

О.П. Калініченко, В.В. Севідова

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна***ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ КРОС-ДОКІНГУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА ОБМЕЖЕНОСТІ РЕСУРСІВ**

У статті запропонована методика визначення кількості необхідних транспортних засобів, які забезпечують ефективне виконання операцій з крос-докінгу на терміналах та складах в умовах невизначеності та обмеженості ресурсів, яка враховує мінімізацію вартості обслуговування вантажних автомобілів та штрафних санкцій.

Ключові слова: вантаж, транспортні засоби, витрати, крос-докінг, склад

Постановка проблеми

Ефективна організація роботи складського господарства, як невід'ємної частини логістичного ланцюга, відіграє ключову роль у міжнародних перевезеннях вантажів, забезпечуючи ефективне планування переміщення вантажів між країнами, управління міжнародними вантажопотоками, підвищення рівня збереження вантажів, що транспортуються протягом значного часу, та загальну оптимізацію логістичних процесів.

Саме ефективна робота складського господарства при міжнародних перевезеннях вантажів дозволяє:

- знизити складову транспортних витрат у загальній вартості вантажів за рахунок консолідації вантажів у єдину партію, що дозволяє зменшити необхідну кількість перевезень та ефективно використовувати вантажопідйомність та вантажомісткість транспортних засобів, а також зменшити витрати на митне оформлення, оскільки консолідований вантаж проходить митний контроль як одна партія, що скорочує витрати на оформлення та час такого оформлення;

- знизити складову часу знаходження вантажів на складах для виконання операцій з ними у загальному часі доставки вантажів в міжнародному сполученні за рахунок раціонального виконання операцій з навантаження-розвантаження транспортних засобів, оптимізації часу виконання основних складських процесів (швидке приймання, доцільне зберігання, обробка та відвантаження вантажів), використання сучасних технологій та впровадження автоматизації систем управління складом, автоматичної ідентифікації та застосування автоматизованого документообігу;

- підвищити безперебійність поставок вантажів та гнучко керувати запасами за рахунок автоматизації логістичних процесів, використання систем прогнозування попиту, розширення партнерської мережі постачальників та впровадження ефективних стратегій управління запасами, що дозволяє контролювати наявність товарів, планувати поставки та знижувати ризик надлишків або дефіциту;

- знизити непродуктивні витрати часу на доставку вантажу та фінансові втрати за рахунок застосування технологій крос-докінгу (cross-docking). Крос-докінг та наявність митно-ліцензійного складу дають можливість здійснювати розмитнення товарів поступово, за потребою, або взагалі його уникати, якщо вантажі проходять транзитом під митним контролем. Крім того, це дозволяє здійснювати перепродаж товарів із коригуванням їхньої вартості, а також зміною продавця чи покупця.

Крос-докінг – це ефективна логістична технологія, яка мінімізує або повністю виключає зберігання товарів на складі, забезпечуючи їх швидке перевантаження з одного транспортного засобу на інший. В Україні ця практика поступово набуває популярності, особливо у сфері міжнародних перевезень, роздрібної торгівлі та e-commerce.

За даними досліджень ринку логістики [1], обсяг українського ринку складської логістики у 2023 році перевищив \$2,5 млрд, зростаючи на 10–15% щорічно. Частка крос-докінгових операцій у загальному вантажообігу також демонструє позитивну динаміку, особливо у сегментах FMCG (Fast-Moving Consumer Goods), e-commerce та рітейлу. Ключовими чинниками зростання є експансія маркетплейсів – розвиток великих онлайн-

майданчиків (Rozetka, Prom.ua, Epicentr), що стимулює попит на швидке транспортування товарів без тривалого зберігання.

Також значний вклад в розвиток крос-докінгових операцій на українських підприємствах вносить міжнародна інтеграція України. Угода про асоціацію з ЄС та посилення торгових відносин із європейськими країнами сприяють підвищенню стандартів логістики. Зростання міжнародної торгівлі, збільшення імпорту та експорту стимулює впровадження швидких логістичних рішень.

З огляду на зростаючий попит на швидку та ефективну логістику, розвиток крос-докінгу в Україні є перспективним напрямком. Протягом наступних 3–5 років цей сегмент стане ще більш затребуваним завдяки активним інвестиціям у логістичну інфраструктуру, цифровізацію процесів та інтеграцію України у міжнародні ланцюги постачання.

Розвиток застосування митно-логістичних терміналів та створення сучасних митно-ліцензійних складів та логістичних хабів сприяє необхідності визначення ефективних технологій з обробки вантажів. Особливого значення необхідність розробки нових технологій та методик визначення оптимальних параметрів роботи складської системи із застосуванням крос-докінгу набувають в умовах обмеженості ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Обмеженість складських площ - одна з ключових проблем у логістиці. З розширенням бізнесу і збільшенням обсягів вантажообігу потреба в сховищах зростає, а знайти достатній простір стає все складніше. Ця проблема особливо актуальна в періоди пікового попиту, коли склади перевантажені, а брак місць призводить до затримок в обробці вантажів і збільшення витрат. Крім того, зі зростанням вартості оренди складських приміщень і логістичних хабів компанії змушені шукати альтернативні рішення для ефективного використання наявних площ.

Оптимізація зберігання з використанням сучасних технологій, таких як автоматизовані системи стелажів, роботизовані комплекси та програмне управління складськими процесами, допомагає максимально ефективно розподіляти простір. Також важливо враховувати грамотне зонування складів, застосування методів крос-докінгу для мінімізації часу зберігання та інтеграцію складів з транспортними системами для прискорення потоків товарів.

При оптимізації роботи складу авторами в роботах [2,3] було запропоновано використання високоманеврених і енергоефективних автомобілів та

алгоритм побудови безконфліктних маршрутів руху транспортних засобів що дозволило підвищити продуктивність роботи засобів механізації та скоротити час на навантажувально-розвантажувальні операції, та представлено методологію розроблення та впровадження технології, що дає змогу визначити оптимальну кількість нових високоманеврених і енергоефективних автомобілів, розрахунки показали, що використання цього підходу сприяє зниженню собівартості технологічної обробки вантажів

Проблеми крос-докінгу зазвичай розглядаються з точки зору планування або інтеграції з ширшою транспортною мережею. При цьому можуть враховуватися як часові фактори, так і вплив логістичних зв'язків. Операційні проблеми, які пов'язані з повсякденними завданнями і здебільшого стосуються складання розкладів потребують вирішення [4-6]:

- розподілу вантажівок по доках – одного з ключових завдань, що вимагає точної координації прибуття і відправлення;

- визначення послідовності завантаження і розвантаження, коли важливо враховувати пріоритети вантажів і мінімізувати час простою транспорту;

- організації руху вантажівок усередині складу, що особливо актуально для великих терміналів при міжнародних перевезеннях з високою інтенсивністю потоків.

Проблеми тактичного рівня, як завдання які плануються на місяць або квартал і пов'язані з управлінням ресурсами [7,8]:

- призначення доків для завантаження і розвантаження, коли важливо враховувати тип вантажів, вимоги клієнтів і характеристики терміналу;

- оптимальний розподіл робочої сили і транспорту, який є необхідним для ефективної обробки вантажів без затримок.

Ефективне управління розподілом доків для вантажівок у крос-докінгових терміналах має критичне значення для поліпшення логістичних процесів, зниження енерговитрат і мінімізації кількості операцій. Крос-докінг-центри є важливим елементом у ланцюжках поставок, які забезпечують швидке перевантаження товарів між вантажівками, що надходять і відправляються, без необхідності їх проміжного зберігання. Правильний розподіл доків для обслуговування вантажівок відіграє ключову роль в оптимізації цих процесів, гарантуючи своєчасну обробку транспортних засобів і найбільш раціональне використання доступних ресурсів [9].

Завдання призначення доків для вантажівок з оптимізованою енерговитратністю вирішує проблему їх розподілу на крос-докінгових об'єктах, одночасно

мінімізуючи споживання енергії та експлуатаційних витрат. На відміну від традиційних моделей, які фокусуються виключно на скороченні часу обробки або загальної довжини доставки, модель представлена авторами в роботі [10] поєднує цілі з оптимізації енергоспоживання, що сприяє підвищенню стійкості та захисту навколишнього середовища в логістичних ланцюгах.

У роботі [11] розглядається ситуація, в якій вантажівки можуть бути частково розвантажені і завантажені одночасно, при цьому немає необхідності в розподілі вхідних і вихідних доків. Проблему сформульовано як задачу змішаного цілочисельного лінійного програмування, з метою оптимізації призначення доків і планування роботи вантажівок для мінімізації часу виконання операцій. Для розв'язання запропоновано евристичний метод, що включає використання декількох складних структур сусідства, доповнених механізмом навчання.

Формулювання мети статті

Метою даної роботи є удосконалення технології роботи складу при міжнародних перевезеннях вантажів із використанням операцій крос-докінгу за рахунок розробки методики визначення необхідної кількості транспортних засобів, що обслуговують склад при крос-докінгу в умовах невизначеності та обмеженості ресурсів.

Виклад основного матеріалу

Крос-докінг – це метод логістики, який використовується у вантажному терміналі для досягнення ефективності його функціонування шляхом консолідації та передачі вантажів безпосередньо з вхідного доку (фронту розвантаження вантажних автомобілів, що прибувають під розвантаження та подальшої обробки вантажів на складі) до вихідного доку (фронту навантаження вантажних автомобілів, що прибувають на склад під навантаження та подальшої

доставки вантажів одержувачу) менш ніж за 24 години без зберігання або обмеженого зберігання. Загальна схема операцій крос-докінга представлена на рисунку 1.

Для можливості виконання технологічних операцій крос-докінг потребує ідеальної координації вхідних і вихідних потоків на логістичних платформах у невизначених умовах.

Невизначені умови при організації крос-докінгу в міжнародних перевезеннях можуть включати наступні чинники:

- затримки на митниці – непередбачувані терміни проходження митного контролю через перевірки, зміни в законодавстві або технічні проблеми;

- нестабільність транспортних графіків – можливі затримки вантажного транспорту через погодні умови, технічні несправності, черги на кордонах або інші логістичні ускладнення;

- зміни попиту та пропозиції – раптове коригування замовлень, зміна кінцевого одержувача або необхідність перенаправлення вантажу на інший склад;

- фактор людського впливу – помилки в документації, некоректне планування або недостатня координація між учасниками логістичного ланцюга;

- обмеженість складських і перевалочних потужностей – нестача місця або обладнання для швидкого перевантаження вантажів;

- регуляторні зміни та форс-мажори – раптові зміни у митних правилах, санкції, страйки, військові конфлікти, епідемії тощо.

Всі ці фактори потребують гнучкого управління логістичними процесами, прогнозування ризиків і швидкої адаптації до змін, щоб забезпечити ефективний крос-докінг у міжнародних перевезеннях. Тому важливою задачею наукових досліджень крос-докінгу є зосередження на умовах невизначеності та обмеженості ресурсів.

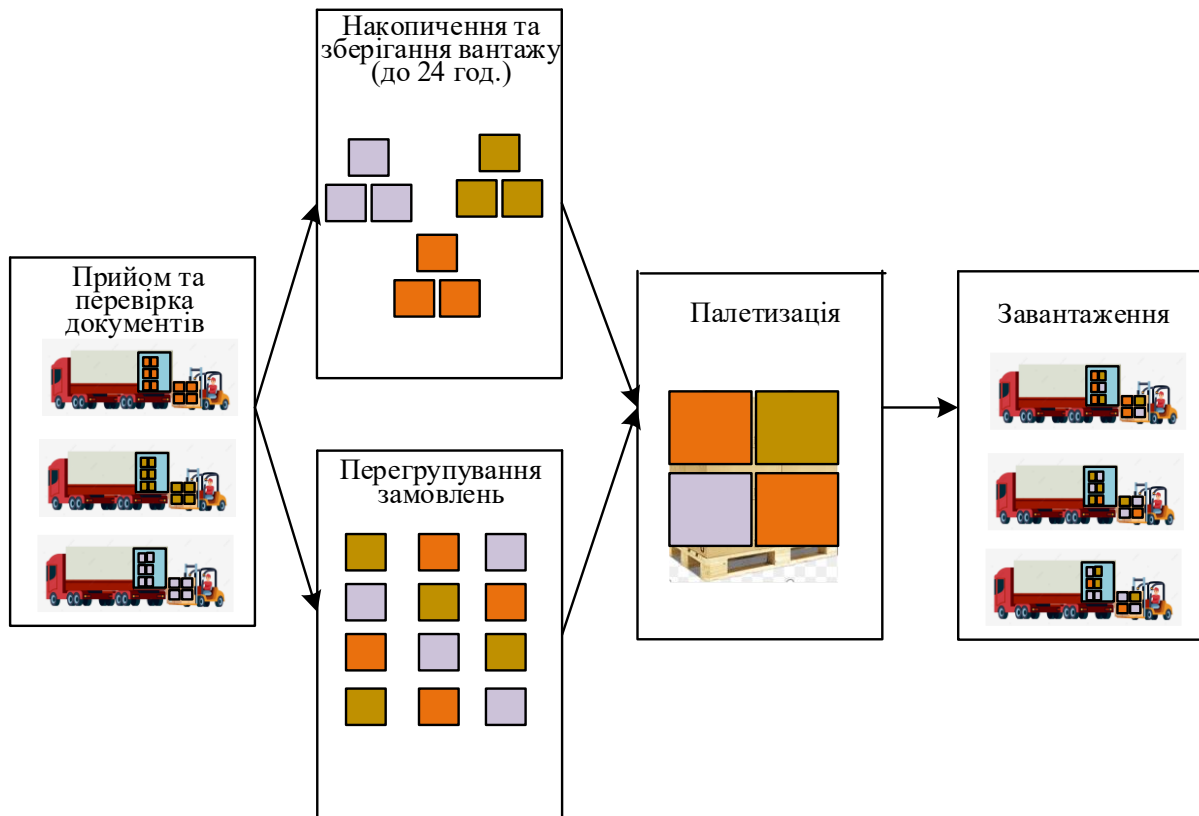


Рис. 1. Загальна схема операцій крос-докінга

Нехай задана множина $A=\{1,\dots,N\}$, що представляє собою набір вантажних транспортних засобів, що потребують навантаження або розвантаження на складі при забезпеченні операцій з крос-докінгу, та множина $D=\{1,\dots,D\}$, що представляє собою набір біфункціональних док-дверей (постів навантаження-розвантаження). Множина $P=\{1,\dots,R\}$ представляє собою ресурси в межах крос-дока (кількість обладнання, кількість працівників) необхідні для забезпеченні операцій з крос-докінгу. В цьому випадку для кожного з транспортних засобів що потребують навантаження, або розвантаження існує набір сценаріїв використання ресурсів $S=\{1,\dots,C\}$, з яких не більше одного буде обрано для планування обслуговування відповідного транспортного засобу. Часові характеристики процесу обслуговування визначаються часом прибуття транспортного засобу, часом виконання операцій з навантаження-розвантаження, часом маневрування на території складу та відповідним максимальним часом найпізнішого відправлення зі складу.

У загальному вигляді кожен транспортний засіб може належати різним замовникам, та за затримку його у випадку невиробничого простою в очікуванні обслуговування можуть нараховуватись штрафні санкції. Вартість штрафу може

нараховуватись за час простою та за збій обслуговування у випадку відмови у навантаженні або розвантаженні.

Необхідно мінімізувати вартість обслуговування транспортних засобів та вартість очікування кожного окремого транспортного засобу, або вартість збою обслуговування.

Для визначення кількості необхідних транспортних засобів, необхідних для забезпечення виконання операцій з крос-докінгу в умовах невизначеності та обмеженості ресурсів пропонується використовувати цільову функцію, що враховує мінімізацію вартості обслуговування вантажних автомобілів, та штрафних санкцій за невиконання послуг з урахуванням різних сценаріїв виконання операцій

$$\sum_{i=1}^n x_{adts} \cdot (t - t_d) \cdot \kappa_{ud} + \sum_{j=1}^n C_d \cdot t_{обс} \cdot y_d \rightarrow \min \quad (1)$$

де x_{adts} – бінарна змінна, що дорівнює 1, якщо вантажний автомобіль призначено в док саме в цей момент при різних сценаріях;

t – момент надходження заявки на обслуговування, год.хв.;

t_d – момент готовності доку, год.хв.

$\kappa_{шд}$ – вартість очікування обслуговування в доці, грн/год.;
 C_{∂} – вартість використання доку, грн/год.;
 $t_{обс}$ – час обслуговування, транспортного засобу, год.;
 y_{∂} – бінарна змінна, що дорівнює 1, якщо док використовується.

$$\sum_{i=1}^n x_{a\partial ts} + y_{\kappa\partial d} = |D|, \quad (2)$$

де $y_{\kappa\partial d}$ – кількість вільних доків, од.;
 $|D|$ – загальна кількість доків, од.

$$\sum_{i=1}^n y_{\partial ets} + y_{\kappa\partial d} = |D|, \quad (3)$$

де $y_{\partial ets}$ – бінарна змінна, що дорівнює 1, якщо док вільний саме в цей момент t при різних сценаріях s .

$$\sum_{i=1}^n x_{a\partial ts} = \sum_{i=1}^n n_s^d, \quad (4)$$

де n_s^d – кількість сценаріїв обробки транспортних засобів в доці, од.

$$x_{a\partial ts} \leq y_{at}, t \in \{t + \delta_n + 1, \dots, t + p_s^a\}, \quad (5)$$

де y_{at} – бінарна змінна, що дорівнює 1, якщо вантажівка a зайнята в момент t ;

δ_n – додатковий час очікування перед наступним призначенням, год.;

p_s^a – час обробки транспортного засобу a за сценарієм s , год.

$$y_{at}^s \cdot n_p^s \leq R_p, \quad (6)$$

де y_{at}^s – бінарна змінна, що дорівнює 1, якщо вантажівка a зайнята в момент t за сценарієм s ;

n_p^s – кількість працівників, необхідна для обробки вантажівки a за сценарієм s , од.;

R_p – загальна кількість працівників, од.

$$y_{at}^s \cdot n_o^s \leq R_o, \quad (7)$$

де n_o^s – кількість обладнання, необхідна для обробки вантажівки a за сценарієм s , од.;

R_o – максимальна кількість доступного обладнання, од.

$$y_{at}^s \cdot n_a^s \leq R_a, \quad (8)$$

де n_a^s – необхідна кількість транспортних засобів у сценаріях s , од.;

R_a – максимальна кількість транспортних засобів, од.

В результаті отримані математичні залежності, що дозволяють визначати необхідну кількість транспортних засобів, необхідних для забезпечення виконання операцій з крос-докінгу в умовах невизначеності та обмеженості ресурсів, які враховують мінімізацію вартості обслуговування вантажних автомобілів та штрафних санкцій за невиконання послуг з урахуванням різних сценаріїв виконання операцій з навантаження-розвантаження.

Висновки

В результаті проведених досліджень визначено, що зважаючи на зростаючий попит на оперативні та ефективні логістичні рішення крос-докінг в Україні має значний потенціал для розвитку. Прогнозується, що впродовж найближчих 3–5 років цей сегмент набуде ще більшої популярності завдяки активним інвестиціям у логістичну інфраструктуру, цифровізацію процесів та глибшу інтеграцію України в міжнародні ланцюги постачання.

Для ефективного виконання технологічних операцій крос-докінгу необхідна ідеальна координація вхідних і вихідних потоків на логістичних платформах. Це пояснюється тим, що крос-докінг передбачає мінімізацію часу на обробку вантажів без їх тривалого зберігання, що вимагає чіткої синхронізації між усіма учасниками логістичного процесу – постачальниками, перевізниками, митними органами та отримувачами товарів. Зазначені чинники, що визначають умови невизначеності при організації крос-докінгу в міжнародних перевезеннях.

Представлені математичні моделі дозволяють визначати оптимальну кількість транспортних засобів, необхідних для забезпечення ефективного виконання операцій з крос-докінгу в умовах невизначеності та обмежених ресурсів. Ці залежності враховують ключові параметри логістичних процесів, такі як потоки вхідного та вихідного транспорту, час обробки вантажів,

обмеження на доступність перевантажувальних потужностей, а також можливі коливання у попиту та затримки в доставці.

Крім того, моделі враховують можливі штрафні санкції, що можуть виникати у разі порушення договірних зобов'язань щодо строків доставки або несвочасного виконання навантажувально-розвантажувальних операцій.

Література

1. Аналіз ринку логістики в Україні у 2024 році. <https://www.impulse-consulting.com.ua/analiz-rynku-logistyky-v-ukrayini-u-2024-roci/>
2. Kalinichenko, O., & Sevidova, V. (2024). Improvement of warehouse technology in international freight transportation. *Municipal economy of cities*, 6(187), 302–307. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-6-187-302-307>
3. Kalinichenko, O., & Pavlenko, O. (2023). Methodology for determining the rational technology for moving goods in the warehouse. *Municipal economy of cities*, 6(180), 231–236. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-6-180-231-236>
4. Huayhua Machaca, K., Manchego Pacco, P., Pro Aragón, M. S., Villegas Calla, A. S., & Zapata Chávez, J. (2025). Cross docking as a logistics strategy. Analysis on Nacex, FedEx and Maersk. *Región Científica*. <https://doi.org/10.58763/rc2025388>
5. Battarra, I., Accorsi, R., Lupi, G., Manzini, R., & Sirri, G. (2022). Location-allocation problem in a multi-terminal cross-dock distribution network for palletized perishables delivery. *Transportation Research Procedia*, 67, 172–181. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.12.048>
6. Castellucci, P. B., Costa, A. M., & Toledo, F. (2021). Network scheduling problem with cross-docking and loading constraints. *Computers & Operations Research*, 132, 105271. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105271>
7. Smith, A., Toth, P., Bam, L., & van Vuuren, J. H. (2022). A multi-tiered vehicle routing problem with global cross-docking. *Computers & Operations Research*, 137, 105526. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105526>
8. Torbali, B., & Alpan, G. (2023). A Multi-Agent-Based Real-Time Truck Scheduling Model for Cross-Docking Problems with Single Inbound and Outbound Doors. *Supply Chain Analytics*, 100028. <https://doi.org/10.1016/j.sca.2023.100028>
9. Chargui, T., Bekrar, A., Reghioi, M., & Trentesaux, D. (2020). Scheduling trucks and storage operations in a multiple-door cross-docking terminal considering multiple storage zones. *International Journal of Production Research*, 1–25. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1853843>
10. Monemi, R. N., & Gelareh, S. (2022). Dock assignment and truck scheduling problem; consideration of multiple scenarios with resource allocation constraints. *Computers & Operations Research*, 106074. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.106074>
11. Shahmardan, A., & Sajadieh, M. S. (2020). Truck scheduling in a multi-door cross-docking center with partial unloading – Reinforcement learning-based simulated annealing approaches. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106134. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106134>
12. logistyky-v-ukrayini-u-2024-roci/
13. Kalinichenko, O., & Sevidova, V. (2024). Improvement of warehouse technology in international freight transportation. *Municipal economy of cities*, 6(187), 302–307. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-6-187-302-307>
14. Kalinichenko, O., & Pavlenko, O. (2023). Methodology for determining the rational technology for moving goods in the warehouse. *Municipal economy of cities*, 6(180), 231–236. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-6-180-231-236>
15. Huayhua Machaca, K., Manchego Pacco, P., Pro Aragón, M. S., Villegas Calla, A. S., & Zapata Chávez, J. (2025). Cross docking as a logistics strategy. Analysis on Nacex, FedEx and Maersk. *Región Científica*. <https://doi.org/10.58763/rc2025388>
16. Battarra, I., Accorsi, R., Lupi, G., Manzini, R., & Sirri, G. (2022). Location-allocation problem in a multi-terminal cross-dock distribution network for palletized perishables delivery. *Transportation Research Procedia*, 67, 172–181. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.12.048>
17. Castellucci, P. B., Costa, A. M., & Toledo, F. (2021). Network scheduling problem with cross-docking and loading constraints. *Computers & Operations Research*, 132, 105271. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105271>
18. Smith, A., Toth, P., Bam, L., & van Vuuren, J. H. (2022). A multi-tiered vehicle routing problem with global cross-docking. *Computers & Operations Research*, 137, 105526. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105526>
19. Torbali, B., & Alpan, G. (2023). A Multi-Agent-Based Real-Time Truck Scheduling Model for Cross-Docking Problems with Single Inbound and Outbound Doors. *Supply Chain Analytics*, 100028. <https://doi.org/10.1016/j.sca.2023.100028>
20. Chargui, T., Bekrar, A., Reghioi, M., & Trentesaux, D. (2020). Scheduling trucks and storage operations in a multiple-door cross-docking terminal considering multiple storage zones. *International Journal of Production Research*, 1–25. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1853843>
21. Monemi, R. N., & Gelareh, S. (2022). Dock assignment and truck scheduling problem; consideration of multiple scenarios with resource allocation constraints. *Computers & Operations Research*, 106074. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.106074>
22. Shahmardan, A., & Sajadieh, M. S. (2020). Truck scheduling in a multi-door cross-docking center with partial unloading – Reinforcement learning-based simulated annealing approaches. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106134. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106134>

Reference

1. Analysis of the logistics market in Ukraine in 2024. <https://www.impulse-consulting.com.ua/analiz-rynku-logistyky-v-ukrayini-u-2024-roci/>

2. Kalinichenko, O., & Sevidova, V. (2024). Improvement of warehouse technology in international freight transportation. *Municipal economy of cities*, 6(187), 302–307. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-6-187-302-307>
3. Kalinichenko, O., & Pavlenko, O. (2023). Methodology for determining the rational technology for moving goods in the warehouse. *Municipal economy of cities*, 6(180), 231–236. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-6-180-231-236>
4. Huayhua Machaca, K., Manchego Pacco, P., Pro Aragón, M. S., Villegas Calla, A. S., & Zapata Chávez, J. (2025). Cross docking as a logistics strategy. Analysis on Nacex, FedEx and Maersk. *Región Científica*. <https://doi.org/10.58763/rc2025388>
5. Battarra, I., Accorsi, R., Lupi, G., Manzini, R., & Sirri, G. (2022). Location-allocation problem in a multi-terminal cross-dock distribution network for palletized perishables delivery. *Transportation Research Procedia*, 67, 172–181. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.12.048>
6. Castellucci, P. B., Costa, A. M., & Toledo, F. (2021). Network scheduling problem with cross-docking and loading constraints. *Computers & Operations Research*, 132, 105271. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105271>
7. Smith, A., Toth, P., Bam, L., & van Vuuren, J. H. (2022). A multi-tiered vehicle routing problem with global cross-docking. *Computers & Operations Research*, 137, 105526. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105526>
8. Torbali, B., & Alpan, G. (2023). A Multi-Agent-Based Real-Time Truck Scheduling Model for Cross-Docking Problems with Single Inbound and Outbound Doors. *Supply Chain Analytics*, 100028. <https://doi.org/10.1016/j.sca.2023.100028>
9. Chargui, T., Bekrar, A., Reghioi, M., & Trentesaux, D. (2020). Scheduling trucks and storage operations in a multiple-door cross-docking terminal considering multiple storage zones. *International Journal of Production Research*, 1–25. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1853843>
10. Monemi, R. N., & Gelareh, S. (2022). Dock assignment and truck scheduling problem; consideration of multiple scenarios with resource allocation constraints. *Computers & Operations Research*, 106074. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.106074>
11. Shahmardan, A., & Sajadieh, M. S. (2020). Truck scheduling in a multi-door cross-docking center with partial unloading – Reinforcement learning-based simulated annealing approaches. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106134. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106134>

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.С. Наглюк, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків;

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

Автор: СЕВІДОВА Вікторія Віталіївна
аспірантка
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків
E-mail – v.i.k.y.s.y.a067@gmail.com

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4806-4743>

DETERMINING THE NUMBER OF VEHICLES FOR CROSS-DOCKING IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY AND LIMITED RESOURCES

O. Kalinichenko, V. Sevidova

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

The article analyzes the existing methods of building cargo handling technologies in warehouses using cross-docking technology. The chosen topic is quite relevant, since the use of cross-docking technology is one of the most promising areas for improving the efficiency of international cargo transportation. The article presents a methodology for determining the optimal number of vehicles required for efficient cross-docking operations under conditions of uncertainty and limited resources. The proposed approach takes into account the key parameters of logistics processes, including the dynamics of incoming and outgoing cargo flows, restrictions on the capacity of logistics hubs, variability of transportation demand and possible delays in delivery.

The proposed methodology is based on the use of mathematical optimization models that minimize the operating costs of truck maintenance and reduce the risks of penalties in case of violation of contractual terms and conditions regarding the timing and quality of logistics operations. The study considers various scenarios of loading and unloading processes, taking into account the uneven distribution of cargo flows, limited warehouse and transshipment capacities, possible disruptions in delivery schedules, and other uncertain factors. Effective cross-docking operations require perfect coordination of incoming and outgoing flows on logistics platforms. This is because cross-docking involves minimizing the time for cargo handling without long-term storage, which requires clear synchronization between all participants in the logistics process - suppliers, carriers, customs authorities and recipients of goods. The factors that determine the conditions of uncertainty in the organization of cross-docking in international transportation are outlined.

The obtained results can be used to improve the efficiency of logistics systems, optimize the use of the vehicle fleet, reduce operating costs and improve the overall quality of service in the field of international transportation. The proposed methodology is useful for logistics operators, transport companies, and analysts involved in transportation management and the development of strategies to improve logistics processes in the context of cross-docking.

Keywords: cargo, vehicles, costs, cross-docking, warehouse.