

ОПТИМІЗАЦІЯ МІЖНАРОДНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ З ВРАХУВАННЯМ ФУНКЦІЇ ДЕФІЦИТУ

В. Вовк, З. Артими-Дрогомирецька, С. Каліщук, Р. Цікалова

Львівський національний університет імені Івана Франка
79008 м. Львів, проспект Свободи, 18

e-mail: volodymyr-bohdan.vovk@lnu.edu.ua, zoriana.artym-drohomyretska@lnu.edu.ua,
sofiia_kalishchuk@ukr.net, ts.renata98@gmail.com

У статті здійснено оптимізацію транспортних потоків, оскільки в останні роки громадський транспорт став привабливішим, як альтернатива приватному транспорту, через збільшення перевантаженості у великих міських районах та підвищення цін на паливо.

Питання управління транспортними потоками є надзвичайно важливим для українських транспортних підприємств. Це пов'язано зі скороченням міжнародних пасажирських перевезень, які є систематичними і вимагають повноцінного аналізу, використовуючи наукові методи та включаючи процес моделювання.

Модель в цьому дослідженні побудована з врахуванням функції дефіциту та витрат, з якими стикається фірма з міжнародних пасажирських перевезень "East West Eurolines". Цільова функція моделі враховує експлуатаційні витрати, що супроводжують поїздки, та репутаційні втрати, які були враховані у функції дефіциту. Підхід врахування існуючого дефіциту транспортних засобів використовується для здійснення змін у графіках подорожей, зупинках, які здійснюють водії під час виконання рейсу, та мінімізації розміру транспортного парку.

Для практичної реалізації результатів дослідження ця методологія застосована до компанії міжнародних пасажирських перевезень. Було знайдено оптимальне поєднання всіх доступних ресурсів, необхідних для поїздки, з мінімізацією всіх можливих витрат. Результати показують, що загальний обсяг експлуатаційних витрат може бути зменшений на 25% за рахунок змін фактичних графіків.

Ключові слова: транспортний потік, функція дефіциту, транспортна мережа, репутаційні втрати, експлуатаційні витрати, час очікування, плоский пік.

Постановка проблеми

Оскільки перевантаженість транспортних потоків у великих міських районах продовжує набувати широких масштабів, а ціни на паливо зростають, в останні роки більшої привабливості набуває використання громадського транспорту як альтернатива приватному.

Питання оптимізації транспортних потоків є надзвичайно актуальним для транспортної галузі України явищем, яке набуває системного характеру і потребує проведення аналізу, використовуючи наукові методи, зокрема, методи моделювання процесів.

Моделювання транспортних потоків є ефективним засобом вдосконалення та оптимізації транспортних систем та підвищення якості транспортного обслуговування. З теоретичного та практичного погляду ідея моделювання транспортних потоків пасажирів і вантажів настільки актуальна, що цьому питанню присвячена величезна кількість публікацій у світовій та вітчизняній літературі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

При визначенні маршруту наслідки перевантажень через переповнення транспортних засобів не враховуються. Тому велика кількість завдань, які необхідно розв'язати, стали основою досліджень в сфері пасажирських перевезень різними видами транспорту, екології, що передбачає зменшення негативного впливу автомобілів на навколишнє середовище через пошук альтернативних видів палива та у сфері планування транспортної мережі.

Зокрема, у своїх дослідженнях економісти Валері Гіхайр Цзін-Као Хао виділили глобальні стратегічні та тактичні кроки планування потоку: проектування та планування мережі [11].

У 2006 році викладачка кіотського університету Фанг Чжао у своїй статті намагалась окреслити основні параметри, які впливають на попит на окремі види транспорту [15].

У своїх публікаціях за 2008 рік інженери А. Агані та М. Баніхашеми працювали над створенням універсального шаблону напрямку для будь-якої кількості розгалужень маршрутів по місту [12].

Викладач пекинського університету Ю. Т. Чжу досліджував особливості проектування систем та графіків залізничного транспорту [16].

М.А. Шаталов, С.Ю. Мичка здійснили спробу оптимізації вантажних потоків рівень підприємств агропромислового комплексу в цілому, застосовуючи моделювання в ланцюгах постачань, а також підвищення ефективності їх управління, що дозволило покращити якість наданих послуг [5].

Американські вчені доктор П. Чакроборті та Т. Двіведі запропонували оптимальне планування та проектування в транспорті на основі використання генетичного алгоритму для вирішення складних задач оптимізації [7].

Також велика частка досліджень в сфері транспортування стосується гуманітарної галузі. Вважається, що в гуманітарній логістиці традиційні заходи мінімізації витрат не є центральними, і передбачається, що інші заходи щодо ефективності, такі як час реагування, справедливість розподілу або надійність та безпека маршрутів експлуатації, стають більш актуальними. У роботі Р. Гісена, Х. Мартінеса та А. Мавтона запропоновано декілька критеріїв проблеми розподілу гуманітарної допомоги та розроблена багатокритеріальна модель оптимізації, що стосується всіх цих аспектів. Ця модель є основою системи підтримки прийняття рішень, яка розробляється для надання допомоги організаціям, відповідальним за розподіл гуманітарної допомоги [10].

Багато ідей щодо оптимізації транспортного потоку застосовуються в гуманітарній сфері для покращення ефективності логістики стихійних лих. Так, економіст Джин-Као розглядає транспортні потоки через складність управління ланцюгами постачань у гуманітарних умовах. В дослідженнях визначає потенціал перехресного навчання як гуманітарного, так і приватного секторів в операціях з надання надзви-

чайних ситуацій, а також можливості залучення через корпоративну соціальну відповідальність. Він також окреслює стратегії кращої підготовленості та необхідність того, щоб ланцюги постачань були гнучкими, пристосованими та узгодженими. В цьому полягає основна компетенція багатьох гуманітарних організацій, які беруть участь у ліквідації наслідків стихійних лих, та сфера, яку приватний сектор міг би використати для покращення своїх конкурентних переваг [11].

Великий обсяг досліджень у сфері перевезень свідчить про важливість цієї галузі. Автомобільний транспорт – одна з пріоритетних галузей економіки і розвивається як невід’ємна частина єдиної транспортної системи. Технічну базу сучасної автомобільної системи складають: рухомий склад, дороги та автотранспортні підприємства. Перевезення вантажів пов’язано з необхідністю використання навантажувально-розвантажувальних робіт, що є невід’ємною і найбільш трудомісткою частиною транспортного процесу. Перевезення пасажирів, в першу чергу стосуються попиту на перевезення, якості обслуговування та організації руху транспорту. Теорія транспортних процесів розглядає характерні їм закономірності та методи оптимізації. На базі цієї теорії відбувається організація перевезень та управління ними. Теорія транспортних процесів – це прикладна наукова дисципліна, в якій застосовуються теорія систем та дослідження операцій, математичне програмування, математична статистика, теорія масового обслуговування, управління транспортними потоками. Тому першочерговим завданням досліджень на даному етапі є пошук методу поєднання всіх чинників, які впливають на інтенсивність пасажиропотоку в одну модель, та здійснення оптимізації основних процесів, які виникають у діяльності фірми-перевізника.

Виклад основного матеріалу дослідження

Завданням даного дослідження виступає мінімізація розміру парку і скорочення часу очікування пасажирів у діяльності транспортної компанії з пасажирських перевезень. Підхід до оптимізації полягає у використанні функції дефіциту, яка застосовується для реалізації зміни графіків відправлення (SDT) і зупинок (DH), щоб мінімізувати розмір парку. Введена функція оптимізації, розроблена Фулкерсоном Д. (1962) [15] і Седером А. (2016) [8], мінімізує як експлуатаційні витрати транспортного засобу, так і вартість очікування пасажира і має вигляд $DF=F(k, t, S)$, де k – кількість пасажирів, t – фактичний час відправлення/прибуття транспортного засобу, S – графік подорожей транспортних засобів. Процес оптимізації досліджуємо на прикладі транспортної компанії з міжнародних пасажирських перевезень “East West Eurolines”.

Планування мережевої взаємодії між регіональними автобусами можна розділити на два типи: міжстанційне планування і внутрішньо станційне планування [4]. Щоб оптимізувати перехресне планування, деякі напрямки руху можуть бути включені в розклад на основі функції дефіциту, і може бути сформульований більш науковий алгоритм планування. Здійснюється включення в розклад додаткового пасажирського автобуса, який здійснює рейс між двома найпопулярнішими станціями. Його впровадження може ефективно поліпшити використання діючих транспортних засобів. Коригуються відправлення з часом простою і “порожньою” відстанню перевезення, який дорівнює нулю. Однак надійність транспортного засобу може бути знижена. Тому, для того, щоб забезпечити плавний перехід між діючими транспортними засобами, шлях і час повинні бути повністю враховані перед визначенням розкладу руху автобусів.

Позначимо набір необхідних поїздок які здійснює фірма-перевізник через I . Подорожі здійснюються між набором станцій (a, b, c, d) . Кожна поїздка обслуговується одним транспортним засобом. Кожна поїздка може бути представлена у вигляді чотирьох елементів, які визначають станцію відправлення, час відправлення, станцію прибуття та час прибуття. На основі цих даних формується матриця поїздок. Множина R позначає номер маршруту; $p \in P$ – індекс пасажира, який очікує на транспортний засіб; $m \in M$ – індекс транспортного засобу; булева змінна $x_m^r = 1$, якщо транспортний засіб m відправляється в рейс r , $x_m^r = 0$ в протилежному випадку; U – максимально допустимий час очікування пасажира на транспортний засіб; a_p^k – вага очікування пасажиром p на автобус на станції k ; $d(k, t)$ – величина дефіциту на станції k в час t ; $D(k)$ – максимальна величина дефіциту на транспортний засіб на станції k ; w_r – вартість очікування пасажиром на транспортний засіб на рейсі r ; d_p^k – кількість пасажирів що очікують на транспорт на станції k ; C_m – експлуатаційні витрати на транспортний засіб в розрахунку на один кілометр.

$$\min Z = \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} \frac{w_r d_p^k}{60} c_m a_p^k$$

$$\begin{cases} \sum_{r \in R} x_m^r = 1, m = 1, M \\ \sum_{m \in M} x_m^r = 1, r = 1, M \\ d(k, t) \leq D(k), t \in [T_1, T_2] \\ \sum_{k \in K} D(k) \leq N \\ \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} a_p^k = 1 \end{cases} \quad (1)$$

Коли поїздка дозволена, мінімальний розмір парку визначається максимальною кількістю працюючих транспортних засобів:

$$G = \max_{t \in [T_1, T_2]} g(t) \leq \sum_{k \in K} \max_{t \in [T_1, T_2]} d(k, t) = \min N \quad (2)$$

де, $d(k, t)$ – кількість транспортних засобів в яких потребують пасажири на станції k в час $t \in [T_1, T_2]$, $g(t)$ – загальна кількість транспортних засобів, якими володіє фірма-перевізник. Техніка мережевого потоку використовується для оцінки мінімального розміру парку для даного графіка S . i -ий рядок відповідає прибуттю автобуса i , а j -й стовпець – відправленню автобуса j . Пов'язані i -рядок і j -стовпець складають матрицю з'єднань відключення. Якщо з'єднання i і j можливо, то (i, j) є допустимим з'єднанням; в іншому випадку (i, j) не допускається.

Змінна θ_{ij} відображає взаємозв'язок (i, j) , і розв'язується економіко-математична модель:

$$\begin{cases} \max Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \theta_{ij} \\ \sum_{j \in I} \theta_{ij} \leq 1, \forall i \in I \\ \sum_{i \in J} \theta_{ij} \leq 1, \forall j \in J \\ \theta_{ij} = 1, \forall i, j \\ \theta_{ij} = 0, \forall i, j \\ \theta_{ij}(1 - \theta_{ij}) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

де $\theta_{ij} = 1$ показує, що поїздки i і j пов'язані. Завдання полягає в тому, щоб максимізувати кількість з'єднань. Перше обмеження гарантує, що кожна поїздка може бути пов'язана не більше ніж з однією наступною поїздкою. Аналогічно, друге обмеження в системі 3 представляє попереднє з'єднання для кожної поїздки не більше одного разу. Ця проблема може розглядатися як окремий випадок у завданні про максимальні витрати. Алгоритм максимального потоку у завданні планування транспортних маршрутів, розроблений Д. Фулкерсоном (1962) [15] і А. Седером (2016) [8], називається алгоритмом збільшення шляху.

Алгоритм збільшення шляху поїздки транспортного засобу:

Крок 1. Застосовуємо техніку мережевого потоку для отримання початкового кількості транспортних засобів, необхідних для даного розкладу S .

Крок 2. Використовуємо метод функції дефіциту з графічними функціями, щоб зобразити кількість транспортних засобів, необхідних на кожній станції. Розраховуємо DF для кожного $d(k, t)$ і визначаємо суму $D(S)$.

Крок 3. Використовуємо процедуру SDT , щоб змінити час зсуву маршруту.

Крок 4. Додаємо поїздки DH , щоб зменшити час простою транспортних засобів і далі зменшити розмір автопарку.

Крок 5. Порівнюємо експлуатаційні витрати і вартість очікування пасажира.

Задача оптимізації транспортного потоку реалізована на основі даних звітності продажу квитків транспортної компанії з міжнародних перевезень за 2018 – 2019 роки. Для побудови обмежень моделі використані дані про доступні ресурси компанії. Цільова функція в моделі 1 враховує експлуатаційні витрати, які супроводжують рейс, та репутаційні втрати, які будуть враховані у функції дефіциту.

В таблиці 1 зібрані графіки S між 12:00 та 17:00 між найближчими чотирма станціями (a, b, c, d) . Графіки поїздок за цими маршрутами подані в таблиці 1. Потреби пасажирів на всіх станціях подані в таблиці 2, а середній час у дорозі подано в таблиці 3.

Передбачається, що пасажирів сядуть на першу пересадочну поїздку. І частки очікування a_p^k на чотирьох станціях є рівними. А саме $a_p^a = 0,25$, $a_p^b = 0,25$, $a_p^c = 0,25$, $a_p^d = 0,25$. Відповідно до бази скарг, сформованої на основі відгуків

пасажирів, визначаємо, що середня вартість очікування кожного пасажирів C_n становить 500 грн/год. Експлуатаційні витрати кожного транспортного засобу C_m складають 5 грн/км. Згідно з даними середня швидкість автобусів складає 22 км/год., а середня вартість експлуатації автобусів становить 170 грн/год.

Таблиця 1

Графіки поїздок за маршрутами (a – c)

№ Маршруту	Маршрут	Час відправлення	Час прибуття
1	a-b	12:00:00	16:25
2	a-b	12:45:00	17:10
3	a-b	13:00:00	17:25
4	a-b	13:30:00	17:55
5	a-b	14:00:00	18:25
6	a-b	14:45:00	19:10
7	a-b	15:20:00	19:45
8	a-b	16:00:00	20:25
9	a-b	17:00:00	21:25
10	a-b	19:30:00	23:55
11	b-a	12:00:00	16:25
12	b-a	14:00:00	18:25
13	b-a	14:30:00	18:55
14	b-a	18:00:00	22:25
15	b-a	20:00:00	0:25
16	b-a	21:00:00	1:25
17	b-a	22:00:00	2:25
18	c-b	6:00:00	12:00
19	c-b	12:00:00	18:00
20	c-b	19:30:00	1:30

Джерело: сформовано авторами на основі даних про діяльність транспортної компанії з пасажирських перевезень "East West Eurolines"

Таблиця 2

Кількість пасажирів, які потребують транспортний засіб (осіб)

Час	Станція			
	a	b	c	d
12:00-17:00	294	153	297	72
17:00-21:00	293	115	238	46
Всього	587	268	535	118

Таблиця 3

Час перебування автобуса в рейсі

Маршрут	a-b	b-c	c-d
Година	2:45:00	3:13:00	4:30:00

На підставі даних в таблиці 2 технологія DF може використовуватися для отримання інформації про необхідний розмір парку для кожного диспетчерського пункту, який містить кожна станція. Як показано на ступінчастій діаграмі на рис. 1-4,

початкові значення кількості транспортних засобів на чотирьох станціях a , b , c і d , відповідно, $d(a,t) = 5$, $d(b,t) = 3$, $d(c,t) = 6$, $d(d,t) = 2$. Тоді мінімальна кількість транспортних засобів, необхідна для завершення всіх поїздок, дорівнює сумі всіх максимальних зворотних різниць, тобто

$$\min N = \sum_{k \in K} \max d(k,t) = 16. \quad (4)$$

Оскільки час очікування пасажирів на автобус є дуже важливим для оцінки якості обслуговування, у цьому дослідженні робиться спроба зберегти його протягом 20 хвилин. Поїздки DH включені, щоб зменшити розмір автобусного парку. Як показано на рис. 1-4, введення відключень DH знижує пік на ступінчастій лінійній діаграмі.

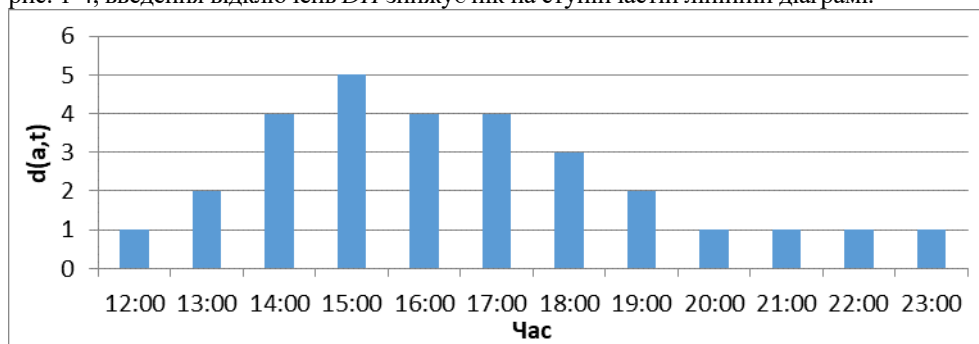


Рис. 1. Функція дефіциту для станції a

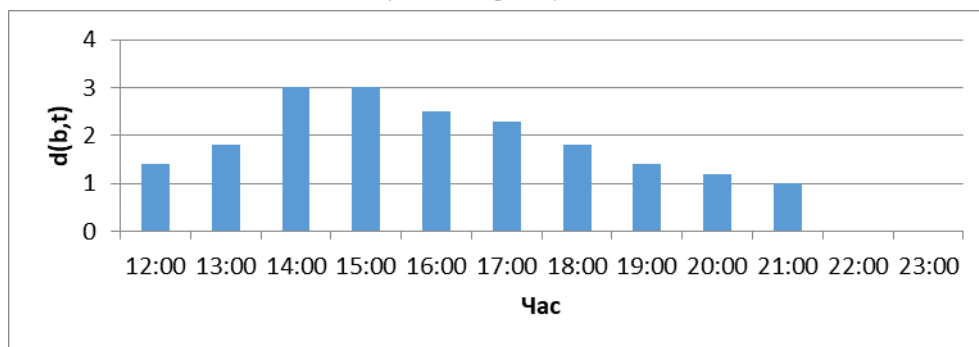


Рис. 2. Функція дефіциту для станції b

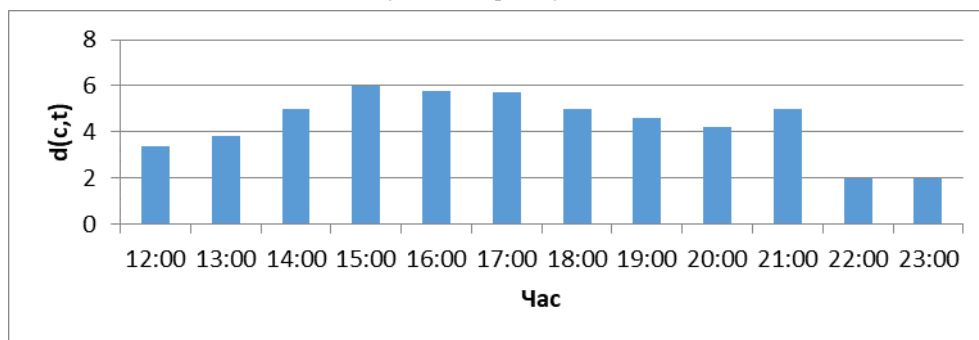


Рис. 3. Функція дефіциту для станції c

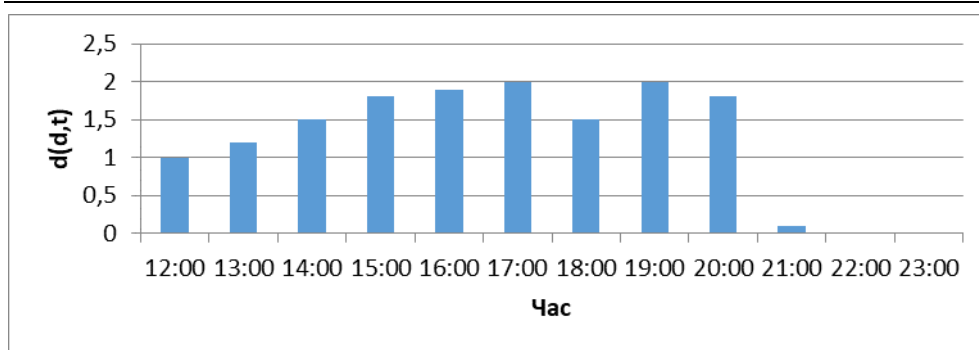


Рис. 4. Функція дефіциту для станції *d*

Найбільша тривалість очікування пасажиром транспортного засобу складає більше однієї години, репутаційні втрати, які понесе фірма при цьому складають 750 грн. Тому діапазон часу регулювання поїздки *a-b* та *b-a* складає мінімум $\Delta = \pm 01 : 35$ годин. Результати змінених графіків відправлення і прибуття автобусів подані в таблиці 4.

Таблиця 4

Результати коригування розкладу руху автобусів

№ маршруту	Маршрут	Час відправлення	Час прибуття	Новий час відправлення	Новий час прибуття
10	a-b	19:30	23:55	17:55	22:20
12	b-a	14:00	18:25	15:35	20:00
31	b-c	22:30	4:30	20:55	2:55
13	b-a	14:30	18:55	17:58	18:38
39	c-d	22:30	6:30	20:55	4:55
24	c-b	21:30	15:30	19:55	13:55
32	b-c	16:00	22:00	17:35	23:35
15	b-a	20:00	0:25	18:20	19:00
41	c-d	6:00	14:00	7:35	15:35
26	c-b	12:00	18:00	10:25	16:25
48	d-c	17:40	1:40	16:05	0:05
49	d-c	19:20	3:20	17:45	1:45

Оптимальна кількість транспортних засобів для чотирьох терміналів складає: $d(a,t)^* = 4$, $d(b,t)^* = 2$, $d(c,t)^* = 5$, $d(d,t)^* = 1$. Мінімальна кількість транспортних засобів, необхідних для завершення всіх перевезень, дорівнює сумі всіх максимальних зворотних різниць, тобто

$$\min N = \sum_{k \in K} \max d(k,t) = 12. \quad (4)$$

На рис. 5 показано кількість транспортних засобів, що працюють одночасно в регіональній та міжнародній транспортній мережі, яка складається з чотирьох станцій. Нижня межа кількості транспортних засобів, необхідних для чотирьох станцій, становить $G^* = \max g(t) = 12$. Відповідно до формули (4) $G^* = N^*$, тому неможливо зменшити розмір парку, включивши порожні автобуси, оскільки це тільки збільшить обсяги експлуатаційних витрат. Тим часом, регулюючи час

відправлення деяких автобусів, час очікування пасажирів контролюється протягом 2 годин для поліпшення обслуговування автобусів.

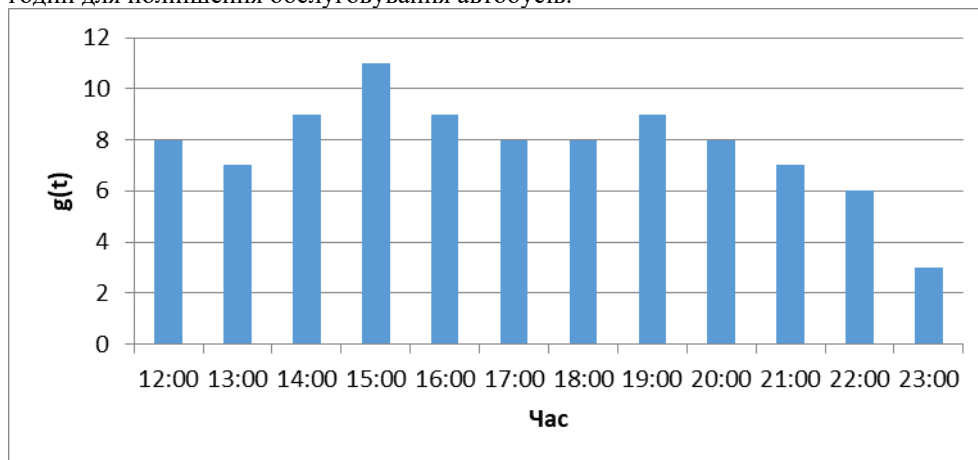


Рис. 5. Загальні значення функції дефіциту

До *SDT* і процесів оптимізації розмір парку становив 16, а значення цільової функції становило 166,65 тисяч гривень. З огляду на вартість очікування пасажирів, час відправлення деяких автобусів коригується, і включається один додатковий транспортний засіб. Розмір парку зменшується до 11, а значення цільової функції стає 124,98 тисяч гривень, що дозволило заощадити 25,0%.

Висновки і рекомендації щодо наступних досліджень

Оптимізаційний підхід до управління транспортними мережами розглядає їх організацію як єдину систему взаємопов'язаних процесів. У сукупність цих процесів входить і розвиток самого підприємства. Професійне застосування підходу може значно підвищити прозорість структури організації, яка дозволить оперативно реагувати на будь-які зміни, що відбуваються на підприємстві; дозволить виокремити зони відповідальності, що зобов'яже постачальника надавати тільки якісні ресурси, а як наслідок для замовника одержати якісну послугу, що суттєво вплине на бажання виробника реалізовувати конкурентоспроможну продукцію.

Планування транспортної мережі охоплює дуже широку сферу досліджень. Від проектування мереж до розкладу екіпажів, від оцінки попиту до призначення автобусів маршруту, від математичних методів вирішення до евристичних. Процес створення системи громадського транспорту пройшов багато етапів. Цей інтерес частково пов'язаний з тим, що розвиток транспорту є найважливішою темою сучасного суспільства. Проблеми та зростаюче забруднення середовища спонукає шукати нові методи організації мережі. Завдання і мета транзитної оптимізації – це забезпечити такі умови, адекватно налаштувавши систему транспорту, щоб максимально підвищити якість обслуговування пасажирів.

Планування та проектування – це кроки, які безпосередньо впливають на якість обслуговування, але через масштаби охоплення транспортних потоків викликає складність, оскільки експлуатаційні витрати сильно залежать від структури мережі. Існують і інші чинники, які значною мірою впливають на прибутковість такої структури. Якість може бути оцінено через ряд мережевих параметрів, таких як напрямок маршруту, охоплення послуги, ефективність мережі. Тому було запро-

поновано метод, який допомагає врахувати такі фактори, як попит на пасажирські перевезення, експлуатаційні та репутаційні втрати, які супроводжують транспортний потік. Цей метод передбачає покрокове визначення всіх параметрів та їх включення в модель. Обмеження побудовані на основі відомих доступних мінімальних витрат, виділених на рейс. Цільова функція моделі враховує як загальні експлуатаційні втрати так і репутаційні втрати, та спрямована на їх мінімізацію.

Існує необхідність в більш точних розрахунках, які залежать від часу, потреб пасажирів, які мають великий вплив на оптимізацію розкладу транспортних засобів. З розвитком сучасних технологій інформація про пасажирів в режимі реального часу легко відтворюється і збирається. Технології можуть використовуватися в якості пристрою стеження, для запиту лінії, часу прибуття транспортного засобу та його місця розташування. Він також може збирати точну інформацію про місце відправлення і призначення пасажирів для оцінки переваг вибору шляху пасажирів. Крім того, можна визначити такі напрямки для наступних досліджень:

1. Вивчення більш точних вагових коефіцієнтів для пасажирів a_p^k ($k = a, d, c, d$), так як пасажирів мають різні компоненти подорожі під час поїздок.

2. Вивчення впливу різних розмірів транспортних засобів на задоволення потреб пасажирів у різний час відправлення.

3. Розгляд трансферів пасажирів при побудові маршрутів.

У цій роботі розроблена методологія вирішення завдання планування парку транспортних засобів з урахуванням вартості очікування пасажирів. Мета цієї методології – мінімізувати розмір парку і скоротити час очікування пасажирів. Підхід з використанням функції дефіциту (DF) застосовується для реалізації зсуву часу відправлення (SDT) і зупинок (DH), щоб мінімізувати розмір парку. З метою мінімізувати як експлуатаційні витрати транспортного засобу, так і вартість очікування пасажирів введена функція оптимізації.

Для практичної реалізації результатів дослідження була застосована інформація про продаж квитків компанії з міжнародних пасажирських перевезень “East West Eurolines”. Результати показують, що загальна вартість може бути зменшена на 25% в порівнянні з поточними графіками. Числові результати показали, що реалізована на практиці методологія здатна вирішити масштабну проблему оптимізації організації транзитної мережі. Подальші вдосконалення можуть включати розробку методів оптимізації, що враховують динамічний транзитний попит, попит та час подорожі в різні періоди року, а також очікування та перенесення штрафу.

Таким чином вдалось знайти оптимальне поєднання всіх доступних ресурсів, необхідних для реалізації рейсу, з врахуванням мінімізації всіх можливих витрат.

1. Адаменко О., Височанський В., Лютко В., Михайлів М. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії: монографія. Івано-Франківськ: ІМЕ, 2001. 432 с.
2. Вовк В.М. Математичні методи дослідження операцій в економіко-виробничих системах: Монографія. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. 584 с.
3. Гащук П.М., Дубно М.В., Нефьодов О.Ф. Ідентифікація й нормування потенціалу автомобіля: Монографія. Львів: Тріада ПЛЮС, 2007. 240 с.
4. Кальченко В. І., Кальченко В. В., Венжега В. І., Рудик А. В. Шляхи покращення економічних і екологічних характеристик автомобілів. Вісник Чернігівського державного технологічного університету, 2010. №45. С. 35-38.

5. Шаталов М.А., Мичка С.Ю. Впровадження адаптивних систем автоматизації транспортно-логістичних операцій підприємства: теорія і практика, 2016. С. 387-391.
6. Calvo, R. W. A new heuristic for the traveling salesman problem with time windows. *Transportation Science*. 2000. P. 113-124.
7. Charkroborty P., Dwivedi T. Optimal route network design for transit systems using genetic algorithms. *Engineering Optimization*. 2002. P. 83-100.
8. Ceder A., Stern H. Deficit function bus scheduling with deadheading trip insertion for fleet size reduction. *Transportation Science*, 1987. Volume 15, Issue 4. P. 338-363.
9. Drew D. *Theory of transport flows and management*. М.: Transport, 1972. P. 424.
10. Giesen R., Martinez H., Mauttone A., Urquhart M. E. A method for solving the multi-objective transit frequency optimization problem. *Journal of Advanced Transportation*, 2016. Volume 50, Issue 8. P. 232-237.
11. Guihaire, Valerie, Hao, Jin-Kao. Transit network design and scheduling: A global review. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2008. Volume 42. Issue 10. P. 1251-1273.
12. Haghani A., Banihashemi M. Heuristic approaches for solving large-scale bus transit vehicle scheduling problem with route time constraints. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2002. Volume 36. Issue 4. P. 309-333.
13. Haight F. *Mathematical theory of transport flows*. М.: Transport. 1966. P. 286.
14. Krstanoski N. Trunk with Branches Public Transport Line Scheduling under Condition of Uniform Headway Operation. *Journal of Public Transportation*, 2017. Issue 7. P. 89.
15. Zhao, F., Ubaka I. Transit Network Optimization: Minimizing Transfers and Optimizing Route Directness. *Journal of Public Transportation*, 2004. Issue 7. P. 67-82.
16. Y. Zhu T. Optimization of Urban Rail Transit Train Operation Plan considering Passenger Travel Efficiency. Beijing Jiaotong University, 2016. P. 32-35.

References

1. Adamenko O., Vysochanskyi V., Lotko V., Mykhailiv M. (2001). *Alternatyvni palyva ta inshi netradytsiini dzherela enerhii: monohrafiia*, Ivano-Frankivsk: IME, 432.
2. Vovk V.M. (2007). *Matematychni metody doslidzhennia operatsii v ekonomiko-vyrobnychkykh systemakh: Monohrafiia*, Lviv: Vydavnychy tsestr LNU imeni Ivana Franka, 584.
3. Hashchuk P.M., Dubno M.V., Nefodov O.F. (2007). *Identyfikatsiia y normuvannia potentsialu avtomobilia: Monohrafiia*, Lviv: Triada PLIUS, 240.
4. Kalchenko V. I., Kalchenko V. V., Venzheha V. I., Rudyk A. V. (2010). Shliakhy pokrashchennia ekonomichnykh i ekolohichnykh kharakterystyk avtomobiliv, *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu*, 45, pp.35-38.
5. Shatalov M.A., Mychka S.Iu. (2016). Vprovadzhennia adaptyvnykh system avtomatyzatsii transportno-lohistychnykh operatsii pidpriemstva: teoriia i praktyka, pp.387-391.
6. Calvo R. W. (2000). A new heuristic for the traveling salesman problem with time windows, *Transportation Science*, pp.113-124.
7. Charkroborty P., Dwivedi T. (2002). Optimal route network design for transit systems using genetic algorithms, *Engineering Optimization*, pp. 83-100.
8. Ceder A., Stern H. (1987). Deficit function bus scheduling with deadheading trip insertion for fleet size reduction. *Transportation Science*, V.15, 4, pp. 338-363.
9. Drew D. (1972). *Theory of transport flows and management*, М.: Transport, 424.
10. Giesen R., Martinez H., Mauttone A., Urquhart M. E. (2016). A method for solving the multi-objective transit frequency optimization problem, *Journal of Advanced Transportation*, V. 50, 8, pp. 232-237.

11. Guihaire V. Hao J. (2008). Transit network design and scheduling: A global review, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, V.42, 10, pp.1251-1273.
12. Haghani A., Banihashemi M. (2002). Heuristic approaches for solving large-scale bus transit vehicle scheduling problem with route time constraints, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, V.36, 4, pp.309-333.
13. Haight F. (1966). Mathematical theory of transport flows, M.: Transport, 286.
14. Krstanoski N. (2017). Trunk with Branches Public Transport Line Scheduling under Condition of Uniform Headway Operation, *Journal of Public Transportation*, 7, pp.89.
15. Zhao, F., Ubaka I. (2004). Transit Network Optimization: Minimizing Transfers and Optimizing Route Directness, *Journal of Public Transportation*, 7, pp.67-82.
16. Zhu Y. T. (2016). Optimization of Urban Rail Transit Train Operation Plan considering Passenger Travel Efficiency, *Beijing Jiaotong University*, pp.32-35.

INTERNATIONAL TRANSPORT FLOW PLANNING ACCORDING TO FUNCTION OF DEFICIT

V. Vovk, Z. Artym-Drohomyretska, S. Kalishchuk, R. Tsikalova

Ivan Franko National University of Lviv, Prospekt Svobody 18, UA – 79008, Ukraine
e-mail: volodymyr-bohdan.vovk@lnu.edu.ua, zoriana.artym-drohomyretska@lnu.edu.ua,
sofia_kalishchuk@ukr.net, ts.renata98@gmail.com

Public transport has become more attractive as an alternative to private transport in recent years, because of congestion worsening in large urban areas and the increase in fuel prices.

Therefore, the issue of traffic flows optimization is extremely important for Ukrainian transport enterprises. This is related to the reduction of international freight transit, which seems to be systematic and requires the same analysis, using scientific methods, including modeling process.

Transport flow modeling is an effective mean of improving and optimizing transportation systems and improving the quality of transportation services.

In this work, the technique is developed to solve the problem of planning the transport fleet. The purpose of this methodology is to minimize the size of the transport park and reduce the passengers waiting time. The task of traffic flow optimization is realized on the transport company basis of the data from the report of tickets sale for international transportations in 2018-2019.

Data on the available company resources were used to build model constraints. The target function takes into account the operating costs that accompany the trip and the reputational losses that have been taken into account in the deficit function. Reputation losses are determined and based on the deficit function. A deficit function approach is used to implement departure and stop shifts to minimize the size of transport park.

Finally, this methodology applies to the company of international passenger transportation. The optimum combination of all available resources required for the trip was found, with the minimization of all possible losses. The results show that the total costs can be reduced by 25% over current charts.

Keywords: traffic flow, deficit function, transport network, road losses, operating costs, waiting time, flat peak.