

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 656.073.7

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2025.108.0.284

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПАРАЛЕЛЬНОГО ДОВАНТАЖЕННЯ АВТОМОБІЛІВ ПІД ЧАС ДОСТАВКИ ДРІБНИХ ВІДПРАВОК ВАНТАЖІВ У МІЖМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ

Вдовиченко В. О., Кузьмін А.А., Зинов'єв Д.Є., Твердий І.С.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** У статті розглянуто параметри використання транспортно-технологічної схеми паралельного довантаження автомобілів під час доставки дрібних відправок вантажів у міжміському сполученні. Проаналізовано особливості організації доставки вантажів з огляду на підвищення ефективності використання вантажного автотранспорту та мінімізації сукупності логістичних витрат на доставку дрібної партії вантажу. Досліджено закономірності зміни економічної ефективності впровадження схеми паралельного довантаження автомобілів, що дозволяє визначити раціональні параметри й оптимізувати логістичні процеси. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення системи організації вантажо-перевезень і зниження експлуатаційних витрат транспортних компаній.*

***Ключові слова:** транспортно-технологічна схема, дрібні відправлення, довантаження, перевезення, оптимізація, міжміське сполучення, логістичний склад.*

Вступ

У сучасних умовах розвитку транспортно-логістичної інфраструктури України ефективність вантажоперевезень здійснює важливу функцію в забезпеченні стабільності економіки та конкурентоспроможності бізнесу. Одним із важливих аспектів логістики в міжміському сполученні є консолідація дрібних відправок, що дозволяє значно знизити витрати на доставку, підвищити рівень завантаженості автомобілів і забезпечити регулярність.

Вибір раціональних параметрів реалізації транспортно-логістичної схеми для доставки консолідованих вантажів потребує комплексного підходу, який містить аналіз доступних видів транспорту, розроблення маршрутів, планування часу доставки та забезпечення збереження вантажу. У цьому контексті важливими є досягнення економічної ефективності, збереження якості обслуговування клієнтів, мінімізація ризиків та гнучкість логістичної системи, яка може реагувати на зміни в попиті та коливання на ринку.

Аналіз впливу параметрів транспортно-логістичної схеми доставки вантажів в умовах консолідації дрібних відправлень є актуальним та спрямованим на розроблення ефективних рішень для покращення логістичних процесів, що сприятиме сталому розвитку економіки та підвищенню конкурентоспро-

можності автотранспортних компаній на внутрішньому та міжнародному ринках.

Аналіз публікацій

Теорія організації доставки дрібних відправок у міжміському сполученні ґрунтується на принципах логістики, транспортної економіки й управління процесами поставок. Сучасні теоретичні підходи зосереджуються на таких аспектах [1–6]:

- консолідація вантажів;
- оптимізація маршрутів;
- планування вантажопотоку.

Основною проблемою дрібних відправок є висока вартість перевезення, обумовлена невеликою вагою і об'ємом партії вантажу. Консолідація вантажів різних відправників у межах одного маршруту дозволяє оптимізувати витрати та підвищити ефективність використання транспортних засобів [7]. Для мінімізації витрат і часу доставки використовуються методи математичного моделювання й алгоритми оптимізації, що дозволяють визначити найкоротші або найменш затратні маршрути. Теорія управління вантажопотоком містить аналіз обсягів, частоти відправлень, прогнозування попиту та керування часом доставки. Планування й управління вантажопотоком забезпечує оптимальну структуру відправлень для задоволення потреб клієнтів [8].

Для організації доставки дрібних відправок застосовують різноманітні методи, найпоширенішими з яких є такі:

- пулінг (Pooling): цей метод передбачає об'єднання декількох дрібних відправок у великі вантажі, що перевозяться за одним маршрутом; пулінг дозволяє знизити витрати на доставку завдяки зменшенню кількості перевезень і підвищенню завантаженості автомобілів [8];

- крос-докінг: це метод, у процесі використання якого дрібні вантажі доставляються на центральний склад, де вони обробляються та перенаправляються без тривалого зберігання; крос-докінг забезпечує швидке розподілення вантажів і дозволяє уникнути зайвих витрат на зберігання [9];

- мультимодальні перевезення: дрібні відправки часто транспортуються з використанням декількох видів транспорту, що дозволяє забезпечити гнучкість доставки та оптимізацію маршруту [10].

Організація доставки дрібних вантажів у міжміському сполученні автомобільним транспортом має такі особливості:

- довгі відстані між пунктами вимагають ретельного планування та координації;

- оскільки перевезення дрібних відправок зазвичай здійснюється на маршрутах з багатьма зупинками, важливим є забезпечення своєчасної доставки;

- на маршрутах можуть використовуватися комбіновані перевезення.

У сучасних умовах розвитку логістичних послуг важливим аспектом є оптимізація транспортних процесів, зокрема це є актуальним у сфері доставки дрібних відправок вантажів [11]. Одним із дієвих методів оптимізації доставки дрібних відправок є паралельне довантаження автомобілів, що рухаються в необхідному напрямку та мають вільне місце в кузові. Це дозволяє знизити транспортні витрати та підвищити ефективність використання транспорту.

Паралельне довантаження передбачає використання одного транспортного засобу для перевезення кількох відправлень, які можуть належати різним клієнтам і мати різні пункти доставки, але знаходяться в напрямку одного міжміського сполучення. Паралельне довантаження вимагає чіткої координації та планування. Важливими аспектами паралельного довантаження є такі:

- маршрути мають враховувати не лише пункти доставки, а й можливі зупинки для довантаження;

- необхідно забезпечити ефективний розподіл вантажів у кузові автомобіля, щоб оптимально використовувати простір і підтримувати ваговий баланс;

- інформаційні системи та технології: використання GPS-навігації та систем відстеження вантажу дозволяють краще координувати доставку та попереджати про можливі затримки.

З розвитком технологій автоматизації та цифровізації процесів паралельне довантаження отримує додаткові можливості. Використання штучного інтелекту, сучасних інформаційних систем для планування маршрутів і відстеження автомобілів дозволяє:

- створювати гнучкі маршрути з огляду на зміни умов і потреб клієнтів;

- забезпечувати оперативну зміну маршрутів залежно від поточних запитів на перевезення;

- інтегрувати послуги перевезень у загальну систему дистрибуції товарів.

Незважаючи на численні переваги, процес паралельного довантаження має й низку недоліків, зокрема такі:

- потреба у встановленні базових умов забезпечення ефективності транспортно-технологічної схеми доставки вантажів;

- складність прогнозування обсягів і часу доставки дрібних відправлень, що може призвести до зниження якості обслуговування відправників.

Аналіз закономірностей впливу параметрів попиту та здійснення базових операцій з перевезення вантажів на локальних маршрутах дозволить визначити умови застосування технології паралельного довантаження автомобілів.

Мета та постановка задачі

Метою роботи є визначення раціональних параметрів впровадження транспортно-логістичної схеми доставки дрібних партій вантажів у міжміському сполученні з огляду на умови здійснення довантаження автомобілів. Для досягнення визначеної мети необхідно вирішити такі завдання:

- визначити типову схему процесу консолідації дрібних відправок у межах регіону обслуговування;

- визначити закономірності зміни параметрів ефективності використання транспортно-логістичної схеми доставки дрібних відправок в умовах стохастичного попиту;

- провести експериментальні дослідження щодо впливу запропонованої транспорт-

но-технологічної схеми на економічні показники доставки вантажів.

Виклад основного матеріалу

Доставка дрібних відправок визначається необхідністю перевезень невеликих обсягів вантажу. Це потребує високої оперативності та гнучкості транспортних рішень, а також попереднього аналізу економічної доцільності цього процесу. Розглянемо схему організації доставки дрібних відправок з можливістю паралельного довантаження в сполученні Харків – Київ – Львів. Така форма обслуговування передбачає створення на виїзді з міст логістичних складів (ЛС-1, ЛС-2, ЛС-3, ЛС-4), на яких накопичуються дрібні відправки. Доставка дрібних відправок із території міст здійснюється автомобілями малої вантажності, що належать компанії, яка утримує логістичні склади (ЛС). На ЛС дрібні відправки вантажів зберігаються в очікуванні довантаження на автомобілі, що рухаються за основними заявками та мають вільне місце для довантаження декількох піддонів з вантажем. Розташування ЛС на виїзді з міста робить зручним таке довантаження, оскільки не передбачає додаткових пробігів автомобілів із напівпричепами для заїзду до локальних пунктів довантаження. На ЛС біля в'їзду до міста призначення здійснюються процеси розвантаження дрібних відправок і подальшої доставки до локального споживача за допомогою автомобілів малої вантажності. На рис. 1 наведено схему мережі доставки дрібних відправок під час паралельного довантаження автомобілів у сполученні Харків – Київ – Львів.

На початковому етапі визначаються вимоги клієнтів щодо доставки, обсяги та характеристики вантажів, місця завантаження й розвантаження, а також часові обмеження. Аналіз замовлень дозволяє визначити, які з

них можна об'єднати для паралельного довантаження. На основі цієї інформації розробляються маршрути, що містять всі необхідні точки доставки та мінімізують витрати на локальні перевезення. Локальний маршрут планується так, щоб максимізувати завантаження автомобіля, скоротити час доставки та врахувати потреби всіх замовників. Надалі на логістичному складі вантаж зберігається до моменту, коли стане можливе його довантаження до автомобіля великої вантажності, що рухається в напрямку сполучення. Після визначення попутного маршруту здійснюється довантаження. Правильне планування завантаження запобігає пошкодженням вантажу та сприяє ефективному використанню простору напівпричепа. Інтеграція GPS-навігації, систем відстеження та автоматизованих програм для керування маршрутом допомагає координувати процес перевезення в реальному часі.

Це дозволяє відстежувати місцезнаходження автомобіля та забезпечувати своєчасне здійснення замовлень. Якщо на маршруті є можливість для довантаження додаткових відправлень, водії і логістичні оператори координують цей процес. Довантаження узгоджується заздалегідь, щоб не порушувати графік руху та забезпечити своєчасність доставки вантажу. Відповідно до плану маршруту, автомобіль доставляє вантажі до ЛС, звідки їх розвозять отримувачам до пунктів міста.

Послідовність етапів організації паралельного довантаження дозволяє досягти високої економічної ефективності, забезпечуючи поставки у визначені строки та оптимізуючи витрати. Правильне планування і контроль на кожному з етапів є основними чинниками процесу доставки дрібних відправок на міжміських автомобільних маршрутах.

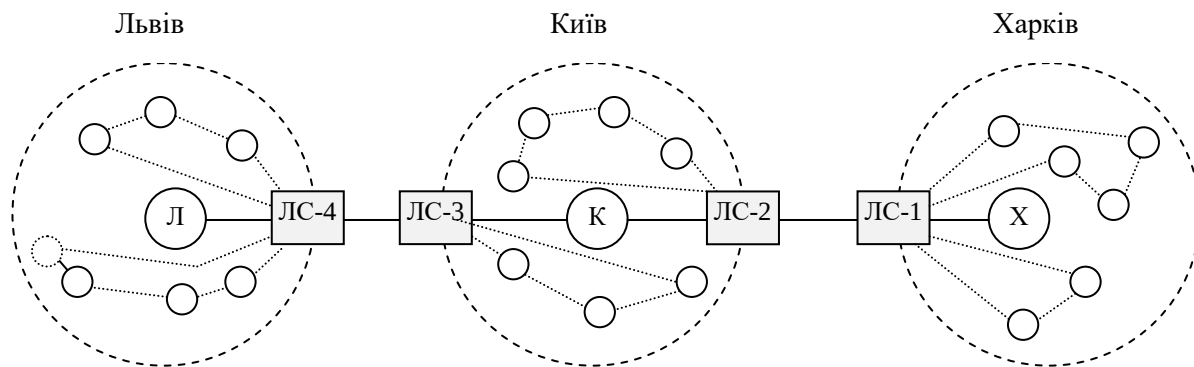


Рис. 1. Схема мережі доставки дрібних відправок під час паралельного довантаження

На рис. 2 наведено послідовність етапів організації паралельного довантаження автомобілів дрібними відправками.

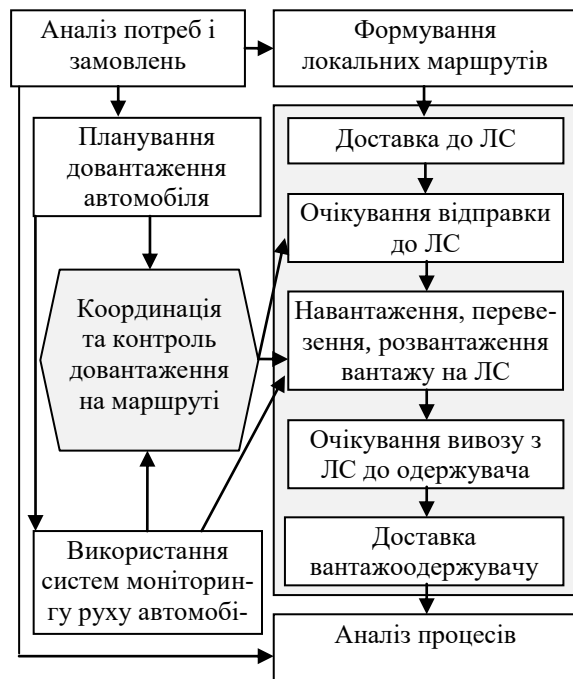


Рис. 2. Етапи організації довантаження автомобілів дрібними відправками

Транспортно-технологічна схема доставки дрібних партій під час паралельного довантаження автомобілів у міжміському сполученні складається з послідовності операцій та етапів, що забезпечують ефективну організацію процесу. Ця схема дозволяє аналізувати транспортні витрати, визначити місця скорочення витрат часу доставки та забезпечити гнучкість логістичних рішень. На рис. 3 наведено структуру транспортно-технологічної схеми доставки дрібних відправок вантажів.

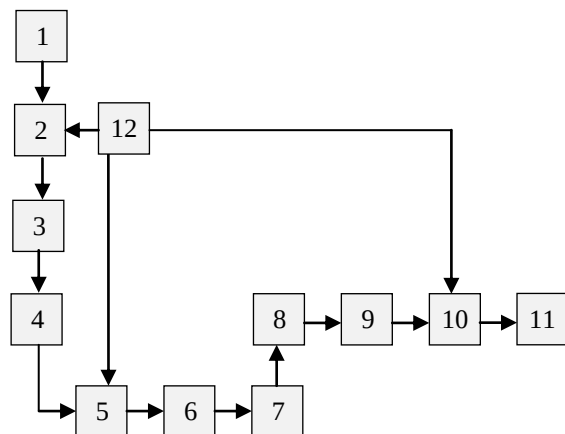


Рис. 3. Структура транспортно-технологічної схеми доставки дрібних відправок вантажів

На рис. 3 використано такі умовні позначення: 1 – холостий рух автомобіля до вантажовідправника, 2 – завантаження до вантажовідправника, 3 – розвантаження на ЛС, 4 – зберігання вантажу на ЛС, 5 – завантаження вантажу до автомобіля-фури, 6 – рух магістральним маршрутом, 7 – розвантаження на ЛС, 8 – зберігання вантажу на ЛС, 9 – завантаження на ЛС до автомобіля для розвізного маршруту, 10 – перевезення вантажу до одержувача, 11 – розвантаження в споживача, 12 – повернення автомобіля до ЛС, 12 – оформлення документів.

Під час аналізу елементів технологічного процесу доставки консолідованих вантажів визначено, що оптимізація кожного з них є основним чинником для досягнення високої ефективності.

Консолідація, планування маршрутів, сортування, навантажувально-розвантажувальні процеси та контроль – це основні етапи, від яких залежить швидкість, якість та економічність доставки. На рис. 4 наведена схема структурного контуру функціонального зв'язку елементів, що впливають на ефективність доставки вантажів.

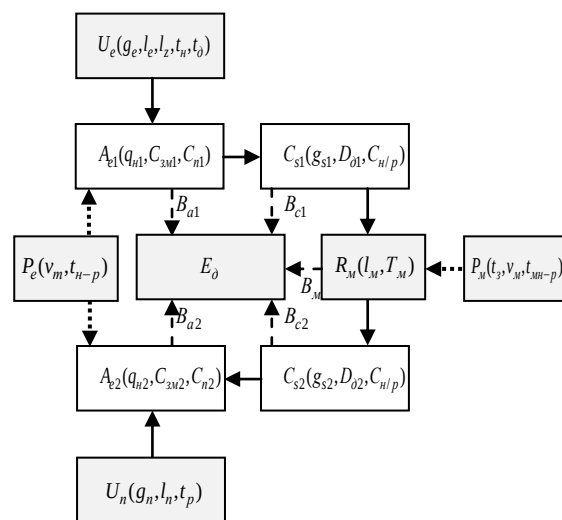


Рис. 4. Схема структурного контуру зв'язку елементів

Важливим етапом формування моделі дослідження є визначення зв'язку досліджуваного об'єкта за допомогою вербального аналізу типу здійснення процесів. Процес переміщення матеріального потоку складається з 5 елементів: вантажовідправника (U_e); парку рухомого складу ЛС міста відправлення

(A_{e1}); ЛС у місті відправлення (C_{s1}); рухомого складу магістральних маршрутів (R_m); ЛС у місті призначення (C_{s2}); парку рухомого складу ЛС міста призначення вантажу (A_{e1}). Кожна заявка з дрібної відправки визначається такими елементами: обсягом відправки (g_e), що складається з кількості піддонів вантажу; відстанню перевезення до ЛС міста відправки (l_e); загальною відстанню доставки вантажу (l_z); часом простою автомобіля під навантаженням у вантажовідправника (t_n) та загальним максимальним терміном доставки вантажу до одержувача (t_d). Від відправника вантаж доставляється до ЛС міста відправки.

Залежно від вантажності автомобіля (q_{n1}) та його експлуатаційних витрат (C_{3m1}, C_{n1}) визначаються витрати на перевезення до ЛС (B_{a1}). У межах ЛС здійснюються процеси з вантажем, зокрема його зберігання. Витрати на ці операції (B_{c1}) залежать від тривалості зберігання замовлення (D_{o1}), питомих витрат на зберігання (g_{s1}) та вартості навантажувально-розвантажувальних робіт ($C_{n/p}$). Витрати на перевезення магістральним маршрутом (B_m) визначаються тарифами на перевезення вантажної одиниці (T_m) та довжиною маршруту перевезення (l_m).

У межах ЛС міста призначення здійснюються операції з вантажем, зокрема його зберігання. Витрати на ці операції (B_{c2}) залежать від тривалості зберігання замовлення (D_{o2}), питомих витрат на зберігання (g_{s2}) та вартості навантажувально-розвантажувальних робіт ($C_{n/p}$). Витрати на перевезення до одержувача (B_{a2}) залежать від вантажності автомобіля (q_{n2}) та його поточних експлуатаційних витрат (C_{3m2}, C_{n2}). Всі витрати на кожен елемент процесу доставки визначають значення критерію ефективності, що дорівнює питомому прибутку (Π) від організації попутного довантаження автомобілів.

На технологічні процеси впливають випадкові чинники (P_e, P_m), які можна поділити на 2 види: вплив на технічну швидкість (v_m) та час навантаження (t_{n-p}) на ділянці перевезення до ЛС міста відправлення та від ЛС міста призначення; вплив на ймовірність

часу очікування попутного рейсу (t_z), технічну швидкість руху на магістральному маршруті (v_m) та час навантаження-розвантаження (t_{mn-p}). Математичне визначення задачі полягає в пошуку сукупності технологічних параметрів, що забезпечують досягнення умови $\Pi \rightarrow \max$ за дотримання вимоги $T_d \leq T_d^{\max}$, що обмежує загальний термін доставки відповідно до вимог клієнтів. Як головний критерій Π використовується параметр, що дозволяє визначити економічну ефективність доставки. Його можна записати як функцію

$$\Pi = D - B_{a1} - B_{c1} - B_m - B_{c2} - B_{a2} \rightarrow \max, \quad (1)$$

де D – доходи за доставку вантажу, грн; B_{a1} – витрати на операції з перевезення вантажу до ЛС міста відправлення, грн; B_{c1} – витрати на складські операції на ЛС міста відправлення, грн; B_m – витрати на операції з перевезення вантажу магістральним маршрутом, грн; B_{c2} – витрати на складські операції на ЛС міста призначення, грн; B_{a2} – витрати на операції з перевезення вантажу з ЛС міста призначення, грн.

Для визначення умов досягнення екстремуму критерію Π необхідно записати логічними зв'язками його складові. Для математичного визначення закономірності впливу вхідних параметрів на елементи цільової функції можливо застосувати такі функції:

$$D = f(T_d, g_e), \quad (2)$$

$$B_{a1}, B_{a2} = f(g_e, l_e, C_{3m1}, C_{n1}, v_m, t_{n-p}, k_n), \quad (3)$$

$$B_{c1}, B_{c2} = f(g_e, g_{s1,2}, D_{o1,2}, C_{n/p}, t_z), \quad (4)$$

$$B_m = f(g_e, l_m, T_m, v_m, t_{mn-p}), \quad (5)$$

де g_e – об'єм відправки (кількість піддонів), од.; T_d – тариф за доставку 1 піддона, грн; l_e – відстань доставки до ЛС міста відправки, км; v_m – технічна швидкість руху на локальних маршрутах, км/год; C_{3m1}, C_{n1} – змінні та постійні витрати автомобіля, що обслуговує локальні маршрути, грн/км, грн/год; t_{n-p} – час навантаження-розвантаження автомобіля на ЛС, год; k_n – кількість піддонів,

що одночасно доставляються автомобілем на локальних маршрутах, од; $D_{01,2}$ – час зберігання на логістичному складі, дн; t_3 – можлива затримка пошуку рейсу для довантаження, дн; $g_{s1,2}$ – вартість зберігання 1 піддона на складі, грн/дн; $C_{н/р}$ – питомі витрати на навантаження-розвантаження 1 піддона в межах ЛС, грн/од; T_m – тариф за перевезення 1 піддона на магістральному маршруті, грн/км; l_m – довжина перевезення на магістральному маршруті, км; v_m – технічна швидкість руху на магістральному маршруті, км/год; t_{mn-p} – час навантаження-розвантаження автомобіля-фури, год.

Наведені елементи аналітичної моделі є основою для проведення програмного експерименту та подальшого аналізу отриманих результатів. Для обліку реальних умов здійснення процесів під час експерименту використано фактичні дані значень техніко-експлуатаційних показників.

Їх отримано на основі натурних спостережень за роботою автомобілів у процесі обслуговуванні заявок, що надходили до м. Харкова до ТОВ «ОЛЛ ТРАК ПАРТС» та ФОП Стадник С. О. На рис. 5 подано розподіл значення швидкості технічного руху на локальних маршрутах у місті відправлення (м. Харків), що зафіксовано протягом низки натурних спостережень.

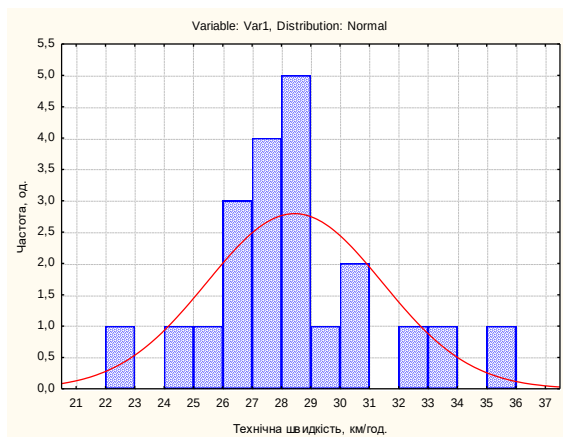


Рис. 5. Розподіл технічної швидкості в місті відправлення (м. Харків)

Згідно з рис. 5 час рейсу змінюється за нормальним законом, що свідчить про наявність сукупності чинників впливу на стабільність тривалості рухових операцій.

Крім швидкості руху в місті, під час натурних спостережень також були досліджені

швидкість на маршруті Харків – Київ та час простою автомобілів під навантаженням і розвантаженням на ЛС.

Основною гіпотезою для аналізу впливу є визначення моделей, тобто вибір виду двох функцій:

$$\Pi = f(g_e, l_e, l_z, v_m, t_{n-p}, k_n, Q_e), \quad (6)$$

$$T_\partial = f(g_e, l_e, l_z, v_m, t_{n-p}, k_n, Q_e), \quad (7)$$

де Q_e – загальна кількість відправок піддонів протягом місяця, од.

Екстремум цільових функцій $\Pi \rightarrow \max$ та $T_\partial \leq T_\partial^k$ відповідає оптимальному стану системи транспортного обслуговування та має потрібне значення в процесі впровадження раціональних параметрів обслуговування локальних маршрутів.

До таких параметрів належать кількість піддонів з вантажем, що можуть бути одночасно перевезені до ЛС (g_e), та загальна кількість дрібних відправок піддонів з вантажем протягом місяця (Q_e). Інші величини не є керованими та мають визначені закономірності випадкової зміни в межах проведених спостережень. Логіка проведення експерименту передбачає визначення допустимих значень g_e та Q_e . Чинник g_e складається з чотирьох рівнів: g_{e1} – мінімальна кількість піддонів, що перевозяться одним автомобілем до ЛС (1 піддон); g_{e2} – 2 піддони; g_{e3} – 3 піддони; g_{e4} – максимальна кількість (4 піддони).

Значення Q_e визначається сумарно для всіх місць дрібних відправок згідно з умовою поступової зміни їх кількості: $Q_{e1} = 450$ од., $Q_{e2} = 900$ од., $Q_{e3} = 1500$ од., $Q_{e4} = 3000$ од. Інформація про розподіл отримана на основі аналізу ринку замовлень дрібних відправок.

Вона наведена в табл. 1. Для моделювання в середовищі Visual Basic (VBA) була розроблена власна програма. Всього було здійснено 4 етапи, кожен з яких складався з 10 дослідів.

Під час експериментів отримано відклики статистичних функцій критерію ефективності, що визначають вплив кількості піддонів, які одночасно перевозяться в автомобілі на локальних маршрутах, та загального місячного обсягу.

Таблиця 1 – Розподіл замовлень між маршрутами

Сполучення	Питома вага, %	Кількість заявок в експериментах, од.			
		1 група	2 група	3 група	4 група
Харків ЛС1 – Київ ЛС2	5	23	45	75	150
Харків ЛС1 – Київ ЛС3	15	68	135	225	450
Харків ЛС1 – Львів ЛС4	10	45	90	150	300
Львів ЛС4 – Київ ЛС3	15	67	135	225	450
Львів ЛС4 – Київ ЛС2	12	54	108	180	360
Львів ЛС4 – Харків ЛС1	8	36	72	120	240
Київ ЛС2 – Харків ЛС1	15	67	135	225	450
Київ ЛС3 – Харків ЛС1	10	45	90	150	300
Київ ЛС3 – Львів ЛС4	8	36	72	120	240
Київ ЛС2 – Львів ЛС4	2	9	18	30	60
Разом	100	450	900	1500	3000

На рис. 6–9 наведено графіки, що демонструють зміну валового прибутку за різних варіацій досліджуваних чинників.

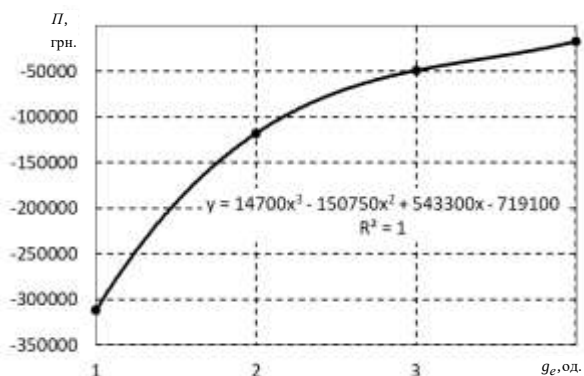


Рис. 6. Зміна валового прибутку від кількості піддонів, що перевозяться на локальному маршруті (якщо $Q_e = 450$ піддонів протягом місяця)

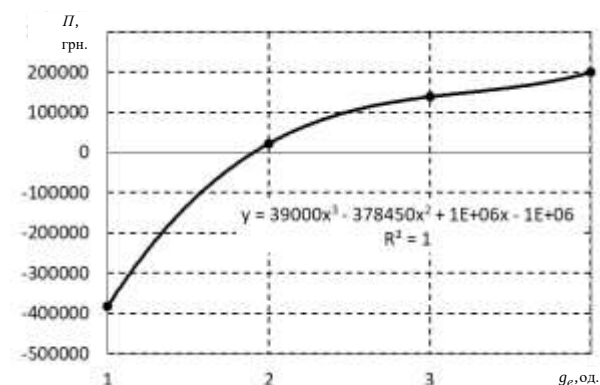


Рис. 7. Зміна валового прибутку від кількості піддонів, що перевозяться на локальному маршруті (якщо $Q_e = 900$ піддонів протягом місяця)

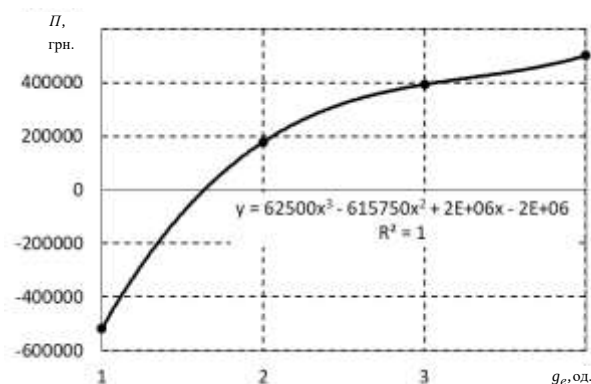


Рис. 8. Зміна валового прибутку від кількості піддонів, що перевозяться на локальному маршруті (якщо $Q_e = 1500$ піддонів протягом місяця)

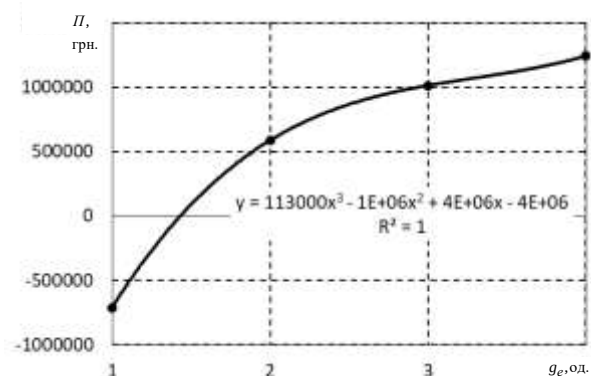


Рис. 9. Зміна валового прибутку від кількості піддонів, що перевозяться на локальному маршруті (якщо $Q_e = 3000$ піддонів протягом місяця)

Під час проведення імітаційного експерименту визначено значення техніко-експлуатаційних параметрів обслуговування маршрутів та їхній вплив на прибуток:

– було визначено, що максимальна тривалість навантаження піддона у відправника становить 4,8 хв, а розвантаження – 3,6 хв, тривалість базових операцій під час навантаження не перевищує 16 хв;

– максимальний час навантаження піддона на ЛС становить 3 хв, розвантаження – 3,5 хв, а тривалість базових операцій під час навантаження – 13,9 хв;

– оптимізація витрат здійснюється завдяки збільшенню кількості піддонів у кожній локальній доставці, під час перевезення 1 піддона на локальному маршруті запропонована схема не є ефективною;

– середні витрати на один піддон зменшуються зі збільшенням кількості піддонів у доставці (наприклад, для 450 піддонів витрати знижуються від 2350 грн до 1695 грн);

– загальна рентабельність значно покращується в разі збільшення кількості піддонів до 3–4 одиниць, що одночасно перевозяться на локальних маршрутах;

– спостерігається постійна збитковість за низьких обсягів замовлень, малі обсяги перевезень (450 піддонів/місяць) є збитковими незалежно від умов обслуговування локальних маршрутів;

– за умови перевезення від 900 піддонів/місяць показники прибутковості покращуються, що свідчить про економію на масштабі але за умови одночасного перевезення не менше ніж 2 піддонів на локальних маршрутах.

Щодо прибутковості за розрахунку середнього прибутку на 1 піддон, то вона є негативною за менших обсягів та партій, але стає позитивною зі збільшенням кількості піддонів у доставці, тому загальний прибуток також покращується зі збільшенням партії та кількості піддонів:

– за обсягу 450 піддонів протягом місяця загальний прибуток варіюється від 311,9 тис. грн до 17,1 тис. грн;

– для 3000 піддонів загальний прибуток збільшується та становить 1,245 млн. грн за одночасної доставки по 4 піддони на локальних маршрутах.

Таким чином, для підвищення ефективності рекомендується:

– збільшувати обсяг піддонів, що перевозяться до ЛС в одній доставці завдяки оптимізації локальних маршрутів;

– намагатися досягати максимального місячного обсягу замовлень через забезпечення надійності обслуговування замовників.

Висновки

Аналіз наявних методів організації доставки дрібних відправок у міжміському сполученні демонструє, що ефективність доставки значно залежить від консолідації вантажів, оптимізації маршрутів і застосування інформаційних технологій.

Основні методи містять централізовану консолідацію в логістичних центрах на межі міст обслуговування.

Консолідація та оптимізація маршрутів дозволяють знижувати витрати на доставку, підвищувати завантаженість транспорту та покращувати швидкість обслуговування, що є основними чинниками для задоволення потреб ринку.

Розглянуто схему організації мережі доставки дрібних відправок із застосуванням паралельного довантаження автомобілів. Такий підхід дозволяє оптимізувати транспортні процеси, знизити витрати на перевезення та підвищити ефективність використання автомобільного транспорту.

Запропонована схема доставки дрібних відправок із використанням паралельного довантаження є перспективним рішенням для сучасної логістики. Її впровадження дозволяє значно підвищити ефективність доставки, що є важливим чинником для конкурентоспроможності компаній на ринку транспортних послуг.

Запропонований підхід дозволяє оцінювати ефективність доставки на основі вартісних показників, що враховують специфіку перевезень дрібних відправок. Під час проведених експериментальних досліджень доставки дрібних відправок у сполученні Харків – Київ – Львів було визначено ключові аспекти, які впливають на ефективність транспортних операцій.

Аналіз валового прибутку та витрат на одиницю вантажу дозволив визначити економічно доцільні параметри перевезень й оптимальні обсяги доставки. Під час аналізу результатів імітаційного моделювання було визначено таке:

– ефективність перевезень залежить від обсягів доставки, тобто за низьких обсягів перевезень (450 піддонів/місяць) спостерігається постійна збитковість через високі середні витрати на обслуговування учасників транспортно-технологічної схеми доставки;

– за обсягу від 900 піддонів/місяць та 2 піддони в автомобілі на локальному маршруті операції стають економічно вигідними завдяки економії на масштабі та маршрутизації перевезень до ЛС;

– одночасне перевезення на локальних маршрутах 3–4 піддонів значно знижує витрати на одиницю вантажу та підвищує ефективність запропонованої транспортно-технологічної схеми паралельного довантаження автомобілів.

Література

1. Chocholac J., Sommerauerova D., Svab M., Jiraskova A., Polak M. Logistic technologies for tracking manufactured passenger cars on consolidation areas: Interpretative case study. *Transportation Research Procedia*. 2021. Vol. 53. P. 266–273. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.034>
2. Chu X., Wang Y., Lin Y. H., Chew E. P. Offshore consolidation centre for air cargo operations: model and solution methods. *OR Spectrum*. 2024. P. 1–33. <http://doi.org/10.1007/s00291-024-00764-0>
3. Shramenko N., Muzylyov D., Shramenko V. Service costs in operational planning of transportation with small batches of cargo in city. In *Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange*. Cham: Springer International Publishing. 2020. P. 201–209. <http://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7>
4. Łukasik Z., Kuśmińska-Fijałkowska A., Kozyra J., Olszańska S. Consolidation of cargos in the road transport as a key method to success. *Communications-Scientific letters of the University of Zilina*. 2021. 23(1). P. 54–61. <http://doi.org/10.26552/com.C.2021.1.A54-A61>
5. Горбачов П. Ф., Моспан Н. В. Формалізація процесу обслуговування разових замовлень на перевезення вантажів у міжміському сполученні. *Вісник ХНАДУ*. 2016. № 72. С. 66–74. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vhad_2016_72_13
6. Демченко Є. Б., Дорош А. С., Сковрон І. Я. Сучасні інформаційні системи на ринку вантажних перевезень України. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2022. № 23. С. 84–86. <https://doi.org/10.15802/tstt2022/261660>
7. Mejjauoli S., Babiceanu R. F. Cold supply chain logistics: System optimization for real-time rerouting transportation solutions. *Computers in Industry*. 2018. Vol. 95. P. 68–80. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.12.006>
8. Faugère L., Klibi W., White C., Montreuil B. Dynamic pooled capacity deployment for urban parcel logistics. *European Journal of Operational Research*. 2022. Vol. 303(2). P. 650–667. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.02.051>
9. Buakum D., Wisittipanich W. A literature review and further research direction in cross-docking. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. 2019. P. 471–481. Режим доступу: <https://www.ieomsociety.org/ieom2019/papers/121.pdf>

10. Feng X., Song R., Yin W., Yin X., Zhang R. Multimodal transportation network with cargo containerization technology: Advantages and challenges. *Transport Policy*. 2023. № 132. P. 128–143. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.12.006>
11. Ramos A. G., Silva E., Oliveira J. F. A new load balance methodology for container loading problem in road transportation. *European Journal of Operational Research*. 2018. 266(3). P. 1140–1152. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.10.050>

References

1. Chocholac, J., Sommerauerova, D., Svab, M., Jiraskova, A., Polak, M. Logistic technologies for tracking manufactured passenger cars on consolidation areas: Interpretative case study. *Transportation Research Procedia*. 2021. Vol. 53. P. 266–273. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.034>
2. Chu, X., Wang, Y., Lin, Y. H., Chew, E. P. Offshore consolidation centre for air cargo operations: model and solution methods. *OR Spectrum*. 2024. P. 1–33. <http://doi.org/10.1007/s00291-024-00764-0>
3. Shramenko, N., Muzylyov, D., Shramenko, V. Service costs in operational planning of transportation with small batches of cargo in city. In *Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange*. Cham: Springer International Publishing. 2020. P. 201–209. <http://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7>
4. Łukasik, Z., Kuśmińska-Fijałkowska, A., Kozyra, J., Olszańska, S. Consolidation of cargos in the road transport as a key method to success. *Communications-Scientific letters of the University of Zilina*. 2021. 23(1). P. 54–61. <http://doi.org/10.26552/com.C.2021.1.A54-A61>
5. Gorbachov, P., Mospan, N. Formalisation of the service process of single intercity freightages. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*. 2016. № 72. P. 66–74. http://nbuv.gov.ua/UJRN/vhad_2016_72_13
6. Demchenko, Y., Dorosh, A., Skovron, I. Modern information systems on the Ukrainian freight transportation market. *Transport Systems and Transportation Technologies*. (23). 79. P. 84–86. <https://doi.org/10.15802/tstt2022/261660>
7. Mejjauoli, S., Babiceanu, R. F. Cold supply chain logistics: System optimization for real-time rerouting transportation solutions. *Computers in Industry*. 2018. Vol. 95. P. 68–80. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.12.006>
8. Faugère, L., Klibi, W., White, C., Montreuil, B. Dynamic pooled capacity deployment for urban parcel logistics. *European Journal of Operational Research*. 2022. Vol. 303(2). P. 650–667. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.02.051>
9. Buakum, D., Wisittipanich, W. A literature review and further research direction in cross-docking. In *Proceedings of the International Conference on*

- Industrial Engineering and Operations Management*. 2019. P. 471–481. Accessed: https://www.ieomsociety.org/ieom2019/papers/12_1.pdf
10. Feng, X., Song, R., Yin, W., Yin, X., Zhang, R. Multimodal transportation network with cargo containerization technology: Advantages and challenges. *Transport Policy*. 2023. № 132. P. 128–143. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.12.006>
 11. Ramos, A. G., Silva, E., Oliveira, J. F. A new load balance methodology for container loading problem in road transportation. *European Journal of Operational Research*, 2018. 266(3). P. 1140–1152. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.10.050>

Вдовиченко Володимир Олексійович, д.т.н.,

проф. каф. транспортних технологій,
vval2301@gmail.com, тел. +38050-403-17-10,
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2746-8175>

Кузьмін Артем Анатолійович, аспірант
 каф. транспортних технологій,
Art.kuzmin.77@gmail.com, тел. +38050-355-36-77,
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1596-0314>

Зинов'єв Дмитро Євгенович, аспірант
 каф. транспортних технологій,
dezinoviev.86@gmail.com, тел. +38050-352-90-92,
 ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9144-4411>

Твердий Іван Сергійович, магістр
 каф. транспортних технологій,
ivvantv@gmail.com, тел. +38066-665-85-93,
 ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8506-386X>

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

Efficiency evaluation of the transport and technology scheme of automobile parallel loading during delivery of small cargo shipments in intercity transportation

Abstract. Problem. The organization of small consignment freight transportation in intercity connections is one of the most pressing challenges in modern transport logistics. Traditional transportation schemes often lead to the underutilization of vehicle capacity, increased costs, and negative economic outcomes due to inefficient use of cargo space. In this regard, the development and evaluation of the efficiency of a transport-technological scheme that involves parallel loading of vehicles to optimize delivery costs for small consignments is highly relevant. **Goal.** The aim of this study is to determine the optimal parameters of a transport logistics scheme for the delivery of small consignments, considering the conditions of vehicle parallel loading in intercity transportation. **Methodology.** To assess the efficiency of the proposed transport-technological scheme, a systematic approach was applied, including simulation modeling and logistics cost analysis methods. The impact of key transportation parameters on the eco-

nomie efficiency of small consignment delivery under conditions of parallel vehicle loading in intercity connections was analyzed. Multi-criteria efficiency assessment methods and simulation modeling were used to determine rational scenarios for organizing freight delivery with parallel vehicle loading. **Results.** It was established that the implementation of the proposed transport-technological scheme increases vehicle load utilization and contributes to reducing transportation costs for small consignment delivery compared to traditional approaches. The study found that the simultaneous transportation of 3–4 pallet loads on local routes significantly reduces delivery costs and ensures the economic efficiency of the proposed transport-technological scheme for parallel vehicle loading. **Originality.** The proposed approach to evaluating the efficiency of the transport-technological scheme for small consignment delivery considers the specifics of servicing local routes and enables the optimization of loading processes, which have not been sufficiently studied before. The use of a comprehensive approach to efficiency analysis provides new insights into the impact of vehicle loading parameters on local routes and their effect on the economic efficiency of the transport-technological scheme for small consignment delivery. **Practical value.** The proposed approach provides the assessment of delivery efficiency based on cost indicators, considering the specifics of small consignment transportation. As a result of experimental studies on small consignment deliveries along the Kharkiv – Kyiv – Lviv route, key factors influencing transport operations efficiency were identified. The analysis of gross profit and cost per unit of cargo enabled the determination of optimal parameters for local transportation and the rational order volumes at which the proposed transport-technological scheme remains economically viable.

Key words: transport-technological scheme, small consignments, additional loading, transportation, optimization, intercity connection, logistics warehouse.

Volodymyr Vdovychenko, Doctor of technical sciences, Professor, Department of Transport Technology, vval2301@gmail.com, +38 050-403-17-10, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2746-8175>

Artem Kuzmin, Postgraduate Student, Department of Transport Technology, Art.kuzmin.77@gmail.com, +38050-355-36-77, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1596-0314>

Dmytro Zinoviev, Postgraduate Student, Department of Transport Technology, dezinoviev.86@gmail.com, тел. +38050-352-90-92, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9144-4411>

Ivan Tverdyi, Master, Department of Transport Technology, ivvantv@gmail.com, +38066-665-85-93, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8506-386X>

Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry str., Kharkiv, Ukraine, 61002

