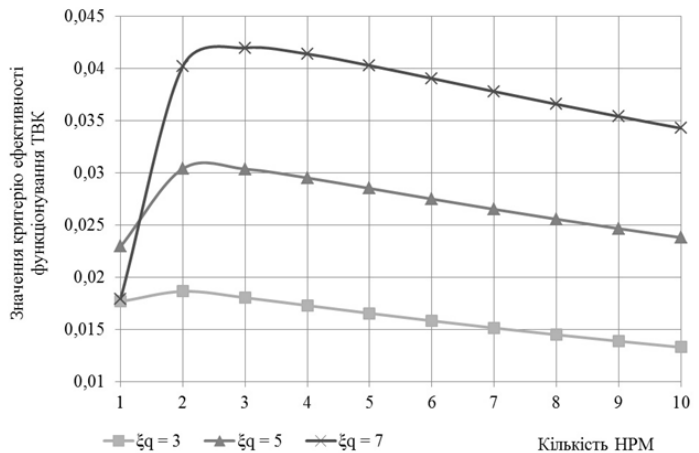


Рис. 2. Графічне відображення залежності критерію ефективності функціонування ТВК від кількості вантажно-розвантажувальних машин

Після перетворень рівняння для визначення оптимальної кількості механізмів, що зайняті обслуговуванням вагонів на вантажному фронті, приймає наступну форму:

$$\begin{aligned} & (B_t^s \cdot y_1 - B_{од}^{mex} \cdot D_t^s - B_{од}^{mex} \cdot y_3) \cdot N_g^{3,368} - \\ & -3,368 \cdot B_{од}^{mex} \cdot y_2 \cdot N_g - 2,368 \cdot B_t^s \cdot y_2 = 0. \end{aligned} \tag{18}$$

Вирішення рівнянь (11) і (18) можливе із використанням будь-якого з відомих чисельних методів – методу простої ітерації, методу Ньютона, методу хорд і дотичних і ін., використовуючи пакет MATLAB [13, 14], з урахуванням відповідних обмежень.

Чисельні розрахунки, проведені для вантажної станції Дніпропетровськ-Вантажний на підставі інформації про техніко-економічні і техніко-експлуатаційні показники роботи станції, а також про статистичні параметри попиту, що були встановлені в процесі дослідження, дозволили отримати наступні значення коефіцієнтів k_1-k_5 і y_1-y_3 :

$$-k_1=1680; k_2=-3276; k_3=-808575; k_4=-3286;$$

$$k_5=12818; -y_1=-840; y_2=-8029883; y_3=-1033.$$

Враховуючи середні тарифи на виконання операцій та середню балансову вартість локомотивів та основних фондів, рівняння для визначення оптимальної кількості маневрових локомотивів, після ділення чисельних значень на 10^8 , приймає наступний вигляд:

$$\begin{aligned} & 1,10 \cdot N_l^{2,093} - 852,72 \cdot N_l^{1,429} + 3,46 \cdot N_l^{1,375} - \\ & -56,56 \cdot N_l^{1,093} + 1155,45 \cdot N_l + \\ & +4,61 \cdot N_l^{0,375} + 9018,85 = 0. \end{aligned} \tag{19}$$

Розв'язуючи рівняння (19) методом простої ітерації (табл. 1), отримуємо корінь $N_l = 8,59$, оскільки для даного значення кореню функціонал $F(N_l)$ є найближчим до 0.

Таблиця 1

Розв'язання рівняння (19) методом простої ітерації

Ітерація для рівня 10^0		Ітерація для рівня 10^{-1}		Ітерація для рівня 10^{-2}	
Значення N_l	Значення $F(N_l)$	Значення N_l	Значення N_l	Значення $F(N_l)$	Значення N_l
0	9020,07	8,0	0	9020,07	8,0
1	9274,32	8,1	1	9274,32	8,1
2	8929,26	8,2	2	8929,26	8,2
3	8222,78	8,3	3	8222,78	8,3
4	7233,29	8,4	4	7233,29	8,4
5	6004,78	8,5	5	6004,78	8,5
6	4566,34	8,6	6	4566,34	8,6
7	2938,97	8,7	7	2938,97	8,7
8	1138,75	8,8	8	1138,75	8,8
9	-821,53	8,9	9	-821,53	8,9
10	-2931,40	9,0	10	-2931,40	9,0

На підставі проведених розрахунків можна стверджувати, що з урахуванням діючих обмежень, оптимальна кількість маневрових локомотивів станції Дніпропетровськ-Вантажний дорівнює 9.

Рівняння для визначення оптимальної кількості НРМ для обслуговування вагонів на станції, у відповідності до (17), приймає наступний чисельний вид (чисельні значення поділено на 10^{10}):

$$-9,06 \cdot N_g^{3,368} + 270,45 \cdot N_g + 5324,13 = 0. \tag{20}$$

Коренем отриманого рівняння (табл. 2) є значення $N_g=7,29$.

Остаточне значення оптимальної кількості механізмів на фронтах виконання вантажних робіт станції Дніпропетровськ-Вантажний дорівнює 7.

Виходячи з встановленої кількості НРМ, проводиться уточнення раніше визначеної необхідної кількості маневрових локомотивів. Було встановлено, що уточнена оптимальна кількість локомотивів для станції Дніпропетровськ-Вантажний становить 10 одиниць.

Таблиця 2

Розв'язання рівняння (20) методом простої ітерації

Ітерація для рівня 10^0		Ітерація для рівня 10^{-1}		Ітерація для рівня 10^{-2}	
Значення N_g	Значення $F(N_g)$	Значення N_g	Значення $F(N_g)$	Значення N_g	Значення $F(N_g)$
0	5324,13	7,0	857,35	7,20	278,46
1	5585,52	7,1	573,19	7,21	248,40
2	5771,48	7,2	278,46	7,22	218,23
3	5768,95	7,3	-27,02	7,23	187,96
4	5440,09	7,4	-343,46	7,24	157,57
5	4628,55	7,5	-671,07	7,25	127,08
6	3162,61	7,6	-1010,06	7,26	96,48
7	857,35	7,7	-1360,64	7,27	65,77
8	-2483,96	7,8	-1723,00	7,28	34,95
9	-7068,71	7,9	-2097,37	7,29	4,02
10	-13114,1	8,0	-2483,96	7,30	-27,02

Для оцінки ємності складських приміщень ТВК необхідно визначити максимальну кількість обсягу вантажу, що одночасно знаходиться на складі протягом визначеного періоду часу. Вирішення даної задачі проводиться шляхом імітаційного моделювання процесу надходження вантажів на склад і їх вивозу.

Розроблена програмна реалізація імітаційної моделі надходження і вивозу вантажів зі складу ТВК передбачає моделювання процесу надходження вантажів на склад з фронтів вантажних робіт та процесу прибуття транспортних засобів (автомобілів) для вивозу вантажів звідти.

Вхідними параметрами методу є значення періоду моделювання t , а також стохастичні величини інтервалу надходження автомобілів $\xi_{вих}$ і обсягу вантажу \tilde{q}_a , що вивозиться одним автомобілем. Математичне очікування інтенсивності вихідного вантажопотоку для складу визначається для відомих чисельних характеристик $\xi_{вих}$ і \tilde{q}_a по формулі:

$$\mu(\lambda_{вих}) = \frac{\mu(\tilde{q}_a)}{\mu(\xi_{вих})}, \tag{21}$$

де $\mu(\tilde{q}_a)$ – математичне очікування величини обсягу вантажу, що вивозиться одноразово автомобілем зі складу, т; $\mu(\xi_{вих})$ – математичне очікування величини інтервалу прибуття вантажних автомобілів на склад ТВК, год.

Інтервал $\zeta_i^{скл}$ надходження на склад партії вантажу, що була розвантажена з i -ого вагону, визначається як різниця часу закінчення обслуговування на фронті вантажних робіт поточного та попереднього вагонів:

$$\zeta_i^{скл} = t_i^{к.обсл} - t_{i-1}^{к.обсл}, \tag{22}$$

де $t_i^{к.обсл}$ – модельний час закінчення обслуговування на вантажному фронті i -ого вагону, год.

Для сукупності всіх вагонів, які були обслужені на фронтах вантажних робіт ТВК, значення інтенсивності $\lambda_{вх}$ вхідного потоку надходження вантажів на склад протягом періоду моделювання за умови, що всі вагони розвантажувалися на склад (значення частки вагонів, розвантажених по прямому варіанту, є нульовим $\eta_{пр}=0$), визначається із співвідношення:

$$\lambda_{вх} = \frac{\sum_{i=1}^{N_w} q_i \cdot \gamma_i}{\sum_{i=1}^{N_w} \xi_{скл}^i} \quad (23)$$

Для визначення максимального обсягу вантажу, що одночасно знаходиться на склад проводилася перевірка умови: чи перевищує модельований час надходження вантажу на склад відповідні значення модельованого часу прибуття на склад тих автомобілів, які ще не були завантажені:

$$t_i^{к.обсл} \geq t_j^{пр}, \forall j=1...N_i^a, \quad (24)$$

де $t_j^{пр}$ – модельний час прибуття на склад ТВК j -ого автомобіля, год.; N_i^a – кількість автомобілів зі змодельованого потоку, що не виїхали зі складу на момент закінчення обслуговування i -ого вагону.

Перевірку проводили для кожної партії вантажу, яка надійшла на склад з фронту ТВК з урахуванням змодельованого потоку автомобілів, які прибувають на цей склад для вивозу вантажів.

Значення обсягу вантажу на складі $Q_{скл}^i$ після надходження партії вантажу, яку було розвантажено на фронті з i -ого вагону, розраховується наступним чином:

$$Q_{скл}^i = Q_{скл}^{i-1} + q_i \cdot \gamma_i - \sum_{j=1}^{N_{вих}^i} q_{aj}, \quad (25)$$

де $Q_{скл}^{i-1}$ – обсяг вантажу, що залишився на складі після вивозу партії з попереднього вагону, т; $N_{вих}^i$ – кількість автомобілів зі змодельованого потоку; q_{aj} – обсяг вантажу, що вивозиться зі складу j -им автомобілем, т.

Для обґрунтування кількості опитів в серіях експерименту проведено ряд пілотних опитів, в результаті яких визначено, що випадкова величина максимального обсягу вантажу на складі ТВК має нормальний розподіл (рис. 3).

Регресійний аналіз результатів експерименту, проведений із використанням статистичних функцій MS Excel за методикою викладеною у [15], дозволяє стверджувати, що максимальна кількість вантажу на складі для розглянутих діапазонів вхідних змінних не залежить від значень інтенсивності вихідного потоку і має наступний вигляд:

$$Q_{скл}^{нотр} = \lambda_{вх}^{3,103} \quad (26)$$

Таким чином, оптимальна площа $S_{скл}^{опт}$ складських приміщень ТВК при обслуговуванні вагонопотоку із інтенсивністю $\lambda_{вх}$, за умови, що вантажі вивозяться з ТВК через склад, визначається по залежності:

$$S_{скл}^{опт} = \frac{\lambda_{вх}^{3,103}}{\sigma_{скл}} \quad (27)$$

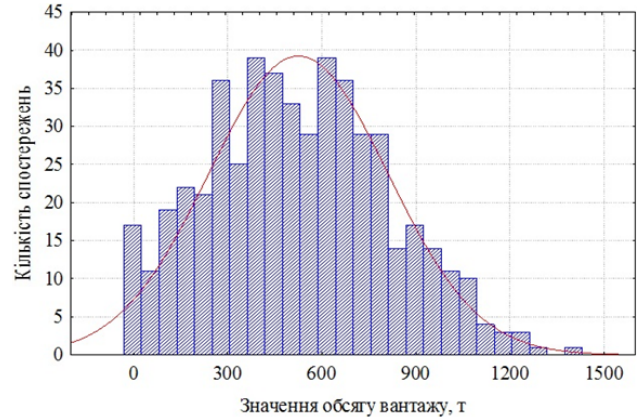


Рис. 3. Гістограма розподілу величини максимального обсягу вантажу на складі за результатами пілотного експерименту

Якщо частина вантажів перевантажується на фронті по прямому варіанту, то оптимальна площа складу ТВК може бути визначена із співвідношення:

$$S_{скл}^{опт} = \frac{\left[(1 - \eta_{пр}) \cdot \lambda_{вх} \right]^{3,103}}{\sigma_{скл}} \quad (28)$$

З урахуванням одержаних в результаті дослідження залежностей, формула для визначення оптимальної площі складських приміщень приймає вигляд:

$$S_{скл}^{опт} = \frac{1}{\sigma_{скл}} \cdot \left[\frac{(1 - \eta_{пр}) \cdot \xi_q \cdot q_w}{\xi_t \cdot \mu_{оп}} \right]^{3,103} \quad (29)$$

Для станції Дніпропетровськ-Вантажний, згідно з результатами проведених статистичних досліджень, вхідна інтенсивність вагонопотоку $\lambda_{вх}$ по всім під'їзним коліям становить 9,74 ваг/год (табл. 3).

Таблиця 3

Оцінка інтенсивності вагонопотоку станції Дніпропетровськ-Вантажний

Під'їзна колія	Математичне очікування інтервалу прибуття, хв.	Математичне очікування кількості вагонів в подачі, ваг.	Інтенсивність вхідного вагонопотоку, ваг/год.
Дніпропетровськ-Ліски	323	9,8	1,82
ВАТ «Дніпрошина»	289	6,28	1,30
ТОВ «Технокредо»	379	4,59	0,73
ДП «Локомотив»	386	10,95	1,70
ВАТ «ДМП»	299	3,72	0,75
ТОВ ВФ Ера	304	10,93	2,16
ТОВ «ДМК»	311	6,65	1,28
Всього по станції	–	–	9,74

Значення інтенсивності вхідного вагонопотоку в табл. 3 оцінено як відношення математичного очікування кількості вагонів в подачі до інтервалу надходження вагонів. Вхідна інтенсивність по станції в цілому визначається як сума інтенсивностей вагонопотоку по окремим під'їзним коліям:

$$\lambda_{\text{вх}} = \sum_{i=1}^{N_d} \frac{60 \cdot \mu_w}{\mu_c}, \quad (30)$$

де N_d – кількість під'їзних колій вантажної станції.

Для визначеного значення інтенсивності $\lambda_{\text{вх}}$ на підставі отриманої залежності (26) при $\sigma_{\text{скл}}=1,2 \text{ т/м}^2$ [9] оптимальна площа складських приміщень станції Дніпропетровськ-Вантажний становить 973 м^2 , що відповідає ємності в 1168 т.

5. Теоретичне та практичне значення результатів дослідження залежності критерію ефективності від виробничих ресурсів

В роботі одержано залежності значень обраного критерію ефективності ТВК – відношення прибутку до вартості основних фондів від кількості виробничих ресурсів. З використанням одержаних залежностей проведено оптимізацію технічного оснащення ТВК на базі станції Дніпропетровськ-Вантажний Придніпровської залізниці (Україна).

Розроблений метод може бути використаний як для удосконалення технічного оснащення існуючих комплексів, так і для визначення параметрів ТВК на стадії проектування з метою зменшення капітальних витрат на будівництво та підвищення рівня транспортного обслуговування споживачів транспортних послуг.

6. Висновки

Проведені експериментальні дослідження дозволили визначити функціональну залежність експлуатаційних витрат ТВК від кількості виробничих ресурсів. Результати досліджень показують, що експлуатаційні витрати на функціонування маневрових локомотивів і роботу механізмів на фронті вантажних робіт мають складну поліноміальну залежність від кількості обслуговуваних одиниць.

Теоретичні дослідження дозволили отримати рівняння для визначення оптимальних значень кількості маневрових локомотивів і кількості НРМ. Чисельне вирішення рівнянь методом простих ітерацій дозволяє обґрунтувати значення кількості виробничих ресурсів, що забезпечують максимальне значення критерію ефективності функціонування ТВК при відомих параметрах попиту на послуги підприємств вантажного комплексу.

Проведений імітаційний експеримент для процесу надходження вантажів на склад з фронту вантажних робіт та їх вивозу зі складу автомобільним транспортом дозволив визначити, що оптимальна ємність складських приміщень ТВК ступенево залежить від інтенсивності вхідного вагонопотоку.

Література

- Полякова, О. М. Аспекти розміщення вантажних транспортно-логістичних комплексів в Україні [Текст] / О. М. Полякова // Вісник економіки транспорту і промисловості: Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2004. – № 8. – С. 143–146

- Окороков, А. М. Стратегічне управління транспортним вантажним комплексом [Текст] / А. М. Окороков // Наука та прогрес транспорту – 2014. – № 4 (52). – С. 101–110.
- Елисеєв, С. Ю. Логистическое управление грузовыми перевозками в транспортных узлах [Текст] / С. Ю. Елисеєв // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 1. – С. 32–36.
- Елисеєв, С. Ю. Разработка принципов технологического взаимодействия смежных видов транспорта в транспортных узлах на основе создания координационно-логистических центров [Текст] / С. Ю. Елисеєв // Транспорт, наука, техника, управление. – 2010. – № 1. – С. 35–40.
- Миротин, Л. Б. Интегрированная логистика након пильно-распределительных комплексов (склады, транспортные узлы, терминалы): Учебник для транспортных вузов [Текст] / под общ. ред. Л. Б. Миротина. – М.: Издательство «Экзамен», 2003. – 448 с.
- Нагорний, Є. В. Методика оцінки ефективності створення транспортно-вантажних комплексів в Дніпропетровському транспортному вузлі [Текст] / Є. В. Нагорний, А. М. Окороков // Збірник наукових праць Дніпр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. академіка В.Лазаряна. – 2012. – Вип. 3. – С. 73–76.
- Окороков, А. М. Цільова функція процесу транспортно го обслуговування вантажовласників в транспортному вантажному комплексі [Текст] / А. М. Окороков // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2013. – № 36. – С. 20–25.
- Окороков, А. М. Методика тактичного управління трані спортним вантажним комплексом [Текст] / А. М. Окороков // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – Т. 6, № 3 (60). – С. 15–18. – Режим доступу: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/5397/4856>
- Vanselow, S. What transportation providers gain from an integrated TMS platform [Electronic resource] / S. Vanselow. – Available at: <http://www.inboundlogistics.com>
- Layar, S. Smart Strategies for Logistics Cost Optimization [Electronic resource] / S. Layar, A. Rahalkar. – Available at: <http://www.industryweek.com>
- Vertachnik, D. Developing a comprehensive transportation strategy [Electronic resource] / D. Vertachnik. – Available at: <http://www.inboundlogistics.com>
- Жуковицький, І. В. Принципи побудови системи підтримки прийняття рішень і управління вантажними перевезеннями на основі аналітичних серверів АСК ВП УЗ [Текст] / І. В. Жуковицький, В. В. Скалозуб, А. Б. Устинко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – № 17. – С. 28–34.
- Mathews, J. H. Numerical Methods Using Matlab Fourth Edition [Text] / J. H. Mathews, K. K. Fink. – Prentice-Hall Pub. Inc., 2004. – 696 p.
- Epps, T. W. Probability and Statistical Theory for Applied Researchers [Text] / T. W. Epps. – World Scientific Pub., 2013 – 803 p. doi: 10.1142/8831
- Popescu, I. Regression Analysis using Excel [Electronic resource] / I. Popescu. – Available at: <http://faculty-course.insead.edu/popescu/emba/Regression%20in%20Excel.pdf>