

ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ У ПРОЦЕСІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДСЬКОЇ СИСТЕМИ

Павленко О. В., Рижиков М. В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. У статті розглянуті умови використання матеріальних та людських ресурсів у процесі функціонування складської системи на основі виробничого підприємства. Розроблена структурна модель елементів складської системи. Формалізовано процес функціонування елементів складської системи. Розроблені прогностичні моделі степеневого типу для трьох запропонованих варіантів використання ресурсів.

Ключові слова: складська логістика, виробниче підприємство, ресурси, регресія.

Вступ

Нині складським компаніям складно надавати адекватні послуги, які б відповідали потребам кінцевих користувачів з різноманітними та непередбачуваними замовленнями [1]. Традиційно велика кількість процесів складської логістики, зокрема перевірка, розміщення, сортування та пакування, здійснюються напівавтоматично [2]. Це призводить до низької операційної ефективності й не відповідає вимогам електронної комерції, тобто своєчасності, точності та швидкості.

Незважаючи на виклики, спричинені війною в Україні, ринок складської нерухомості продовжує демонструвати достатню стійкість, ставши одним із найстабільніших сегментів українського ринку комерційної нерухомості [3]. У першому півріччі 2024 року обсяг угод оренди продемонстрував впевнене зростання. Загальна поглинена площа збільшилась в 3 рази, як порівняти з першим півріччям 2023 року, і склала приблизно 85000 м². Більша частина загальної площі, що засвоєна, припадає на угоди попередньої оренди в нових об'єктах, будівництво яких наближається до завершення (більше ніж 60 %) [3].

Наявні тенденції розвитку в Україні складської логістики становлять систему участі складських елементів у доставці різноманітних видів вантажів: використання різних видів транспорту для доставки одного вантажу (комбіновані перевезення); розташування складів поблизу автомагістралей, залізничних станцій та аеропортів, кооперація всередині складів або з іншими складами в інших регіонах чи прикордонних з іншими країнами; розташування на околицях міст; концентрація складів поблизу великих міст.

Тому для успішного вирішення всіх завдань і операцій у роботі сучасних складсь-

ких систем, де сконцентровані товарні потоки, а також для зниження витрат на оброблення вантажів необхідно впроваджувати ефективні технологічні процеси, засновані на передових розробках і спрямовані на економію всіх видів ресурсів, що використовуються в роботі складських систем.

Аналіз публікацій

Нині складно надати відповідні складські послуги компаніям, які пропонують логістичні послуги, щоб повною мірою задовольнити потреби кінцевих користувачів із різноманітними та непередбачуваними замовленнями [4]. Традиційно велику кількість завдань сучасної складської логістики, наприклад перевірку, розміщення, сортування та пакування, здійснюють напівавтоматично. Це може призводити до низької операційної ефективності та не відповідати вимогам електронної комерції до своєчасності, точності та відповідної швидкості. Удосконалення інформаційних технологій та автоматизації наступного покоління створюють можливості для інтелектуальної логістики та складування для вирішення вищезазначених проблем [5, 6]. Кілька великих логістичних компаній нині працюють над розробленням інтелектуальних складських послуг, які використовують ІТ-рішення для мінімізації витрат на логістику та прискорення роботи складської системи [7, 8]. На відміну від інших країн, висока орендна плата та вартість робочої сили, а також обмежені логістичні підприємства спричиняють поступове зниження конкурентоспроможності логістичної галузі України.

Без таких ключових послуг із доданою вартістю, як складування та пакування, Україна потенційно може зіткнутися з кризою зниження або втрати конкурентоспроможності

як вузла міжнародних транспортних коридорів [9-11].

Аналізуючи результати розробок та публікації науковців, які досліджували питання вдосконалення функціонування складських систем та створення ефективної логістики постачання різних видів товарів, можна визначити основні результати та напрями розвитку:

- формування надстійких систем постачання будь-якої продукції з огляду на ефективне використання наявних матеріальних ресурсів: залізничних станцій, портів та складської інфраструктури на основі різних методів моделювання [12, 13];

- запровадження раціонально функціонувальних термінальних систем та логістичних центрів в організацію логістики постачання та виконання заявок замовників [14, 15];

- використання універсальної системи, яка вимагає надійного прийняття рішень і раціонального використання ресурсів для електронної комерції [16, 17].

Отже, у наукових дослідженнях українських та закордонних вчених велика увага приділяється розробленню інфраструктурних компонентів та вирішенню оптимізаційних завдань щодо процесу завантаження та розвантаження різноманітних видів вантажів у складських системах, але не визначенню умов використання наявних ресурсів у теперішніх умовах. Тому необхідним є вибір методологічного підходу до розроблення ефективної складської системи для переробних підприємств.

Мета та постановка завдання

Метою є зниження сумарних витрат на функціонування побудованої складської системи завдяки впровадженню ефективних умов використання ресурсів.

Для досягнення визначеної мети необхідно розробити структурні моделі елементів складської системи; формалізувати процес їх функціонування; здійснити експериментальні дослідження щодо визначення умов ефективного використання ресурсів у процесі функціонування складської системи та розробити прогнозні моделі для використання в функціонуванні складів виробничих підприємств.

Виклад основного матеріалу

У ринковому середовищі процес об'єктивного вдосконалення логістичного управління рухом товарів призводить до укрупнення

циклів на виробничих підприємствах. Виникає необхідність організації ефективних ланцюгів поставок, які формуються на основі взаємодії між всіма учасниками товароруку. Однією з форм ефективної взаємодії є об'єкти з функцією централізації потоків матеріалів, коштів та інформації.

Склади (складські системи) як один з основних структурних елементів логістики поставок на сьогодні є не просто місцями зберігання товарних запасів, а інфраструктурними об'єктами, що забезпечують ефективне перероблення та переміщення матеріальних ресурсів, зокрема для виробничих підприємств.

Пропонується розглядати функціонування складської системи на базі виробничого підприємства на прикладі компанії «AB InBev Efes Україна». Особливістю функціонування такої складської системи є те, що вона поділена на підсистеми: прийом скляної тари та паперового упакування; тривале зберігання тари (скляна тара, піддони, коробки, паперове упакування); прийом виробленої продукції; тривале зберігання продукції, що вироблена; формування та видача на відправлення відповідного обсягу напоїв у тарі на піддоні (рис. 1).

У кожній підсистемі здійснюються відповідні технологічні складські операції, для функціонування яких використовуються матеріальні та людські ресурси: транспортні засоби (ТЗ), механізми (НРМ), приймальник тари та упакування, приймальник виробленої продукції, диспетчер з видачі готових до відправлення напоїв у тарі на піддоні, водії ТЗ та НРМ.



Рис. 1. Структурна модель елементів складської системи виробничого підприємства

Для визначення умов ефективного використання ресурсів у процесі функціонування складської системи пропонується використувати як параметр сумарні витрати на функціонування складської системи виробничого підприємства (C_S). Параметрами зовнішнього впливу в дослідженні визначені такі [18] інтенсивності потоків (товару, вантажу, упакування та тари), що є елементами складського процесу виробничого підприємства: вхідний, внутрішній, вихідний – $I_{вх}, I_{вн}, I_{вих}$, т/год:

$$C_S = f(I_{вх}, I_{вн}, I_{вих}). \quad (1)$$

Керованими параметрами є кількість ресурсів, які задіяні для здійснення відповідних операцій у складській системі: людські – N_p , од. та матеріальні – $n_{мех}$, од.; час здійснення в складській системі i -ї операції – t_{oi} , год; собівартість робіт у складській системі i -ї операції – S_{pi} , грн/т.

Побудована структурна модель елементів складської системи виробничого підприємства дає можливість формалізувати визначення сумарних витрат з огляду на особливості процесів у кожній підсистемі. Тобто сумарні витрати на функціонування складської системи виробничого підприємства будуть визначатися за формулою

$$C_S = C_{прТ} + C_{збТ} + C_{прП} + C_{збП} + C_{відП}, \quad (2)$$

де $C_{прТ}$ – витрати на прийом скляної тари та паперового упакування, грн; $C_{збТ}$ – витрати на тривале зберігання тари (скляної тари, піддонів, коробок, паперового упакування), грн; $C_{прП}$ – витрати на прийом виробленої продукції, грн; $C_{збП}$ – витрати на тривале зберігання продукції, що вироблена, грн; $C_{відП}$ – витрати на формування та видачі на відправлення відповідного обсягу напоїв у тарі на піддоні, грн.

Витрати на прийом скляної тари та паперового упакування:

$$C_{прТ} = I_{вх} \cdot S_{пр.т} \cdot N_{роб}^{пр} \cdot t_{пр}^T + I_{вх} \cdot S_{роз.т} \cdot n_{мех} \cdot N_{роб}^{роз} \cdot t_{роз}^T, \quad (3)$$

де $S_{пр.т}$ – собівартість прийому скляної тари та паперового упакування, грн/т; $N_{роб}^{пр}$ – кі-

лькість робітників, задіяних у прийомі скляної тари та паперового упакування, од.; $t_{пр}^T$ – час на здійснення операцій прийому скляної тари та паперового упакування, год; $S_{роз.т}$ – собівартість розвантаження скляної тари та паперового упакування на склад, грн/т; $n_{мех}$ – кількість механізмів, які задіяні для розвантаження скляної тари та паперового упакування, од.; $N_{роб}^{роз}$ – кількість робітників, які задіяні для розвантаження скляної тари та паперового упакування, од.; $t_{роз}^T$ – час на здійснення операцій розвантаження скляної тари та паперового упакування на склад, год.

Витрати на тривале зберігання тари (скляної тари, піддонів, коробок, паперового упакування) в складській системі виробничого підприємства:

$$C_{збТ} = I_{вх} \cdot S_{зб}^T \cdot (1 - \alpha_{зб}^T) \cdot N_{зб}^{роб} \cdot t_{зб}^T, \quad (4)$$

де $S_{зб}^T$ – собівартість зберігання одиниці тари за одиницю часу, грн/од·год; $\alpha_{зб}^T$ – рівень страхового запасу тари від загальної кількості в процесі зберігання в складській системі; $N_{зб}^{роб}$ – кількість робітників, які задіяні в організації зберігання тари, од.; $t_{зб}^T$ – час зберігання одиниці тари в складській системі, год.

Витрати на прийом виробленої продукції у складській системі виробничого підприємства:

$$C_{прП} = I_{вн} \cdot S_{пр}^{в.пр} \cdot N_{пр}^{роб} \cdot t_{пр}^{в.пр} + I_{вн} \cdot S_{пер.пр} \cdot n_{мех} \cdot N_{пер}^{роб} \cdot t_{пер}^{пр}, \quad (5)$$

де $S_{пр}^{в.пр}$ – собівартість прийому виробленої продукції до складської системи, грн/ од·год; $N_{пр}^{роб}$ – кількість робітників, які задіяні в організації з прийому виробленої продукції, од.; $t_{пр}^{в.пр}$ – час на здійснення операцій прийому виробленої продукції, год; $S_{пер.пр}$ – собівартість переміщення виробленої продукції механізмом, грн/т; $N_{пер}^{роб}$ – кількість робітників, які задіяні в переміщенні виробленої продукції механізмом, од.; $t_{пер}^{пр}$ – час на здійснення операцій з переміщення виробленої продукції, год.

Витрати на тривале зберігання продукції, що вироблена, у складській системі виробничого підприємства

$$C_{збП} = I_{вн} \cdot S_{зб}^{пр} \cdot (1 - \alpha_{зб}^{пр}) \cdot N_{зб.пр}^{роб} \cdot t_{зб}^{пр}, \quad (6)$$

де $S_{зб}^{пр}$ – собівартість зберігання одиниці продукції, що вироблена, за одиницю часу, грн/од·год; $\alpha_{зб}^{пр}$ – рівень страхового запасу продукції, що вироблена, від загальної кількості під час зберігання в складській системі; $N_{зб.пр}^{роб}$ – кількість робітників, які задіяні в організації зберігання продукції, що вироблена, од.; $t_{зб}^{пр}$ – час зберігання одиниці продукції, що вироблена, у складській системі, год.

Витрати на формування та видачу на відправлення відповідного обсягу напоїв у тарі на піддоні

$$C_{відП} = I_{вих} \cdot S_{від.пр} \cdot N_{роб}^{від.пр} \cdot t_{від}^{пр} + I_{вих} \cdot S_{нав.пр} \cdot n_{мех} \cdot N_{роб}^{нав} \cdot t_{нав}^{пр}, \quad (7)$$

де $S_{від.пр}$ – собівартість формування та видачі на відправлення відповідного обсягу напоїв у тарі на піддоні, грн/од·год; $N_{роб}^{від.пр}$ – кількість робітників, які задіяні в формуванні та видачі на відправлення відповідного обсягу напоїв у тарі на піддоні, од.; $t_{від}^{пр}$ – час формування та видачі на відправлення відповідного обсягу напоїв у тарі на піддоні, год; $S_{нав.пр}$ – собівартість завантаження відповідного обсягу напоїв у тарі на піддоні до кузова автомобіля за одиницю часу, грн/од·год; $N_{роб}^{нав}$ – кількість робітників, які задіяні в завантаженні відповідного обсягу напоїв у тарі на піддоні до кузова автомобіля, од.; $t_{нав}^{пр}$ – час завантаження відповідного обсягу напоїв у тарі на піддоні до кузова автомобіля, год.

З огляду на побудовані аналітичні моделі визначена множина керованих параметрів: використання людських ресурсів – робітників складської системи:

$$N_P = \{N_{роб}^{пр}; N_{роб}^{роз}; N_{зб}^{роб}; N_{пр}^{роб}; N_{пер}^{роб}; N_{зб.пр}^{роб}; N_{роб}^{від.пр}; N_{роб}^{нав}\}, \quad (8)$$

час на здійснення в складській системі i -ї операції:

$$t_{oi} = \{t_{пр}^T; t_{роз}^T; t_{зб}^T; t_{пр}^{в.пр}; t_{пер}^{пр}; t_{зб}^{пр}; t_{від}^{пр}; t_{нав}^{пр}\}, \quad (9)$$

собівартість робіт у складській системі i -ї операції:

$$S_{pi} = \{S_{пр.т}; S_{роз.т}; S_{зб}^T; S_{пр}^{в.пр}; S_{пер.пр}; S_{зб}^{пр}; S_{від.пр}; S_{нав.пр}\}. \quad (10)$$

У нашому дослідженні значення керованих параметрів є середньостатистичними:

- собівартість робіт у складській системі i -ї операції буде змінюватись від 50 до 800 грн/од.;

- час на здійснення в складській системі i -ї операції буде змінюватись від 0,2 до 2,1 год;

- кількість робітників, задіяних для здійснення відповідних операцій, змінюється від 1 до 2 од.;

- кількість механізмів, задіяних здійснення відповідних операцій, змінюється від 1 до 2 од.

За значеннями параметрів зовнішнього середовища було проведено статистичний аналіз даних функціонування складської системи компанії «AB InBev Efes Україна» за обсягами вибіркового сукупностей, інтервалами значень та типами розподілу випадкових величин (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати статистичного аналізу параметрів моделі

Назва показника	Інтенсивність потоку, т/год		
	вхідного	внутрішнього	вихідного
Кількість спостережень, од.	129	89	96
Інтервал значень	{20; 140}	{15; 60}	{50; 170}
Закон розподілу	Експоненціальний		

Для здійснення розрахунків, результати яких подані в табл. 1, було використано спеціальну програму Statistica.exe для визначення значень показників закону розподілу вхідних параметрів з огляду на інтервали випадкових величин. Результати демонструють, що інтенсивність всіх потоків у складській системі виробничого підприємства розподілена за експоненціальним законом – це було доведено значеннями рівня довірчої ймовірності).

Пропонується розглянути такі варіанти використання ресурсів під час здійснення відповідних операцій у підсистемах (рис. 1):

- кількість всіх задіяних ресурсів у кожній підсистемі (операторів та механізмів) буде дорівнювати одиниці – це «Варіант 1»;
- кількість операторів у кожній складській підсистемі збільшується до двох одиниць – це «Варіант 2»;
- кількість механізмів збільшується до двох одиниць на кожній ділянці робіт у кожній складській підсистемі – це «Варіант 3».

Для проведення експериментів за кожним варіантом пропонується скласти план експерименту. Визначено два рівні варіації трьох параметрів: мінімальний та максимальний. Потім проведено 8 експериментальних дослідів. У кожному досліді було проведено 20 пілотних експериментів і тестування на достатність відповідно до критеріїв Кохрена. Гіпотеза про тип моделі підтверджується. На основі розробленого плану експерименту пропонується гіпотеза про лінійні чи нелінійні функціональні залежності значень визначених аргументів.

За допомогою програмного забезпечення MS Excel та вбудованого елементу Data Analysis-Regression розраховувалися такі показники, як коефіцієнти рівняння за змінними, дисперсія та регресійна статистика. Оціночний параметр, тобто сумарні витрати на функціонування складської системи виробничого підприємства, був розрахований для кожного випадку, відповідно, для конкретного варіанта. За значенням міри визначеності степенева функція без ненульового коефіцієнта більш адекватна, як порівняти з лінійною. Також було перевірено значення коефіцієнтів моделі регресії. Усі показники були важливими за значенням «стандартної помилки», «t-статистики», «р-значень», «мінімального та максимального екстремумів». Тобто всі параметри задовольняють вимогам перевірки, тому враховуються в регресійних моделях (табл. 2).

Таблиця 2 – Регресійні моделі за кожним варіантом використання ресурсів у складській системі

Номер варіанта	Регресійна модель
Варіант 1	$C_S = I_{\text{вх}}^{0,67} \cdot I_{\text{вн}}^{1,15} \cdot I_{\text{вих}}^{0,87}$
Варіант 2	$C_S = I_{\text{вх}}^{0,65} \cdot I_{\text{вн}}^{1,13} \cdot I_{\text{вих}}^{0,85}$
Варіант 3	$C_S = I_{\text{вх}}^{0,8} \cdot I_{\text{вн}}^{1,17} \cdot I_{\text{вих}}^{0,78}$

Значення розрахованого критерію (рис. 2) було визначено з отриманих степеневих регресійних моделей. Для цього були використані дані трьох параметрів впливу за ма-

ксимальних і мінімальних значень для кожної комбінації.

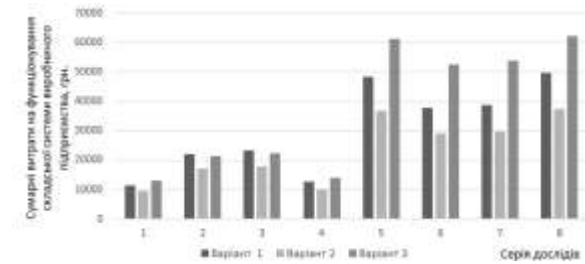


Рис. 2. Зміна значень сумарних витрат на функціонування складської системи виробничого підприємства від комбінації значень інтенсивностей потоків за кожним етапом досліджень

Згідно з отриманими результатами, Варіант 2 в разі збільшення кількості робітників буде мати менші значення сумарних витрат на відміну від значень для Варіанта 1 за всіма випадками значень відповідних параметрів впливу. Під час порівняльного аналізу Варіанта 3 та Варіанта 1 останній буде мати менші сумарні витрати тільки за максимального рівня вихідного потоку 170 т/год. А під час порівняльного аналізу Варіанта 2 та Варіанта 3 значення сумарних витрат будуть негативними для останнього варіанта за всіх комбінацій значень параметрів впливу.

Висновки

Для виробничих підприємств важливо зменшити витрати на виробництво та логістику, одним із ресурсовитратним елементом цієї системи є складська. Тому визначена необхідність встановлення умов ефективного використання матеріальних та складських ресурсів.

Розроблена структурна модель елементів складської системи, в якій враховані основні особливості технологічної взаємодії підсистем оброблення вхідних, внутрішніх та зовнішніх потоків тари, упакування та готової продукції. У кожній підсистемі використовуються матеріальні та людські ресурси: транспортні засоби, механізми, приймальник тари та упакування, приймальник виробленої продукції, диспетчер з видачі готових до відправлення напоїв у тарі на піддоні та інші.

Формалізовано процес функціонування елементів складської системи з огляду на запропонований оціночний параметр сумарних витрат на функціонування складської системи виробничого підприємства. Визначені параметри зовнішнього впливу: інтенсивності потоків (товару, вантажу, упакування

та тари), що визначені складським процесом виробничого підприємства: вхідний, внутрішній, вихідний.

Для проведення експериментального дослідження з визначення умов ефективного використання ресурсів у процесі функціонування складської системи визначені статистичні властивості параметрів впливу. Значення інтенсивностей відповідних потоків розподілені за експоненціальним законом. Запропоновано розглядати три варіанти використання людських та матеріальних ресурсів. За складеним планом експерименту визначені значення сумарних витрат на функціонування складської системи виробничого підприємства. Висунута гіпотеза про лінійні чи нелінійні функціональні залежності значень визначених аргументів.

Розроблені прогнози моделі степеневого типу для трьох запропонованих варіантів використання ресурсів у функціонуванні складів виробничих підприємств. Визначені умови використання ресурсів за мінімальними значеннями сумарних витрат. Найменш втратним є варіант з використанням двох операторів у кожній складській підсистемі та одного механізму.

У подальшій роботі планується розроблення імітаційних моделей функціонування складської системи з огляду на використання нових типів засобів процесу навантажувально-розвантажувальних робіт.

Література

1. Simões W. D. B., Vieira J. G. V., de Oliveira R. L. M. On causal links of the municipal concentration of logistics warehouses. *Transport Policy*. 2024. Vol. 149. 271–281. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2024.02.018>.
2. Raicu S., Costescu D., Popa M., Bujor C.-R. Strategic and tactical management of warehousing in distribution logistics. *Transportation Research Procedia*. 2024. Vol. 79. 385–392. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.03.051>.
3. Огляд ринку складської нерухомості. URL: <https://cbre-expandia.com/uk/research/> (дата звернення: 21.09.2024).
4. Qian Z., Chen Y., Xu Y. Strategy design of fresh e-commerce pre-warehouse based on mass customization. *Computers & Industrial Engineering*. 2024. Vol. 192. 110180. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110180>.
5. Lyu X. Intelligent warehousing performance management based on Internet of Things and automation technology in the context of green manufacturing. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2024. Vol. 53. 102761. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102761>.
6. Giner J., Katic D., Kovacs K., Glawar R., Sihn W. A computer vision based approach to reduce system downtimes in an automated high-rack logistics warehouse. *Procedia CIRP*. 2023. Vol. 118. 1078–1083. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.06.185>.
7. Tiwari S. Smart warehouse: a bibliometric analysis and future research direction. *Sustainable Manufacturing and Service Economics*. 2023. Vol. 2. 100014. <https://doi.org/10.1016/j.smse.2023.100014>.
8. Ardiansyah D. P., Reynaldi F. A. O., Widanin-grum D. L. Improving warehouse layout effectiveness and process picking efficiency with the discrete event system simulation approach. *Procedia Computer Science*. 2024. Vol. 234. 1753–1760. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.03.182>.
9. Pavlenko O., Muzylyov D., Trojanowska J., Ivanov V. Rational Logistics of Engineering Products to the European Union. *International Conference on Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance*. Springer. 2023. 25–38. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44282-7_3.
10. Orda O., Nagornyy Y., Potaman N. Approach to the forming of rational technology for the export cargoes delivery in supply chain on the principles of co-modality. *ETR*. 2024. Vol. 3. 194–199. <https://doi.org/10.17770/etr2023vol3.7301>.
11. Павленко О. В., Музильов Д. О., Медведєв С. П. Модель функціонування логістики для постачання спеціалізованих транспортних засобів у контейнерах із підприємств Північної Америки в Україну. *Комунальне господарство міст*. 2024. № 182 (1). С. 248–253. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-1-182-248-253>.
12. Коскіна Ю. О., Дрожжин О. Л. Аналітична модель обслуговування експортних вантажів у морських портах. *Вісник ХНАДУ*. 2024. № 104 (1). С. 112–118. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.1.112>.
13. Zeng Y. Q., Li W. B., Li C. H. A dynamic simulation framework based on hybrid modeling paradigm for parallel scheduling systems in warehouses. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2024. Vol. 133. 102921. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2024.102921>.
14. Dimitrov L., Saraceni A. Ranking model to measure energy efficiency for warehouse operations sustainability. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 428. 139375. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139375>.
15. Павленко О. В., Нефьодов В. М., Великодний Д. О. Побудова логістики поставки консолідованих вантажів з України в Європу. *Комунальне господарство міст*. 2021. № 161. С. 191–198. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-1-161-191-198>.
16. Zaman S. I., Khan S., Zaman S. A. A., Khan S. A. A grey decision-making trial and

- evaluation laboratory model for digital warehouse management in supply chain networks. *Decision Analytics Journal*. 2023. Vol. 8. 100293. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100293>.
17. Mokarrari K. R., Sowlati T., English J., Starkey M. Optimization of warehouse picking to maximize the picked orders considering practical aspects. *Applied Mathematical Modelling*. 2024. Vol. 137. 115585. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2024.06.037>.
 18. Muzylyov D., Medvediev I., Pavlenko O. Risk factor assessment in agricultural supply chain by fuzzy logic. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science* 2024. Vol. 1376 (1). 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1376/1/012038>.
- ### References
1. Simões, W. D. B., Vieira, J. G. V., de Oliveira, R. L. M. (2024). On causal links of the municipal concentration of logistics warehouses. *Transport Policy*. Vol. 149. 271–281. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2024.02.018>.
 2. Raicu, S., Costescu, D., Popa, M., Bujor, C.-R. (2024). Strategic and tactical management of warehousing in distribution logistics. *Transportation Research Procedia*. Vol. 79. 385–392. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.03.051>.
 3. Overview of the warehouse real estate market. Retrived from: <https://cbre-expandia.com/uk/research/> (accessed: 21.09.2024).
 4. Qian, Z., Chen, Y., Xu, Y. (2024). Strategy design of fresh e-commerce pre-warehouse based on mass customization. *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 192. 110180. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110180>.
 5. Lyu, X. (2024). Intelligent warehousing performance management based on Internet of Things and automation technology in the context of green manufacturing. *Thermal Science and Engineering Progress*. Vol. 53. 102761. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102761>.
 6. Giner, J., Katic, D., Kovacs, K., Glawar, R., Sihh, W. (2023). A computer vision based approach to reduce system downtimes in an automated high-rack logistics warehouse. *Procedia CIRP*. Vol. 118. 1078–1083. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.06.185>.
 7. Tiwari, S. (2023). Smart warehouse: a bibliometric analysis and future research direction. *Sustainable Manufacturing and Service Economics*. Vol. 2. 100014. <https://doi.org/10.1016/j.smse.2023.100014>.
 8. Ardiansyah, D. P., Reynaldi, F. A. O., Widanin-grum, D. L. (2024). Improving warehouse layout effectiveness and process picking efficiency with the discrete event system simulation approach. *Procedia Computer Science*. Vol. 234. 1753–1760. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.03.182>.
 9. Pavlenko, O., Muzylyov, D., Trojanowska, J., Ivanov, V. (2023). Rational Logistics of Engineering Products to the European Union. *International Conference on Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance*. Springer. 25–38. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44282-7_3.
 10. Orda, O., Nagorny, Y., Potaman, N. (2024). Approach to the forming of rational technology for the export cargoes delivery in supply chain on the principles of co-modality. *ETR*. Vol. 3. 194–199. <https://doi.org/10.17770/etr2023vol3.7301>.
 11. Pavlenko, O., Muzylyov, D., Medvediev, I. (2024). Model of functioning logistics for supply of specialised vehicles in containers from North American companies to Ukraine. *Municipal economy of cities*. № 182 (1). 248–253. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-1-182-248-253>.
 12. Koskina, Y., Drozhzhyn, O. (2024). Analytical model of servicing export cargo in sea ports. *Bulletin KhNAHU*. 2024. № 104 (1). 112–118. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.1.112>.
 13. Zeng, Y. Q., Li, W. B., Li, C. H. (2024). A dynamic simulation framework based on hybrid modeling paradigm for parallel scheduling systems in warehouses. *Simulation Modelling Practice and Theory*. Vol. 133. 102921. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2024.102921>.
 14. Dimitrov, L., Saraceni, A. (2023). Ranking model to measure energy efficiency for warehouse operations sustainability. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 428. 139375. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139375>.
 15. Pavlenko, O., Nefyodov, V., Velykodnyi, D. (2021). Building of consolidated cargo supply logistics from Ukraine to Europe. *Municipal economy of cities*. № 161. 191–198. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-1-161-191-198>.
 16. Zaman, S. I., Khan, S., Zaman, S. A. A., Khan, S. A. (2023). A grey decision-making trial and evaluation laboratory model for digital warehouse management in supply chain networks. *Decision Analytics Journal*. Vol. 8. 100293. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100293>.
 17. Mokarrari, K. R., Sowlati, T., English, J., Starkey, M. (2024). Optimization of warehouse picking to maximize the picked orders considering practical aspects. *Applied Mathematical Modelling*. Vol. 137. 115585. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2024.06.037>.
 18. Muzylyov, D., Medvediev, I., Pavlenko, O. (2024). Risk factor assessment in agricultural supply chain by fuzzy logic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 1376 (1). 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1376/1/012038>.

Павленко Олексій Вікторович, к.т.н., доц. каф. транспортних технологій, tpov@ukr.net, тел. +38 095-737-69-78, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4237-4310>
Рижиков Микола Вадимович, аспірант каф. транспортних технологій, sonixiomi@gmail.com,

тел. +38 063-383-55-53,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1421-9171>

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

Determining The Conditions For The Efficient Use Of Resources In The Warehouse System

Abstract. Problem. For manufacturing enterprises, it is very important to reduce production and logistics costs, and one of the resource-intensive elements of this system is warehousing. Therefore, the need to establish conditions for the efficient use of material and warehouse resources is identified. **Goal.** The goal is to reduce the total cost of operating the built warehouse system by introducing efficient conditions for the use of resources. **Methodology.** A structural model of the warehouse system elements has been developed, which takes into account the main features of technological interaction of subsystems for processing incoming, internal and external flows of containers, packaging and finished products. To determine the conditions for efficient use of resources in the functioning of the warehouse system, it is proposed to use the evaluation parameter - the total cost of the warehouse system of a production enterprise. The parameters of external influence are the following intensities of flows determined by the warehouse process of a manufacturing enterprise: input, inter-

nal, and output. It is proposed to consider three options for the use of human and material resources.

Originality. The article develops forecasting models of a degree type for three proposed three variants of use of material and human resources in functioning of warehouse systems of production enterprises. The obtained dependencies allow obtaining decision-making conditions depending on the intensity of incoming, internal and outgoing cargo flows. **Practical value.** Determining the conditions for using resources at the lowest possible total cost. The least costly option is to use two operators in each warehouse subsystem and one mechanism.

Key words: warehouse logistics, manufacturing enterprise, resources, regression.

Pavlenko Olexiy, Ph.D., Assoc. Prof.,
Department of Transport Technology,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4237-4310>,
ttpov@ukr.net,

Ryzhykov Mykola, Postgraduate Student, Department of Transport Technology,
<https://orcid.org/0009-0005-1421-9171>,
sonixiomi@gmail.com,

Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.
