

О.В. Павленко, О.П. Калініченко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ВАРІАНТА ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ СКЛАДУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ВИСОКОМАНЕВРЕНИХ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БАГАТОВІСНИХ АВТОМОБІЛІВ

У статті розроблені варіанти визначення ефективної технології роботи складу при використанні високоманеврених та енергоефективних багатовісних автомобілів. Розроблені математичні моделі визначення ефективного варіанта технології роботи складу при використанні запропонованих механізмів, які враховують значення параметрів впливу та особливість виконання операцій на складі.

Ключові слова: модель, технологія, складська система, технічні засоби.

Постановка проблеми

Виробничий процес пов'язаний із набором нових процедур, без яких основна виробнича діяльність підприємства була б суттєво скомпрометована. Для забезпечення безперервності виробництва в будь-якій виробничій системі необхідно мати постійне надходження різноманітних матеріалів, а це означає, що необхідно мати відповідний склад як частину глобальної логістичної підтримки. Загалом ця діяльність включає потік матеріалів між просторо-розов розосередженими виробничими відділами, робочими місцями та складськими приміщеннями, які взаємопов'язані у виробничому ланцюгу [1].

Дослідження, пов'язані з процесами складування, в основному орієнтовані на аналіз та теорію і не надають системного методу раціоналізації складських процесів. Основна увага приділяється процесу комплектації замовлень та його вдосконаленню на складі дистриб'юторської компанії. У статті [1] автори пропонують комплексний підхід до аналізу та оптимізації складу з використанням декількох інструментів, запозичених з ощадливого виробництва. Використання такого підходу було представлено на прикладі проектування складу та ефективного використання складського обладнання (навантажувально-розвантажувальних механізмів). Таким чином, для підвищення ефективності використання засобів механізації треба будувати нові технології на нестандартних рішеннях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як зазначається в [2], ситуація на ринку складської логістики у 2022 році після початку повномасштабної війни відбулися наступні зміни: закрились наші кордони з країнами агресорами, а компанії, які мали відповідні логістичні відносини з ними, змінили напрямки ланцюгів постачання; більшість

компаній «релокувались» частково або повністю з небезпечних в більш безпечні регіони України; були закриті морські порти; перебої в роботі через відключення електропостачання; частково змінилась купівельна спроможність населення та відбувся відповідний перерозподіл попиту.

Проектування та організація технології роботи сучасного складського господарства – це складний комплексний процес, який потребує підходу на засадах системності, залучення висококваліфікованих фахівців та врахування багатьох чинників, які впливають на визначення значної кількості параметрів території та всього складу, підбір технічного обладнання та програмного забезпечення, якісної розробки та відповідного впровадження технології переробки вантажів тощо [3]. Тому для вибору та обґрунтування управлінських рішень для розробки або модернізації технології роботи складу необхідно ефективно використовувати сучасні методи дослідження.

Основними проблемами в організації роботи складів можуть бути: ефективне використання складських ресурсів [4, 5], комплексна оптимізація роботи багаторівневих складських систем [6, 7], побудова логістичного управління рухом матеріалопотоків на складах [8], забезпечення функціонування у нестандартних умовах [9, 10].

В роботах із вдосконалення технології роботи складів та терміналів основна увага приділена розвитку ефективної взаємодії на всіх ділянках виконання складських операцій під впливом випадкових факторів. Аналіз технології роботи складів, які працюють на ринку України, дозволив виявити недоліки в її організації: не враховані можливі варіанти виконання основних складських операцій при зміні значень параметрів технологічного процесу, не використовуються ефективно складські ресурси для виконання відповідних операцій, а також не використовуються можливості з впровадження в техноло-

гію роботи складу сучасних технічних засобів виконання навантажувально-розвантажувальних операцій. Тому для раціональної роботи всього комплексу складських операцій та відповідного підвищення продуктивності зі зниженням витрат на доставку вантажів на існуючих складах з інтенсивними потоками товарів необхідно впроваджувати ефективну технологію роботи складу, використовуючи високоманеврені та енергоефективні багатовісні автомобілі.

Формулювання мети статті

Метою даної роботи є побудова методики визначення ефективного варіанта технології роботи складу при використанні високоманеврених та енергоефективних багатовісних автомобілів. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити задачі:

- розробити альтернативні варіанти організації роботи складу;
- розробити математичні моделі визначення ефективного варіанта технології роботи складу при використанні високоманеврених та енергоефективних багатовісних автомобілів.

Виклад основного матеріалу

Склад в сучасних умовах відіграє дуже важливу роль в системі постачання продукції і при цьому представляє собою складну технічну споруду, яка може складатися з численних взаємозалежних підсистем, має характерну структуру і виконує достатню кількість функцій з переробки матеріальних потоків, а також операцій з приймання, розміщення, накопичення, збереження, переробки та розподілу різних видів вантажів між замовниками. Крім операцій, пов'язаних зі складуванням вантажів, на складі можуть виконуватися ще й внутрішньоскладські дії. До них відносять: транспортування, навантаження, розвантаження, сортування, комплектування та проміжні перевантажувальні операції. Тому склад будемо розглядати як транспортно-складські комплекси, в яких процеси переміщення визначених видів вантажів відіграють важливу роль.

Організація роботи складу має відповідати ряду технологічних вимог:

- 1) відповідність площі та місткості існуючих складських приміщень характеру та обсягу технологічних операцій;
- 2) відповідність параметрів і відповідних конфігурацій складських будівель вимогам ефективної технології виконання операцій;
- 3) створення раціональних умов потокової організації технологічного процесу, яка передбачає зведення до мінімуму внутрішніх складських перегородок.
- 4) експлуатація складських ділянок забезпечує необхідну кількість проїздів, виїздів та під'їздів;

5) необхідне планування системи руху технічних засобів територією складу, місць для стоянок, при цьому рух транспортних засобів має бути без обмежень;

6) експлуатація складів зі спеціальним призначенням має відповідати раціональній організації технологічного процесу при прийманні, зберіганні та відвантаженні продукції, яка має специфічні фізико-хімічні властивості.

У дослідження пропонується для більш ефективної технології роботи складу використовувати високоманеврені та енергоефективні багатовісні автомобілі з двома двовісними поворотними платформами з можливістю руху «боком», «крабом» та поворотом навколо вертикальної центральної осі з малим радіусом (рис. 1). Запропонована конструкція кафедрами Харківського національного автомобільно-дорожнього університету: «Автомобілів», «Деталей машин і теорії механізмів і машин», «Технології машинобудування і ремонту машин». Основна перевага його конструкції повинна дозволити зменшити витрати часу на маневрування, переміщення вантажу між майданчиками в умовах обмеженого простору.

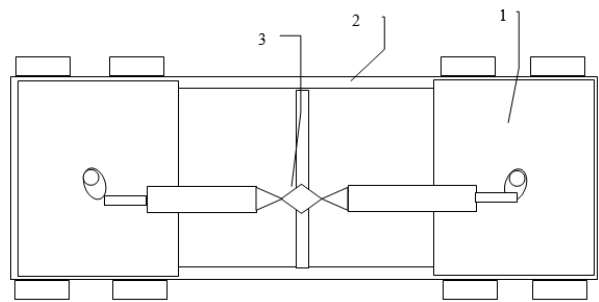


Рис. 1. Схематичне представлення технічних особливостей високоманевреного багатовісного автомобіля для виконання складських робіт: 1 – поворотний візок з двома осями; 2 – основна рама автомобіля; 3 – гідравлічний механізм повертання візків

Переваги конструкції механізму, що пропонується, повинні дозволити зменшити ширину проїзду між стелажми в зоні зберігання складу, на ділянці приймання та видачі вантажу площу можна зменшити. Тобто необхідно розглянути складський об'єкт, на якому встановлені за нормою існуючих стандартів (НПАОП 0.00-1.75-15 – «Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт») стелажі, проходи та проїзди (рис. 2). На якому може працювати як стандартний навантажувач (електричного типу – ЕН) зі схожими технічними характеристиками за вантажопідйомністю та розмірами, так і запропонований засіб – високоманеврений багатовісний автомобіль.

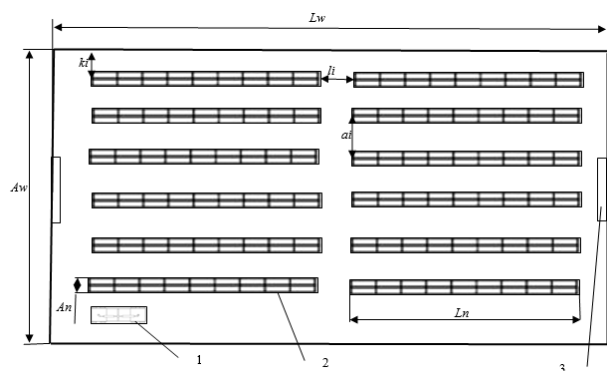


Рис. 2. Схематичне представлення складу зі стелажми з позначеннями параметрів

На рис. 2 представлені наступні позначення: 1 – засіб навантаження–розвантаження (високоманеврений багатовісний автомобіль); 2 – стелажі для зберігання вантажів; 3 – ворота для виїзду на платформу навантаження–розвантаження вантажу; L_w – довжина складу, м; A_w – ширина складу, м; k_i – ширина проїзду між стелажми та стінкою складу, відповідного i -того розміру, м; l_i – відстань між стелажми основного проїзду, відповідного i -того розміру, м; a_i – відстань між проміжними стелажми, відповідного i -того розміру, м; A_n – ширина стелажу для зберігання вантажу, м; L_n – довжина стелажу для зберігання вантажу, м.

Таким чином, в дослідженні будуть розглядатися два варіанти організації роботи складу:

1) варіант 1 – як засіб механізації для проведення операцій на складі з навантаження–розвантаження, переміщення використовується стандартний механізм – електронавантажувач (ЕН);

2) варіант 2 – використовується запропонований високоманеврений багатовісний автомобіль (ВБА) для здійснення відповідних складських операцій.

Як оцінний показник вибору варіанта технології роботи складу в статті пропонується сумарна площа складу, яка буде задіяна для виконання всіх складських операцій.

Для виконання технологічних операцій з вантажем на всій площі складу виділяються основні зони:

– зона розвантаження вантажу з транспортних засобів;

– зона приймальної експедиції, де відбувається приймання вантажу за кількістю місць, короткочасне збереження вантажів, що прибули, до передачі на основний склад;

– зона ділянки приймання: вантаж приймають за кількістю та якістю, відбувається маркування, сортування та розкомплектування партій вантажу;

– зона зберігання: розміщення вантажу на збереження, облік вантажу, відбір вантажу з місць

збереження;

– зона комплектування: формування визначених вантажних одиниць, що містять підібраний відповідно до замовлень обсяг вантажу, упакування вантажних одиниць, їх маркування;

– зона відправної експедиції, де відбувається короткочасне збереження підготовленої до відправлення вантажної партії, оформлення перевізних та відповідних документів;

– зона навантаження на транспортні засоби.

Всі ці зони формують сумарну площу складу (S_{tot}^w), яка складається з множини відповідних площ

$$S_{tot}^w = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}, \quad (1)$$

де S_1, S_2, \dots, S_n – відповідні площі зон складу, м²;

n – номер відповідної зони складу.

На оцінний показник мають вплив параметри: обсяг одиниці вантажу, яка проходить через склад (q_c), т; час на виконання операцій при навантаженні (розвантаженні) вантажу на складі ($t_{u(l)}$), год; час на виконання операцій при переміщенні вантажу навантажувачом на складі (t_{tr}), год; навантаження одиниці вантажу на площу складу (H_s), т/м².

Для визначеного оцінчного параметру – сумарна площа складу, побудуємо цільову функцію

$$S_{tot}^w = f(q_c, t_{u(l)}, t_{tr}, H_s) \rightarrow \min. \quad (2)$$

Значення параметрів в системі обмеження визначені під час аналізу роботи складів компаній, які працюють в Україні:

$$\begin{cases} 48 \leq q_c \leq 280, \text{ т;} \\ 0,02 \leq t_{u(l)} \leq 1,1 \text{ год;} \\ 0,013 \leq t_{tr} \leq 0,1 \text{ год;} \\ 0,34 \leq H_s \leq 2,1 \text{ т/м}^2. \end{cases} \quad (3)$$

Виходячи з визначених зон складу та технології його роботи, можна встановити складові сумарної площі складу:

$$S_{tot}^w = S_{st}^w + S_{aux}^w + S_{rec}^w + S_{as}^w + S_{wp}^w + S_{re}^w + S_{de}^w, \quad (4)$$

де S_{st}^w – площа зони зберігання, яка зайнята стелажми для зберігання вантажів, м²;

S_{aux}^w – допоміжна площа, яка зайнята проїздами та проходами на складі, згідно з нормативами безпеки та будівництва, м²;

S_{rec}^w – площа ділянки приймання вантажу на складі, м²;

S_{as}^w – площа ділянки комплектування вантажу на складі, м²;

S_{wp}^w – площа в приміщеннях складу, яка відведена для обладнання робочих місць працівників складу, м²;

S_{re}^w – площа експедиції приймання вантажу на складі, м²;

S_{de}^w – площа експедиції відправлення вантажу зі складу, м².

Площа зони зберігання, яка зайнята стелажимами для зберігання вантажів:

$$S_{st}^w = \frac{Q_{aw} \cdot D_s \cdot k_{ul}}{D_w \cdot k_{uv} \cdot H_s}, \quad (5)$$

де Q_{aw} – величина річного обсягу вантажу, який переробляється на складі, т;

D_s – середня величина тривалості зберігання запасів вантажу на території складу, дів;

k_{ul} – коефіцієнт нерівномірності завантаження площі складу;

D_w – кількість дів роботи складу протягом року, дів;

k_{uv} – коефіцієнт використання об'єму складу (корисного);

H_s – навантаження одиниці вантажу на площу складу, т/м².

Величина річного обсягу вантажу, який переробляється на складі:

$$Q_{aw} = \frac{q_c \cdot k_{ir} \cdot T_w^W \cdot D_w}{T_c}, \quad (6)$$

де q_c – обсяг одиниці вантажу, яка проходить через склад, т;

T_w^W – час роботи складського обладнання протягом доби, год;

k_{ir} – коефіцієнт використання продуктивності засобів навантаження–розвантаження;

T_c – час циклу роботи механізму при роботі на складі, год.

Час циклу роботи механізму при роботі на складі:

$$T_c = (t_u + t_l + t_{tr}) \cdot \varphi + t_{ad}, \quad (7)$$

де t_u – час на виконання операцій при розванта-

женні вантажу на складі, год;

t_l – час на виконання операцій при навантаженні вантажу на складі, год;

t_{tr} – час на виконання операцій при переміщенні вантажу навантажувачем на складі, год;

φ – коефіцієнт суміщення відповідних операцій протягом робочого циклу;

t_{ad} – час на виконання додаткових операцій при виконанні вантажних операцій на складі, год.

Допоміжна площа, яка зайнята проїздами та проходами на складі, згідно з нормативами безпеки та будівництва, визначається за формулою:

$$S_{aux}^w = \frac{A_w \cdot L_w \cdot q_c \cdot T_w^W}{Q_{sw} \cdot T_c}, \quad (8)$$

де Q_{sw} – середньодобовий обсяг вантажу, який зберігається на складі, т.

Площа ділянки приймання вантажу на складі:

$$S_{rec}^w = \frac{Q_{aw} \cdot k_{ul} \cdot s_c \cdot t_{rec}}{D_w \cdot H_s}, \quad (9)$$

де s_c – частка відповідної кількості вантажів, яка проходить крізь ділянку приймання складу, од.;

t_{rec} – час знаходження вантажу на ділянці приймання складу, год.

Площа ділянки комплектування вантажу на складі:

$$S_{as}^w = \frac{Q_{aw} \cdot k_{ul} \cdot s_k \cdot t_k}{D_w \cdot H_s}, \quad (10)$$

де s_k – частка відповідної кількості вантажів, яка проходить крізь ділянку комплектування на складі, од.;

t_k – час знаходження вантажу на ділянці комплектування на складі, год.

Площа в приміщеннях складу, яка відведена для обладнання робочих місць працівників складу, приймається згідно з нормативом: виходячи із числа працюючого адміністративно-керівного та обслуговуючого персоналу (коли штат із 3 робітників, площа приміщення приймається по 5 м² на кожного, від 3 до 5 – по 4 м², якщо 5 – по 3,25 м²):

$$S_{wp}^w = N_{wr} \cdot S_n, \quad (11)$$

де N_{wr} – кількість робітників, які працюють на ділянках складу, роб.;

S_n – нормативна площа, яка відведена для об-

ладнання робочих місць працівників складу, роб./м².

Площа експедиції приймання вантажу на складі:

$$S_{re}^w = \frac{Q_{aw} \cdot k_{ul} \cdot s_{re} \cdot t_{re}}{D_w \cdot H_s}, \quad (12)$$

де s_{re} – частка вантажів, яка проходить через приймальню експедицію, од.;

t_{re} – час знаходження вантажу в експедиції приймання, год.

Площа експедиції відправлення вантажу зі складу:

$$S_{se}^w = \frac{Q_{aw} \cdot k_{ul} \cdot s_{se} \cdot t_{se}}{D_w \cdot H_s}, \quad (13)$$

де s_{se} – частка вантажів, яка проходить через експедицію відправлення, од.;

t_{se} – час знаходження вантажу в експедиції відправлення, год.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Запропоновано для визначення ефективного варіанта технології роботи складу при використанні високоманеврених та енергоефективних багатовісних автомобілів розглядати цей процес у вигляді двох варіантів їх організації за участю електронавантажувача (перший варіант) та запропонованого механізму (другий варіант). Для формування цих варіантів визначені послідовність технології роботи складу, технічні характеристики засобів механізації, а також розроблене схематичне представлення складу зі стелажками.

Побудовані математичні моделі визначення ефективного варіанта технології роботи складу при використанні високоманеврених та енергоефективних багатовісних автомобілів за складовими оціночного параметру – площа складу, з урахуванням системи обмежень. При цьому в системі обмежень враховані відповідні фактори впливу: обсяг одиниці вантажу, яка проходить через склад; час на виконання операцій при навантаженні (розвантаженні) вантажу на складі; час на виконання операцій при переміщенні вантажу навантажувачем на складі; навантаження одиниці вантажу на площу складу.

У подальшому планується побудувати імітаційну модель технології роботи складу при використанні високоманеврених та енергоефективних багатовісних автомобілів за допомогою програмного середовища та визначити ефективний варіант при встановлених умовах.

Література

1. Đurđević D. Rationalization of a Core Warehouse in the Casting Plant: A Case Study / D. Đurđević, S. Manasijević, M. Miljuš // *Transactions of FAMENA*. – 2019. – Vol. 43, No. 4. – P. 109–121. – DOI: [10.21278/TOF.43409](https://doi.org/10.21278/TOF.43409).
2. Ринок складської нерухомості України в умовах перебудови ланцюгів постачання [Електрон. ресурс] / Судноплавство : сайт. – Одеса, 2023. – Оновлюється постійно. – Режим доступу: <https://ua.sudohodstvo.org/rynok-skladskoyi-neruhomosti-ukrayiny-v-umovah-perebudovy-lanczyugiv-postachannya/>, вільний (дата звернення: 19.09.2023).
3. Estimating optimal ABC zone sizes in manual warehouses / A. Silva, K. J. Roodbergen, L. C. Coelho, M. Darvish // *International Journal of Production Economics*. – 2022. – Vol. 252. – Article 108579. – DOI: [10.1016/j.ijpe.2022.108579](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108579).
4. Warehouse performance measurement: a literature review / F. H. Staudt, G. Alpan, M. Di Mascolo, C. M. T. Rodriguez // *International Journal of Production Research*. – 2015. – Vol. 53, Issue 18. – P. 5524–5544. – DOI: [10.1080/00207543.2015.1030466](https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1030466).
5. Warehouse performance measurement: classification and mathematical expressions of indicators / F. H. Staudt, M. Di Mascolo, G. Alpan, C. M. T. Rodriguez // *Proceedings of the 5th International Conference in Information Systems, Logistics and Supply Chain – ILS 2014, Breda (Netherlands), August 24–27, 2014 yr. – Breda (Netherlands) : Dinalog ; BETA ; TRAIL, 2014. – P. 1–9. – Regime of access: https://hal.science/hal-01242034/document, free (date of the application: 19.09.2023).*
6. Таран І. О. Оптимізація функціонування складського комплексу з фронтальними стелажками у середовищі AnyLogic / І. О. Таран, В. В. Литвин, І. Ю. Клименко // *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. – 2023. – № 1 (20). – С. 261–272. – DOI: [10.36910/automash.v1i20.1055](https://doi.org/10.36910/automash.v1i20.1055).
7. Павленко О. В. Модель функціонування системи доставки насіння зернових культур у контейнерах з США до України / О. В. Павленко, Д. О. Музильов // *Комунальне господарство міст*. Серія: *Технічні науки та архітектура*. – 2022. – № 4 (171). – С. 179–184. – DOI: [10.33042/2522-1809-2022-4-171-179-184](https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-4-171-179-184).
8. Kocaman Y. Aisle designs in unit-load warehouses with different flow policies of multiple pickup and deposit points / Y. Kocaman, Ö. Öztürkoğlu, Ş. Gümüşoğlu // *Central European Journal of Operations Research*. – 2021. – Vol. 29. – P. 323–355. – DOI: [10.1007/s10100-019-00646-9](https://doi.org/10.1007/s10100-019-00646-9).
9. Mathematical Modeling as a Tool for Selecting a Rational Logistical Route in Multimodal Transport Systems / O. Pavlenko, D. Muzylyov, N. Shramenko, D. Cagaňová, V. Ivanov // *Industry 4.0 Challenges in Smart Cities. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing / ed. by D. Cagaňová, N. Horňáková. – Cham (Switzerland) : Springer, 2023. – P. 23–37. – DOI: 10.1007/978-3-030-92968-8_2*.
10. Management of the grain supply chain during the conflict period: case study Ukraine / O. Pavlenko, D. Muzylyov, V. Ivanov, M. Bartoszuik, J. Jozwik // *Acta Logistica*. – 2023. – Vol. 10, Issue 3. – P. 393–402. – DOI: [10.22306/al.v10i3.406](https://doi.org/10.22306/al.v10i3.406).

References

1. Đurđević, D., Manasijević, S., & Miljuš, M. (2019). Rationalization of a Core Warehouse in the Casting Plant: A Case Study. *Transactions of FAMENA*, 43(4), 109–121. DOI: [10.21278/TOF.43409](https://doi.org/10.21278/TOF.43409)
2. Sivkova, T. (2023, August 16). *Ukrainian warehouse property market in the context of supply chain restructuring*. Shipping (Sudnoplavstvo). Retrieved from <https://ua.sudohodstvo.org/rynok-skladskoyi-neruhomosti-ukrayiny-v-umovah-perebudovy-lanczyugiv-postachannya/>

[in Ukrainian]

3. Silva, A., Roodbergen, K. J., Coelho, L. C., & Darvish, M. (2022). Estimating optimal ABC zone sizes in manual warehouses. *International Journal of Production Economics*, 252, 108579. DOI: [10.1016/j.ijpe.2022.108579](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108579)
4. Staudt, F. H., Alpan, G., Di Mascolo, M., & Rodriguez, C. M. T. (2015). Warehouse performance measurement: a literature review. *International Journal of Production Research*, 53(18), 5524–5544. DOI: [10.1080/00207543.2015.1030466](https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1030466)
5. Staudt, F. H., Di Mascolo, M., Alpan, G., & Rodriguez, C. M. T. (2014). Warehouse performance measurement: classification and mathematical expressions of indicators. *Proceedings of the 5th International Conference in Information Systems, Logistics and Supply Chain – ILS 2014*, (pp. 1–9). Dinalog, BETA, TRAIL. Retrieved from <https://hal.science/hal-01242034/document>
6. Taran, I., Lytvyn, V., & Klymenko, I. (2023). Optimization of the functioning of a warehouse complex with front shelves in the AnyLogic environment. *Advances in mechanical engineering and transport*, 1(20), 261–272. DOI: [10.36910/automash.v1i20.1055](https://doi.org/10.36910/automash.v1i20.1055) [in Ukrainian]
7. Pavlenko, O., & Muzylyov, D. (2022). Model of functioning cereals seed delivery system in containers from the USA to Ukraine. *Municipal Economy of Cities. Series: Engineering science and architecture*, 4(171), 179–184. DOI: [10.33042/2522-1809-2022-4-171-179-184](https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-4-171-179-184) [in Ukrainian]
8. Kocaman Y., Öztürkoğlu Ö., & Gümüşoğlu, Ş. (2021). Aisle designs in unit-load warehouses with different flow policies of multiple pickup and deposit points. *Central European Journal of Operations Research*, 29, 323–355. DOI: [10.1007/s10100-019-00646-9](https://doi.org/10.1007/s10100-019-00646-9)
9. Pavlenko, O., Muzylyov, D., Shramenko, N., Cagaňová, D. & Ivanov, V. (2023). Mathematical Modeling as a Tool for Selecting a Rational Logistical Route in Multimodal Transport Systems. In D. Cagaňová, & N. Horňáková (Eds.), *Industry 4.0 Challenges in Smart Cities. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing* (pp. 23–37). Springer, Cham. DOI: [10.1007/978-3-030-92968-8_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92968-8_2)
10. Pavlenko, O., Muzylyov, D., Ivanov, V., Bartoszuk, M., & Jozwik, J. (2023). Management of the grain supply chain during the conflict period: case study Ukraine. *Acta Logistica*, 10(3), 393–402. DOI: [10.22306/al.v10i3.406](https://doi.org/10.22306/al.v10i3.406)

Рецензент: д-р техн. наук, проф. П.Ф. Горбачов, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.

Автор: ПАВЛЕНКО Олександр Вікторович
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – tpov@ukr.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4237-4310>

Автор: КАЛІНІЧЕНКО Олександр Петрович
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – kttkap@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9024-3668>

METHODOLOGY FOR DETERMINING AN EFFECTIVE VARIANT OF WAREHOUSE OPERATION TECHNOLOGY WHEN USING HIGHLY MANOEUVRABLE AND ENERGY-EFFICIENT MULTI-AXLE VEHICLES

O. Pavlenko, O. Kalinichenko

Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

The article establishes that warehousing operations required in the cargo delivery system can take up a significant amount of time and affect the quality of performed work. An analysis of the situation in the warehouse real estate market has shown that there are prospects for the construction and development of existing warehouses through the introduction of new technologies and solutions to improve technical means of production. Therefore, for the rational operation of the entire complex of warehouse operations and the corresponding increase in productivity with a reduction in the cost of delivery of goods in existing warehouses with intensive flows of goods, it is necessary to introduce an efficient warehouse technology using highly manoeuvrable and energy-efficient multi-axle vehicles. The article analyses the scientific developments of the theoretical foundations for determining an effective variant of warehouse technology by Ukrainian and foreign scientists. The work on improving the technology of warehouses and terminals focuses on the development of effective interaction in all areas of warehouse operations under the influence of random factors. The analysis of the technology of warehouses operating in the Ukrainian market has revealed shortcomings in its organisation: possible options for performing basic warehouse operations when changing the values of technological process parameters are not taken into account, warehouse resources are not used effectively to perform the relevant operations, and opportunities for introducing new technologies into the warehouse technology are not taken advantage of. It is proposed to determine an effective variant of the warehouse operation technology when using highly manoeuvrable and energy-efficient multi-axle vehicles to consider this process in the form of two variants of their organisation with the participation of an electric forklift (first variant) and the proposed mechanism (second variant). To form these variants, the sequence of warehouse operation technology, technical characteristics of mechanisation equipment, and a schematic representation of a warehouse with racks have been determined. The total area of the warehouse was chosen as the objective function of solving the problem of determining an effective variant of warehouse technology when using highly manoeuvrable and energy-efficient multi-axle vehicles, taking into account the system of constraints. The system of constraints includes the relevant factors of influence: the volume of a unit of cargo that passes through the warehouse; time to perform operations when loading (unloading) cargo in the warehouse; time to perform operations when moving cargo by a forklift in the warehouse; loading of a unit of cargo on the warehouse area.

Keywords: model, technology, warehouse system, technical means.