

## Оцінка надійності логістичних систем міських вантажних перевезень з урахуванням завантаженості вулиць

В. А. Войтов, О. В. Кутья, Н. Г. Бережна, М. В. Карнаух, О. С. Біляєва

*Виконано математичну постановку задачі формування міських вантажних перевезень. Розроблено структуру системної інформаційної моделі, яка враховує матеріальний, енергетичний та інформаційний потоки. Представлено математичні вирази для розрахунку критерію вибору раціональних маршрутів – добротність маршруту. Критерій враховує можливості логістичного центру (його інформативність), масу перевезеного вантажу, завантаженість маршруту (затори), відстань перевезення й реальний час доставки вантажу. Його особливою рисою є те, що він визначається в онлайн-режимі і враховує динаміку завантаженості маршрутів впродовж робочої зміни.*

*Розроблено динамічну модель затримок у прийнятті рішень у логістичних ланцюгах міських вантажних перевезень. Модель дозволяє розрахувати час обробки заявок на транспортне обслуговування і час на саме транспортне обслуговування. Показано, що сумарний час доставки вантажу складається із часу знаходження транспортного засобу на маршруті, з урахуванням опору маршруту і часу затримок у всіх логістичних ланцюгах системи.*

*Розроблено математичну модель оцінки надійності вантажних міських перевезень з урахуванням завантаженості вулиць. Модель функціонує в онлайн-режимі та дозволяє визначати параметри транспортного процесу, які враховують наявність заторів на вулицях міста.*

*Запропоновано критерій оцінки надійності логістичної системи вантажних міських перевезень – коефіцієнт надійності. Критерій враховує час проходження транспортним засобом маршруту і час затримок у прийнятті заявок на обслуговування в логістичному центрі, та час затримок на транспортному підприємстві. Показано, що при відсутності затримок у логістичних ланцюгах, коефіцієнт надійності дорівнює одиниці, при наявності затримки – коефіцієнт надійності менше одиниці. Визначено фізичний зміст критерію надійності – це частка невиконання заявок на транспортне обслуговування точно в строк*

*Ключові слова: вантажні перевезення, коефіцієнт надійності, добротність маршруту, міські затори, вулична мережа*

### 1. Вступ

Задача формування маршрутів міської транспортної мережі вантажних перевезень належить до завдань стохастичного програмування, тому що вхідні дані для розв'язання оптимізаційної задачі (потік заявок, дальність перевезень, обсяг перевезень тощо) є випадковими функціями часу. Прийняття рішень по формуванню міських маршрутів доставки вантажів здійснюються працівником логістичного центру транспортного підприємства в процесі оперативного уп-

равління надходження заявок в онлайн-режимі. При цьому, ефективність процесу вибору маршруту визначається, з одного боку, сукупністю принципів і методів, що застосовуються для рішення транспортної задачі або її різновидів, з іншого боку – використанням сучасних інтернет-ресурсів, які доступні в онлайн-режимі. Останні на сьогоднішній день виступають ефективними засобами прийняття управлінських рішень.

Актуальність даного дослідження підтверджується тим, що на даному етапі існують інтернет-ресурси, які дозволяють здійснювати збір інформації про потреби у вантажних перевезеннях. Водночас, для моделювання і прогнозування вантажопотоків у міській транспортній мережі, необхідна наявність спеціальних модулів динамічного моделювання переміщення обсягів вантажів у реальному масштабі часу з урахуванням завантаженості (наявність заторів) на маршрутах перевезень. Такі модулі моделювання для міських вантажоперевезень повинні доповнювати існуючі інтернет-ресурси, працювати на їхній базі, використовуючи системи збору інформації, вибору найкоротших відстаней, визначення завантаженості транспортних магістралей і наявність заторів на маршрутах.

Виходячи з вищевикладеного, основною аргументацією такого наукового дослідження є пошук рішень по підвищенню ефективності вантажних перевезень у місті. Шляхами такого пошуку є розробка математичної моделі, яка взаємодіє з сучасними інтернет-ресурсами і дозволяє обирати раціональний маршрут з урахуванням завантаженості магістралей та вулиць міста в різні години робочого дня. Практичною значимістю такого дослідження є зменшення часу та витрат на транспортне обслуговування в межах міста.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

В роботі [1] представлено результати формалізації процесу функціонування різних виробничо-транспортних систем, які передбачають накопичення, тимчасове зберігання, навантаження і транспортування вантажів. Показано, що для рішення таких задач потрібно застосовувати логістичний підхід, який є методологічним аспектом в технології вантажних перевезень. В роботі [2] представлено математичну модель логістичної системи, яка дозволяє раціоналізувати технологію роботи взаємопов'язаних підприємств на основі розробки комплексу технологічних і управлінських рішень. Аналіз представлених робіт [1, 2] дозволяє робити висновок про перспективність логістичного підходу при розробці моделей вантажних перевезень. Але в них не було наведено ані методичного, ані методологічного підходів побудови моделей, які є проблемними складовими в моделюванні надійності транспортного забезпечення.

У роботі [3] проведено аналіз процесу функціонування транспортно-складського комплексу та формалізовано критерій ефективності. Цей показник являє собою питомі витрати на переробку вантажу і враховує витрати власника вантажу, пов'язані із простоем автомобілів, що очікують обслуговування. Проведене дослідження свідчить про актуальність використання критеріальних оцінок різних логістичних систем у процесі їх функціонування. У роботі [4] виконано аналіз тенденцій розвитку міських вантажних перевезень та розроблено критерій економічної доцільності. Представлено метод оцінки вантажних пере-

везень міста на основі інформації про вантажопотоки. Завдяки створенню інформаційної матриці обґрунтовано тарифи на міські вантажні перевезення. Приведено результати, які дають змогу зробити висновки, що економічний критерій є доцільним при виборі міських маршрутів.

Аналіз робіт [3, 4] дозволяє зробити висновок про застосування в них критеріального підходу. Але доцільно, щоб критерії були безрозмірними. Це дозволяє отримати узагальнену оцінку надійності, розробка якої також є проблемною складовою в моделюванні надійності транспортного забезпечення.

Стосовно характеристик транспортних інформаційних сервісних продуктів, в роботі [5] розглянуто чотири етапи формування оціночних показників систем. Розроблено інформаційну модель, яку створено на базі штучних нейронних мереж. Результати моделювання показують, що наявність інформаційних систем і систем зв'язку є важливою складовою міських вантажних перевезень. Саме від неї і залежить ефективність надання транспортних послуг. Але не розкрито механізм використання інформаційних систем за вибраними критеріями.

У роботі [6] також зроблено висновок, що розвиток інформаційних технологій забезпечує традиційний міський транспорт новими можливостями. Вводиться поняття – інтелектуальні транспортні перевезення, як нове покоління транспортної системи, що дозволить побудувати розумну транспортну інфраструктуру. Наголошено, що обмін інформацією про щільність та інтенсивність руху на вулицях міста дозволить підвищити рівень транспортних послуг. Однак існує багато проблем у зборі, зберіганні та використанні інтелектуальних транспортних засобів. У роботах [7, 8] представлено результати прогнозування часу доставки вантажів в міській мережі. Відзначено, що більшість моделей розроблено для пасажирських перевезень, які не можна використовувати при прогнозуванні вантажних перевезень. Також зроблено висновок про перспективність застосування GPS технологій. Перспективність застосування ІТ-систем обґрунтовано в роботі [9]. Доведено, що такий підхід підвищує інформативність моніторингу і дозволяє виконувати прогноз на транспортне обслуговування. З аналізу робіт [6–9] можна зробити висновок щодо перспективності застосування GPS технологій на транспорті. Але проблематичним є їх представлення та використання в математичних моделях у вигляді складових або параметрів, які оцінюють надійність та ефективність процесу, що досліджується.

Роботи [10, 11] присвячено оцінці надійності транспортного обслуговування. На основі проведеного аналізу транспортних мереж авторами зроблено висновок, що доцільно їх оцінювати за порівнянням критерію надійності. Саме методологію розрахунку критерію, який визначається ступенем насиченості вулиць міста під час руху, представлено в дослідженні. Але в даних роботах не розглянуто питання визначення завантаженості вулиць міста під час руху в окремій годині доби. Це робить використання наведеного методологічного підходу проблематичним для визначення критерію завантаженості вулиць.

Моделюванню міських автотранспортних потоків на основі виявлених аналогій у закономірностях протікання процесів в електричних ланцюгах присвячені роботи [12, 13]. В них вжито поняття – «опір руху» на окремій ділянці вулиці. Такий підхід дозволяє розробити математичну модель зниження швидкості руху

транспортними засобами на окремих ділянках вулиць міста, де є затори. В даних роботах крім виявленої проблеми врахування завантаженості вулиць показано перспективний підхід щодо розрахунку опору руху транспортного засобу.

Подальший розвиток такої аналогії отримано у роботі [14]. Розроблено математичну модель міських вантажних перевезень, основною відмінністю якої є те, що модель працює в реальному режимі часу. За допомогою інтернет-ресурсів визначається завантаженість ділянок дорожньої мережі або наявність заторів. Але розроблена модель не враховує динаміку завантаженості вулиць міста та не дозволяє оцінити надійність транспортного процесу, що потребує її доповнення.

Задача ідентифікації динамічної математичної моделі затримок у прийнятті рішень у логістичному центрі і на транспортному підприємстві при отриманні заявки на перевезення вантажу зводиться до визначення оператора моделі. Під «оператором моделі» будемо розуміти математичну динамічну модель у вигляді лінійних диференціальних рівнянь другого порядку. Аналогічний підхід при моделюванні вантажних перевезень під час збирання врожаю застосований у роботі [15]. Представлений у роботі методичний підхід є перспективним. Він дозволяє моделювати затримки в транспортному обслуговуванні. Це надасть можливість визначити показники надійності, які можна представити у вигляді безрозмірних критеріїв.

Методи моделювання динамічних транспортних потоків міських вантажних перевезень з урахуванням завантаженості вулиць у реальному режимі часу на основі використання доступних інтернет-ресурсів потребують подальшого розвитку і вдосконалення. Отриманий прогноз дозволить обґрунтувати раціональний маршрут доставки вантажу в реальному часі (на найближчі 30...60 хв.), тим самим підвищити надійність доставки.

### **3. Мета та задачі дослідження**

Метою дослідження є розробка математичної моделі оцінки надійності вантажних міських перевезень з урахуванням завантаженості вулиць в онлайн-режимі та обґрунтування критерію надійності міських вантажних перевезень.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- обґрунтувати методичний підхід в проведенні досліджень надійності вантажних міських перевезень з урахуванням завантаженості вулиць;
- обґрунтувати параметри транспортного процесу міських вантажних перевезень, які враховують наявність заторів на вулицях міста;
- виконати математичне моделювання надійності транспортного обслуговування міських вантажних перевезень.

### **4. Методичний підхід у проведенні досліджень міських вантажних перевезень з урахуванням завантаженості вулиць**

В якості методичного підходу в проведенні досліджень було обрано математичні моделі у вигляді диференціальних рівнянь другого порядку. Саме такі рівняння добре зарекомендували себе в технічних галузях і мають досить обґрунтований апарат рішення. Обраний метод дозволяє досліджувати процеси, які є функціями часу.

Цільовою функцією вибору раціональних маршрутів для внутрішньоміських вантажних перевезень є підвищення надійності доставки вантажів (точно в строк) і зниження витрат на перевезення. Фактор, який змінюється в процесі прийняття рішень, – завантаженість вулиць міста, яка буде враховуватися параметром, яким обрано опір маршруту  $R_m$ . Математична модель – диференціальне рівняння другого порядку, розв'язок якого дозволить прогнозувати затримки під час руху по маршруту з урахуванням опору маршруту.

Розглянувши в найбільш загальному виді системну модель міських вантажних перевезень, виділимо три вхідні потоки: матерія, енергія, інформація. Під «матерією» будемо розуміти обсяг вантажу, який необхідно перемістити від відправника вантажу до вантажоодержувача. Вантажний (матеріальний) потік, під впливом інформації (логістичний центр) і енергії (транспортне підприємство) перетворюється у транспортну послугу.

При розгляді такої моделі транспортного процесу, центральним питанням повинно бути опис потоку інформації, який є первинним, а вторинним – потоки матеріалів і енергії. Тому, транспортний процес вантажних міських перевезень можна представити у вигляді ланцюга. Перша стадія дій складається з підготовки інформації, де використовуються інтернет-ресурси і програмні модулі динамічного моделювання. Друга стадія – передачі інформації у вигляді раціональних маршрутів у транспортне підприємство, яке здійснює переміщення вантажу в заданий час. Для підвищення надійності доставки вантажів (точно в строк) і зниження витрат транспортного підприємства на доставку використовується математичний апарат кібернетики і системотехніки.

Труднощі вибору раціональних міських маршрутів з урахуванням реальної завантаженості транспортних магістралей міста обумовлені тим, що такі задачі не мають на сьогоднішній день формальних методів розв'язку. Наприклад, класична транспортна задача дозволяє визначити найкоротший маршрут. Однак в умовах міста найкоротший маршрут не завжди є раціональним через нерівномірну завантаженість транспортних магістралей. На найкоротшому маршруті можуть існувати затори, які знизять швидкість руху транспортних засобів та збільшать час доставки і витрати на доставку.

Процес «ручного» вибору маршруту з тих варіантів, що розглядаються та аналізуються у логістичному центрі шляхом перебору і порівняння, враховує кількісну, а не якісну сторону процесу. Тому, для здійснення моделювання, прогнозування і якісного управління вантажними міськими перевезеннями необхідна формалізація задачі у вигляді розробки динамічної математичної моделі.

## **5. Результати досліджень транспортних процесів міських вантажних перевезень**

### **5.1. Параметри транспортного процесу міських вантажних перевезень, які враховують наявність заторів на вулицях міста**

Процедура моделювання транспортних процесів міських вантажних перевезень може бути розбита на наступні етапи.

Перший етап моделювання дозволяє вибрати маршрут з мінімальним опором і визначити час доставки вантажу  $t_d$ , тобто час проходження маршруту, а

також добротність маршруту  $Q_m$ . Фізичний зміст добротності маршруту наведено у роботі [14].

Для визначення технічної швидкості транспортного засобу на маршруті застосуємо розрахункову формулу опору маршруту, яка наведена в роботі [14]:

$$R_m = \frac{v_m^2}{J} = \frac{l_m^2}{t_m \cdot m \cdot \sqrt{IR}}, \frac{\text{км}^2}{\text{т} \times \text{год}}. \quad (1)$$

де  $v_m$  – швидкість руху транспортного засобу на маршруті без врахування заторів, яка визначається за допомогою інтернет-ресурсу Google Maps, км/год;  $J$  – продуктивність логістичної системи в одиницю часу, т/год;  $l_m$  – відстань маршруту, км;  $m$  – маса вантажу, т;  $t_m$  – час знаходження транспортного засобу на маршруті, год. Час проходження обраного маршруту  $t_m$  визначається за допомогою інтернет-ресурсу Google Maps;  $IR$  – інтернет-ресурс, який враховує наявність пробок в онлайн-режимі, безрозмірна величина.

Якщо заторів нема, то маршрут у даному інтернет-ресурсі відображається зеленим кольором та  $IR=1$ . Якщо з'являються затримки в русі, то колір маршруту переходить у жовтий, потім червоний і коричневий. Отже,  $IR=0,9 \dots 0,7$ . При  $IR=0,6$  швидкість руху на маршруті падає до 5 км/год.

Інформативність логістичного центру  $L_{\text{ЛЦ}}$ , який входить у логістичну систему міських вантажних перевезень, характеризує властивість створювати інформаційне поле, яке викликає рух матеріальних потоків. Інформативність можна розрахувати за формулою, що запропоновано у роботі [14]:

$$L_{\text{ЛЦ}} = R_m \cdot t_m = \frac{l_m^2}{m \cdot \sqrt{IR}}, \frac{\text{км}^2}{\text{т}}. \quad (2)$$

Тоді технічна швидкість руху транспортного засобу на маршруті з урахуванням заторів визначається за формулою:

$$v_{\text{тех}} = v_m - v_{ab}, \quad (3)$$

де  $v_{ab}$  – величина зниження швидкості за рахунок заторів, яка визначається за формулою:

$$v_{ab} = \sqrt{v_m^2 - J \cdot R_m}, \text{ км/год}. \quad (4)$$

Використовуючи розрахункове значення технічної швидкості транспортного засобу  $v_{\text{тех}}$  на маршруті, можна визначити час доставки вантажу  $t_d$  від відправника вантажу до вантажоотримувача з урахуванням заторів в онлайн-режимі:

$$t_d = \frac{l_m}{v_{\text{тех}}}, \text{ год.} \quad (5)$$

Отримане значення часу доставки вантажу  $t_d$  дозволяє визначити добротність маршруту за формулою, яка наведена в роботі [14]:

$$Q_m = \frac{L_{\text{ЛЦ}} \cdot m \cdot \sqrt{IR}}{l_m^2 \cdot t_d}, \frac{1}{\text{год.}} \quad (6)$$

Це дозволяє із трьох представлених маршрутів, за допомогою інтернет-ресурсу [videoprobki.ua](http://videoprobki.ua), вибрати оптимальне по величині значення  $Q_m \rightarrow \max$ . Наприклад, маршрут з мінімальним значенням  $l_m$  не завжди буде оптимальним через наявність заторів на маршруті (малого значення  $IR$ ) або малого значення інформативності логістичного центру  $L_{\text{ЛЦ}}$ .

Величина добротності маршруту  $Q_m$ , яка розраховується за формулою (6) може виступати критерієм вибору оптимального маршруту вантажних перевезень у міській мережі, так як враховує матеріальний, інформаційний та енергетичний потоки. Маршрут обирається на основі інформації інтернет-ресурсів [Google Maps](http://Google Maps) та [videoprobki.ua](http://videoprobki.ua). Критерій враховує можливості логістичного центру (його інформативність), масу перевезеного вантажу, завантаженість маршруту, відстань перевезення та реальний час, який необхідний для доставки вантажу.

Особливістю запропонованого критерію  $Q_m$ , у порівнянні з відомими є те, що він визначається в онлайн-режимі. Отже, критерій  $Q_m$ , враховує динаміку зміни завантаженості маршрутів протягом робочого дня або під часу доставки вантажу. Для цього в схему інформаційної моделі необхідно додати зворотний інформаційний зв'язок транспортного засобу з логістичним центром.

Другий етап моделювання враховує інерційність системи в прийнятті рішень і процесі руху по маршруту, що дозволяє визначити час затримок в логістичній системі (ЛС).

Сума часу доставки і часу затримок визначає сумарний час виконання замовлення на транспортну послугу:

$$t_{\Sigma} = t_d + t_3, \text{ год.} \quad (7)$$

де  $t_{\Sigma}$  – час виконання замовлення, година;  $t_3$  – час затримок у ЛС, година.

Автором роботи [16] отримано диференційне рівняння другого порядку, яке дозволяє представити перехідний процес в логістичній системі міських вантажних перевезень з моменту отримання заявки на транспортне обслуговування до моменту доставки вантажу замовнику. Представимо вираз рівняння без процедури його отримання:

$$T_{\text{ЛС}} \frac{d^2 m}{dt^2} + 2d_{\text{ЛС}} Q_M T_{\text{ЛС}} \frac{dm}{dt} + \frac{m}{K_{\text{ЛЦ}} K_{\text{ТП}}} + m \cdot K_{\text{ЛС}} = J. \quad (8)$$

Постійна часу логістичної системи  $T_{\text{ЛС}}$ , яка характеризує інерційність системи, визначається за виразом:

$$T_{\text{ЛС}} = \sqrt{\frac{T_{\text{ЛЦ}} \cdot T_{\text{ТП}}}{K_{\text{ЛЦ}} \cdot K_{\text{ТП}}}}, \text{ год.} \quad (9)$$

де  $T_{\text{ЛЦ}}$  – постійна часу логістичного центру (ЛЦ), яка враховує інерційність (затримки) в обробці заявок, год;  $T_{\text{ТП}}$  – постійна часу транспортного підприємства (ТП), яка враховує інерційність (затримки) у прийнятті заявок для транспортного обслуговування, год;  $K_{\text{ЛЦ}}$  – коефіцієнт чутливості логістичного центру до надходження заявок;  $K_{\text{ТП}}$  – коефіцієнт чутливості транспортного підприємства до надходження заявок на транспортне обслуговування з логістичного центру.

Для коефіцієнта  $d_{\text{ЛС}}$ :

$$d_{\text{ЛС}} = \frac{(T_{\text{ЛЦ}} + T_{\text{ТП}})}{2T_{\text{ЛС}} \cdot K_{\text{ЛЦ}} \cdot K_{\text{ТП}}}. \quad (10)$$

Отриманий коефіцієнт  $d_{\text{ЛС}}$  характеризує відсутність або наявність коливального процесу в ЛС. Відповідно до прийнятих методів теорії ідентифікації динамічних об'єктів, при  $d_{\text{ЛС}} < 1$  колювання в системі присутні, при  $d_{\text{ЛС}} > 1$  – відсутні.

Права частина рівняння (8), це вхідний сигнал у ЛС – продуктивність логістичної системи, т/год. Ліва частина рівняння – це реакція ЛС на вхідний сигнал  $J$ . Збільшення постійних часу  $T_{\text{ЛЦ}}$  і  $T_{\text{ТП}}$  роблять процес менш чутливим (менш сприйнятливим) до вхідного впливу  $J$ . Процес обробки заявок і доставка вантажу збільшується в часі.

Коефіцієнти підсилення  $K_{\text{ЛЦ}}$  й  $K_{\text{ТП}}$  характеризують чутливість ЛЦ і ТП до надходження заявок.

Розв'язком для наведеного вище диференціального рівняння (8) є вираз:

$$m(t) = m \left[ 1 - \exp\left(-\frac{d_{\text{ЛС}} Q_M}{T_{\text{ЛС}}} \cdot t\right) \cdot \cos ft + A \sin ft \right], \quad (11)$$

де  $m(t)$  – функція доставки заданої маси вантажу в часі;  $t$  – поточний час, год;  $f$  – частота колювань, визначається за виразом:

$$f = \frac{1}{T_{\text{ЛС}}}, \frac{1}{\text{год}}. \quad (12)$$



$A$  – амплітуда коливань, визначається за виразом:

$$A = \frac{1}{d_{\text{ЛС}}}. \quad (13)$$

Велике значення постійної часу  $T_{\text{ЛС}}$  говорить про те, що логістичний центр і транспортне підприємство мають велику інерційність у прийнятті заявок у роботу і, як наслідок, будуть мати великий час затримок.

## 5. 2. Результати математичного моделювання надійності транспортно-го обслуговування міських вантажних перевезень

Результати динамічного моделювання процесу доставки вантажів по міських маршрутах, формула (11), при зміні маси вантажу  $m=5\div 15$  тонн і наявності заторів на маршруті  $IR=1,0\div 0,7$ , представлено на рис. 1, 2.

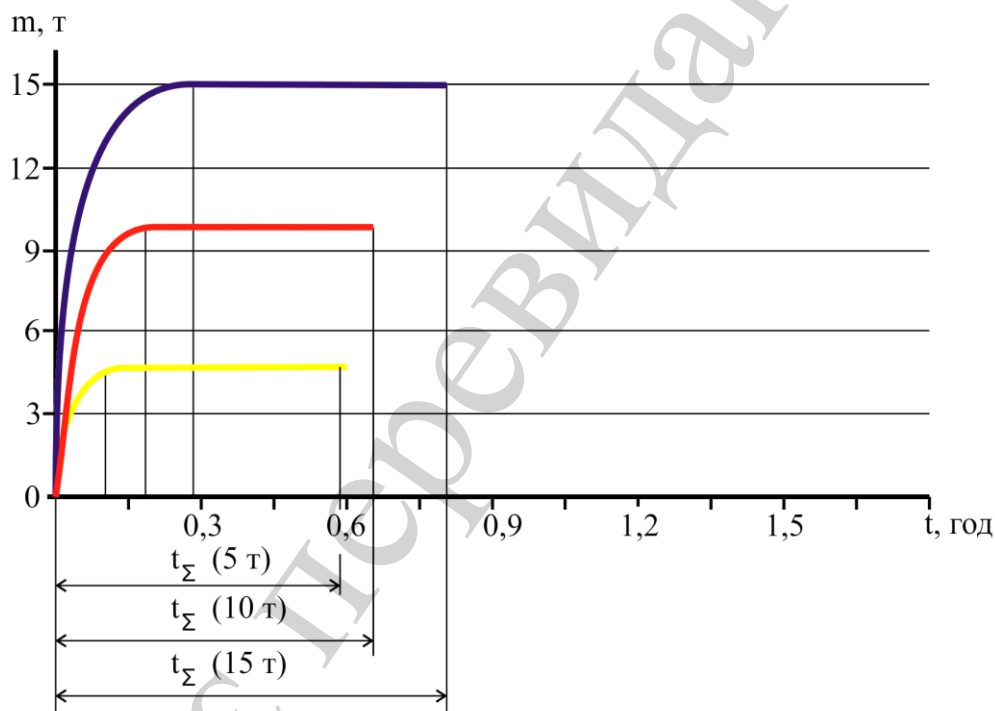


Рис. 1. Перехідний процес часу доставки вантажу  $t_{\Sigma}$  логістичної системи при різній масі вантажу  $m$  при  $IR=1,0$

Із аналізу представлених результатів можна зробити висновок, що маса вантажу є значимим параметром і збільшує час затримок у ЛС в 3,11–3,23 рази. При зміні заторів на маршруті,  $IR$  зменшується від 1,0 до 0,7, отже, час затримок збільшується в 2,42 рази.

Такий результат впливає на сумарний час транспортного обслуговування, формула (7), який збільшується в 1,32–1,42 рази.

Представлені вище результати моделювання дозволяють стверджувати, що динамічна модель дозволяє визначити сумарний час транспортного обслугову-

вання з урахуванням різних факторів. Модель працює в онлайн-режимі і взаємодіє з ресурсами Google Maps і videoprobkі.ua. У цьому і полягає відмінність розробленої моделі від раніш відомих.

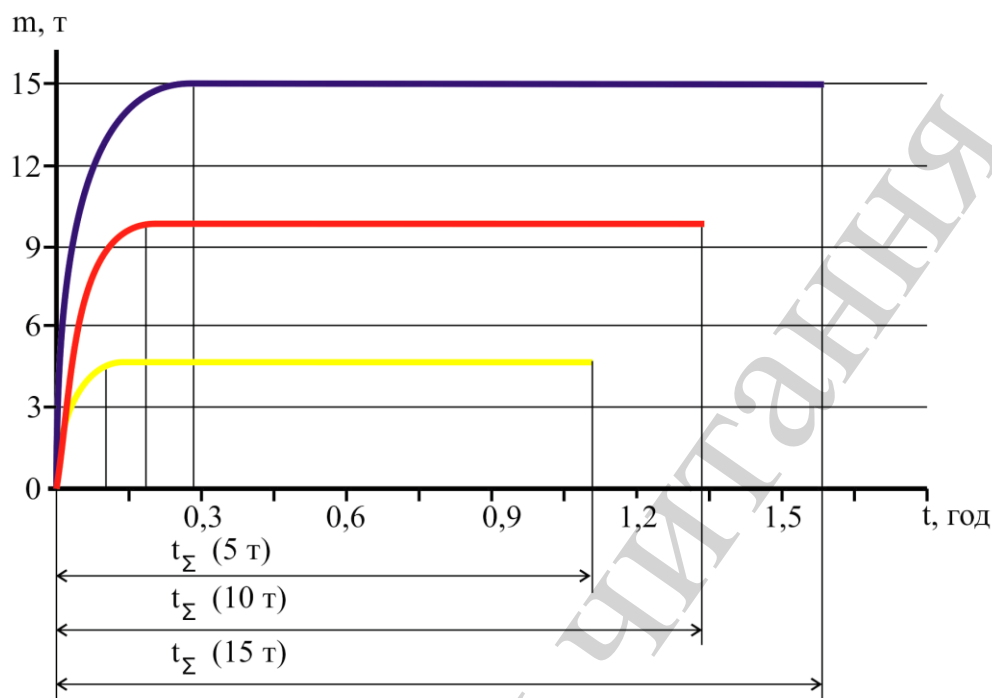


Рис. 2. Перехідний процес часу доставки вантажу  $t_{\Sigma}$  логістичної системи при різній масі вантажу  $m$  при  $IR=0,7$

Величину сумарного часу транспортного обслуговування  $t_{\Sigma}$  дає спільне використання розроблених моделей. Перша дозволяє визначити час знаходження транспортного засобу на маршруті з урахуванням добротності маршруту  $t_d$ . Друга дозволяє визначити затримки в прийнятті рішень на обслуговування.

### 5. 3. Обґрунтування критерію надійності транспортного обслуговування міських вантажних перевезень

Отримані вище величини  $t_d$ ,  $t_3$ ,  $t_{\Sigma}$  дозволяють визначити надійність логістичної системи міських вантажних перевезень. Згідно з роботами [15] можна стверджувати, що надійність ЛС вантажних перевезень оцінюється як відношення наступних показників процесу. В чисельнику – математичного очікування часу, витраченого на транспортне обслуговування. В знаменнику – математичного очікування сумарного часу, витраченого на транспортне обслуговування й часу на затримки, які виникали під час обслуговування.

У відповідності із сформульованим визначенням, запишемо вираз для оцінки надійності ЛС при виконанні одиничної заявки  $i$ , яку було виконано в ЛС:

$$K_{H,i} = \frac{t_{д,i}}{t_{д,i} + t_{з,i}} = \frac{t_{д,i}}{t_{\Sigma,i}}. \quad (14)$$

Для  $n$  заявок, які було виконано в ЛС впродовж робочого дня, коефіцієнт  $K_H$  визначається за виразом:

$$K_H = \frac{\sum_{i=1}^n t_{д,i}}{\sum_{i=1}^n t_{д,i} + \sum_{i=1}^n t_{з,i}}, \quad (15)$$

де  $n$  – число заявок на транспортне обслуговування.

Виходячи з виразу (15), коефіцієнт надійності менше одиниці і набуває значення рівне одиниці тільки тоді, коли сумарні затримки дорівнюють нулю. При наявності навіть незначних затримок –  $K_H$  менше одиниці.

Отриманий безрозмірний параметр  $K_H$ , який має фізичний зміст частки виконання заявки точно в строк, може бути критерієм, який оцінює надійність функціонування логістичної системи.

Максимального значення одиниці  $K_H$  може набувати при відсутності затримок, тобто  $t_з=0$ . При існуванні затримок у ЛС,  $t_з>0$ ,  $K_H$  буде мати значення менше одиниці. Чим вище значення  $K_H$ , тим з більшою надійністю буде виконуватися транспортний процес.

Залежності зміни коефіцієнта надійності міських вантажних перевезень при зміні маси перевезеного вантажу і наявності заторів на маршруті представлено на рис. 3.

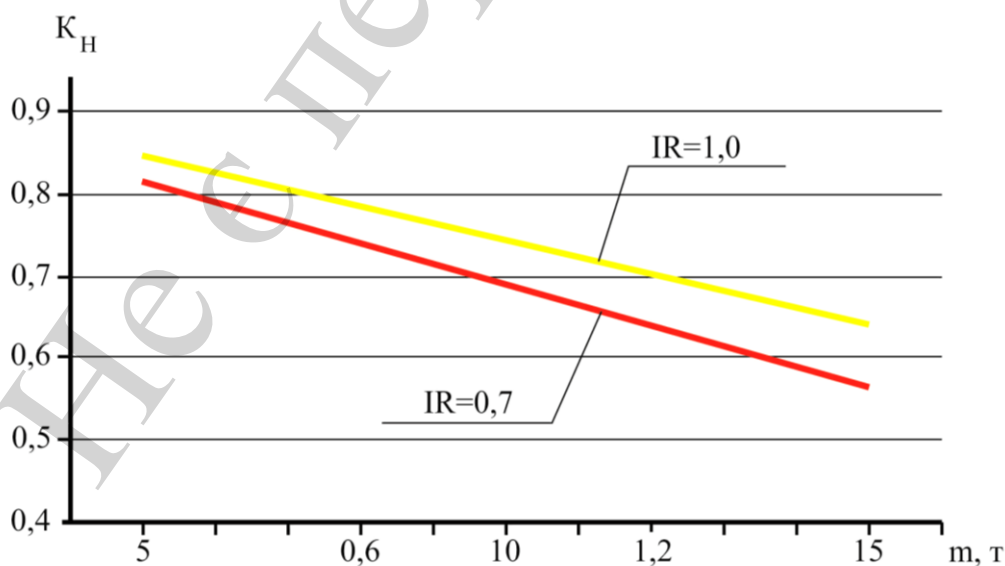


Рис. 3. Залежності зміни величини коефіцієнта надійності  $K_H$  логістичної системи при різній масі перевезеного вантажу  $m$  і наявності заторів на маршруті  $IR$

Із аналізу залежностей, представлених на рис. 3, витікає, що збільшення маси вантажу знижує значення коефіцієнта надійності зі значення 0,84 до 0,64 при цьому, наявність заторів на маршруті,  $IR=0,7$ , додатково знижує значення  $K_H$  до величини 0,57.

Представлені результати моделювання підтверджують вище зроблений висновок, що коефіцієнт надійності  $K_H$  може виступати безрозмірним критерієм, який прогнозує надійність виконання транспортного обслуговування.

## **6. Обговорення результатів дослідження транспортних процесів міських вантажних перевезень**

Обґрунтовано параметри транспортного процесу: опір руху та добротність маршруту. Їх чисельні значення дозволяють обрати раціональний маршрут, що є практичною значимістю даної роботи. Добротність маршруту враховує можливість логістичного центру (його інформативність), масу перевезеного вантажу, завантаженість маршруту (затори), відстань перевезення та реальний час доставки вантажу. У цьому полягає відмінність запропонованого параметру від раніше відомих. Його особливою рисою є те, що він визначається в онлайн-режимі та враховує динаміку завантаженості маршрутів впродовж робочої зміни. Це дозволяє отримувати чисельні оцінки та порівнювати їх значення.

Було визначено параметри транспортного процесу у вигляді залежностей затримок часу від маси перевезеного вантажу, дальності маршруту та наявності заторів на вулицях міста. Науковим результатом дослідження стали залежності, які дозволяють розрахувати час затримок при виконанні транспортного обслуговування. Їх відмінністю від відомих моделей є те, що вони враховують динаміку транспортного процесу і взаємодіють з інтернет-ресурсами завдяки GPS технологіям. Встановлено, що маса вантажу є більш вагомим параметром і збільшує час затримок у ЛС в 3,11–3,23 рази.

Запропоновано критерій оцінки надійності логістичної системи міських вантажних перевезень – коефіцієнт надійності. Він забезпечується наявністю блока математичного моделювання часу затримок і враховує ряд критеріїв. Серед них: час проходження маршруту транспортним засобом, час затримок у прийнятті заявок на обслуговування в логістичному центрі, час затримок на транспортному підприємстві. Аналіз результатів моделювання дозволяє стверджувати, що при відсутності затримок у логістичних ланцюгах, коефіцієнт надійності дорівнює одиниці, при наявності затримки – коефіцієнт надійності менше одиниці. Визначено фізичний зміст критерію надійності – це частка невиконання заявок на транспортне обслуговування точно в строк.

Недоліками запропонованого методу оцінки надійності логістичних систем транспортного обслуговування є механізм визначення затримок у всіх складових системи, що може бути предметом подальших досліджень. Обмеженням розробленого критерію оцінки надійності є його застосування тільки для міських вантажних перевезень.

## 7. Висновки

1. В результаті проведених досліджень розроблено математичну модель оцінки надійності вантажних міських перевезень з урахуванням завантаженості вулиць. Модель функціонує в онлайн-режимі та дозволяє визначати параметри транспортного процесу (опір та добротність маршруту) міських вантажних перевезень. В ній враховується наявність заторів на вулицях міста, що відрізняє дану модель від раніше запропонованих. Таким чином, отримано можливість розрахувати критерій надійності для різних маршрутів та обирати маршрут з його максимальним значенням.

2. Розроблено динамічну модель затримок у прийнятті рішень у логістичних ланцюгах міських вантажних перевезень. За вхідними даними (маса вантажу, дальність маршруту, наявність заторів на маршруті) модель дозволяє розрахувати час обробки заявок на транспортне обслуговування і час на його виконання. Дані про наявність заторів на маршрутах визначаються за допомогою інтернет-ресурсів (GPS технології). Показано, що сумарний час доставки вантажу складається із часу знаходження транспортного засобу на маршруті, з урахуванням опору маршруту і часу затримок у всіх логістичних ланцюгах системи.

3. Запропоновано критерій оцінки надійності транспортного обслуговування вантажних перевезень в межах міста. Показано, що критерій надійності змінюється зі значення 0,84 до 0,64 при цьому, наявність заторів на маршруті,  $IR=0,7$ , додатково знижує значення  $K_H$  до величини 0,57. Зроблено висновок, що коефіцієнт надійності  $K_H$  може виступати безрозмірним критерієм, який прогнозує надійність виконання транспортного обслуговування, що складає практичну значимість даної роботи.

## Література

1. Shramenko, N. Y. (2017). The methodological aspect of the study feasibility of intermodal technology of cargo delivery in international traffic. Scientific Bulletin of National Mining University, 4 (160), 145–150.
2. Shramenko, N. Y. (2018). Mathematical model of the logistics chain for the delivery of bulk cargo by rail transport. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 5, 136–141. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-5/15>
3. Shramenko, N. Y. (2015). Effect of process-dependent parameters of the handling-and-storage facility operation on the cargo handling cost. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (3 (77)), 43–47. 2015. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51396>
4. Zhang, R. M., Huang, L. (2017). Application of the freight rate on freight flow forecast. Advances in Transportation Studies, 3, 61–68.
5. Yuan, Y., Zhao, Q. Y., Wan, X. Y. (2018). Evaluating transportation information service products through artificial neural networks. Advances in Transportation Studies, 3, 59–68.
6. Sun, S., Liu, C. (2016). Application of improved storage technology in Intelligent Transportation System. Advances in Transportation Studies, 3, 51–60.

7. Wang, Z., Goodchild, A., McCormack, E. (2016). Freeway truck travel time prediction for freight planning using truck probe GPS data. *European journal of transport and infrastructure research*, 16 (1), 76–94.
8. Combes, F., Tavasszy, L. A. (2016). Inventory theory, mode choice and network structure in freight transport. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 16 (1), 38–52.
9. Meyer, A., Sejdovic, S., Glock, K., Bender, M., Kleiner, N., Riemer, D. (2017). A disruption management system for automotive inbound networks: concepts and challenges. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 7 (1), 25–56. doi: <https://doi.org/10.1007/s13676-017-0108-5>
10. Gao, J., Sun, J., Shi, Q. Z., Liu, F. S. (2015). A comparative reliability evaluation method for transportation network planning and design. *Advances in Transportation Studies*, 3, 55–64.
11. Mishra, S., Tang, L., Ghader, S., Mahapatra, S., Zhang, L. (2018). Estimation and valuation of travel time reliability for transportation planning applications. *Case Studies on Transport Policy*, 6 (1), 51–62. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2017.11.005>
12. Данчук, В. Д., Кривенко, В. І., Олійник, Р. В., Тарабан, С. М. (2010). Електротехнічна модель дослідження транспортних потоків. *Вісник Національного транспортного університету*, 21 (2), 28–32.
13. Данчук, В. Д., Кривенко, В. І., Олійник, Р. В., Тарабан, С. М. (2015). Електричне моделювання міських автотransпортних потоків. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*, 46, 109–114.
14. Кутья, О. В. (2019). Разработка математической модели городских грузовых перевозок. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*, 15, 203–212.
15. Vojtov, V., Berezchnaja, N., Kravcov, A., Volkova, T. (2018). Evaluation of the Reliability of Transport Service of Logistics Chains. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.3), 270–274. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19802>
16. Кутья, О. В. (2019). Розробка динамічної моделі затримок прийняття рішень у логістичних ланцюгах міських вантажних перевезень. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*, 16, 37–47.