

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 656.025.2

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.93

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ КОМБІНОВАНОГО РЕЖИМУ РУХУ НА МІСЬКОМУ АВТОБУСНОМУ МАРШРУТІ

Таран І. О., Литвин В. В.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Анотація. У роботі розглянуті питання вдосконалення технології процесу перевезення пасажирів за рахунок організації на міських автобусних маршрутах комбінованого режиму. Розроблено економіко-математичну модель, яка дозволяє досліджувати і визначати доцільність і раціональні параметри введення комбінованих швидкісних форм сполучення. Наведені результати моделювання та оцінка ефективності введення швидкісного сполучення на міському маршруті № 70 (м. Дніпро).

Ключові слова: комбінований режим, непродуктивна транспортна робота, пасажиропотік, інтервал, коефіцієнт використання місткості, матриця міжзупиночних кореспонденцій.

Вступ

Незважаючи на певну бюджетну підтримку, в умовах тривалої інфляції в країні, ефективність роботи міського громадського транспорту (МГТ) в містах залишається низькою. Недостатність коштів на оновлення (утримання) рухомого складу, стихійне формування маршрутної мережі, велика нерегульована конкуренція між офіційними та нелегальними перевізниками призводить до збитковості та низької рентабельності більшості автотранспортних підприємств (АТП) [1].

Але слід зауважити, що, окрім перерахованих вище об'єктивних чинників низької ефективності роботи МГТ, в Україні спостерігаються негативні явища, що суттєво уповільнюють запровадження нових прогресивних методів організації процесу перевезення пасажирів. Проаналізуємо основні причинно-наслідкові зв'язки таких явищ: відсутність автоматизованої системи обліку пасажирів призводить до «заниження» перевізниками реальної кількості пасажирів і, як наслідок, постійної (часом необґрунтованої) вимоги необхідності підвищення вартості проїзду. У разі відсутності кондуктора водії під час руху беруть у пасажирів гроші, рахують та видають решту, що суттєво впливає на безпеку поїздки. В умовах відсутності реального контролю за виконанням технології процесу перевезення спостерігається низька робоча дисципліна серед водіїв, які дозволяють собі здійснювати посадку (висадку) пасажирів у місцях, не передбачених ПДР та схемою маршруту, самовільно змінювати шлях руху, не

здійснювати всі рейси, що передбачені розкладом руху тощо.

Вирішенню наведених вище проблем може посприяти введення в українському міському транспорті безготівкового розрахунку. Наприкінці січня 2017 року Верховна Рада України ухвалила рішення, яке передбачає можливість впровадження електронних квитків у МГТ на території всієї України.

У разі реалізації цієї концепції з'являється можливість застосування більш складних, але ефективних способів організації процесу перевезення пасажирів. Одним із таких прогресивних способів є організація на міських автобусних маршрутах експресного (швидкісного) сполучення [2]. Він дозволяє скоротити витрати часу пасажирів на пересування, підвищити ступінь використання рухомого складу та рівень транспортного обслуговування населення [3–8]. Введення комбінованих режимів руху автобусів (із використанням експресного (швидкісного) сполучення) на міських маршрутах дозволяє досягти вищезазначеного економічного та соціального ефекту без збільшення кількості автобусів [9–12], навпаки, використовуючи відповідну структуру пасажиропотоку на маршруті, з'являється можливість зняти з маршрутів деяку кількість автобусів без погіршення якості транспортного обслуговування пасажирів [9–12]. Оскільки швидкісні та експресні автобуси мають менше зупинок (ЗП) на шляху прямування, вони менше здійснюють гальмувань і розгонів, що сприяє зменшенню амортизації транспортних засобів (ТЗ), суттєвому скороченню витрат на паливо-

мастильні матеріали, поточний ремонт і технічне обслуговування, а також зниженню кількості шкідливих викидів в атмосферу міста [13, 14].

Аналіз публікацій

Вибір режимів руху ТЗ на маршрутах є одним з найважливіших завдань удосконалення перевезень пасажирів, оскільки він безпосередньо впливає на якість обслуговування населення та собівартість процесу перевезення. Відповідно до Закону України «Про автомобільний транспорт» розрізняють перевезення пасажирів у звичайному, експресному режимах та у режимі маршрутного таксі. З технологічної точки зору на МГТ можливе впровадження таких режимів руху автобусів: звичайний, швидкісний, експресний, напівекспресний, скорочений та режим маршрутного таксі [9]. Незважаючи на зазначені переваги, на сьогодні такі варіанти організації перевезень на маршрутах не набули широкого поширення в першу чергу через відсутність досить точних і достовірних методів свого обґрунтування.

Варто зазначити, що переважна більшість наявних методик організації комбінованого режиму руху на маршрутах були розроблені в 70–90 рр. минулого століття до настання змін економічних умов на транспорті, тому не враховує зацікавленості АТП в економічних результатах своєї діяльності. Детальний аналіз цих методів, їх галузі застосування, переваг та недоліків наведено у роботі [2].

В останні десятиріччя питанням організації комбінованого режиму руху автобусів на міських маршрутах присвячені чисельні роботи таких вітчизняних науковців як В. К. Доля, П. Ф. Горбачев, О. С. Ігнатенко, Ю. О. Давідч, О. І. Лежнева, К. Є. Вакуленко та ін.

У роботі [12] подано метод вибору режимів руху внаслідок повного перегляду можливих варіантів організації сполучення на маршруті. Як обмеження приймаються мінімальна швидкість сполучення, максимальна величина пасажирообороту на зупинках та максимальний інтервал руху.

Результати роботи [15] дозволяють вирішувати проблеми визначення вихідного набору ЗП для подальшого перегляду варіантів. Але запропоновані підходи до розподілу пасажиропотоків можуть призвести до нераціонального розподілу ТЗ між маршрутами та відрізняються значною трудомісткістю.

Автором [16] уточнено сферу застосування маршрутних таксомоторів і розроблено

методику організації руху на маршрутах ГПТ, яка дозволяє обирати раціональні параметри маршрутних перевезень з комбінованим режимом руху. Недоліком цієї роботи є те, що як сфера застосування запропонованої математичної моделі функціонування маршруту розглядаються таксомоторні маршрути, на яких експлуатуються транспортні засоби, місткістю до 30 пасажирів.

У роботі [17] запропоновано критерій оцінки ефективності експресних маршрутних перевезень, що дозволяє враховувати соціально-економічні наслідки транспортного процесу для суспільства в цілому. Але необхідно зазначити, що розроблені математичні моделі розподілу міжзупиночних кореспонденцій між формами сполучення, по-перше, мають дискретний характер, а по-друге, не враховують взаємовплив структури пасажирообміну ЗП і переліку зупиночних пунктів, що належать до складу експресного маршруту.

Автором [18] подана математична модель визначення вибору раціонального співвідношення ТЗ для організації комбінованого режиму руху автобусів, що враховує інтереси пасажирів та АТП. Недоліком цієї роботи є те, що під час моделювання загальна кількість автобусів на маршруті залишалась незмінною, а отже, не був досліджений один із можливих наслідків введення комбінованого режиму на маршруті за рахунок зменшення кількості ТЗ.

Таким чином, більшість із наявних розробок та підходів можуть використовуватися для узагальнених та приблизних розрахунків варіантів організації різних форм сполучення на міських автобусних маршрутах або відрізняються великою наукоємністю, що значно ускладнює їх впровадження на АТП. А відсутність єдиної методології, за допомогою якої можна визначити раціональні параметри організації комбінованих форм сполучення, пояснює їх незначну питому вагу від загальної кількості маршрутів у великих та середніх містах України.

Мета і постановка завдання

Враховуючи критичний аналіз наявних на сьогодні методик, метою роботи є розробка економіко-математичної моделі, що дозволяє за обраними критеріями ефективності досліджувати та визначати доцільність і раціональні параметри введення комбінованих швидкісних форм сполучання на окремому міському маршруті. Для оцінки результатів мо-

делювання також необхідно розробити структуру комплексного показника ефективності введення комбінованих форм сполучення, який би враховував основні економічні, технологічні та соціальні складові процесу перевезення пасажирів.

Умови застосування комбінованих форм сполучення на маршрутах

Доцільність організації тієї чи іншої форми сполучення на маршрутах визначається коефіцієнтами нерівномірності пасажиропотоку [2, 6, 9], до яких належать коефіцієнт змінюваності пасажирів і коефіцієнт нерівномірності на ділянках маршруту. Коефіцієнт змінюваності пасажирів:

$$\eta_{зм} = \frac{L_m}{l_{сер}}, \tag{1}$$

де L_m – довжина маршруту, км; $l_{сер}$ – середня дальність поїздки одного пасажирів, км.

Для експресної форми сполучення характерно, що $l_{сер} \rightarrow L_m$, в такому випадку $\eta_{зм} \rightarrow 1$. А для звичайної форми сполучення середня дальність поїздки пасажирів може дорівнювати довжині шлуку: $l_{сер} \cong \overline{l_{пер}}$. У цьому випадку $\eta_{зм} \cong n$, де n – кількість відрізків на маршруті. Таким чином, областю допустимих значень $\eta_{зм}$ є діапазон

$$\eta_{зм} \in [1, n]. \tag{2}$$

Отже, якщо $\eta_{зм} \rightarrow 1$, то кількість пасажирів, яку прямують за маршрутом без зупинок, збільшується, тоді й організація швидкісного сполучення стає ефективнішою.

Коефіцієнт нерівномірності на ділянках маршруту $\eta_{діл}$ визначається відношенням максимального пасажиропотоку H_{max} (на найбільш завантаженому відрізку маршруту) до його середнього значення $H_{сер}$ за всіма ділянками маршруту:

$$\eta_{діл} = \frac{H_{max}}{H_{сер}}. \tag{3}$$

Для експресної форми сполучення (якщо $\eta_{зм} = 1$) характерна відсутність коливань пасажиропотоку по ділянках маршруту, тому $H_{max} = H_{сер}$ і $\eta_{діл} = 1$. У разі значних коливань пасажиропотоку вздовж ділянок мар-

шруту доцільно введення скороченої форми сполучення. У цьому випадку (коли $H_{max} \gg H_{сер}$) можна прийняти, що $H_{сер} \cong H_{max} / n$, тоді $\eta_{діл} = H_{max} / H_{сер} \cong n$. Таким чином:

$$\eta_{діл} \in [1, n]. \tag{4}$$

Права межа ділянки $[1 \div n]$ в (2) і (4) плавальна, вона залежить від кількості відрізків на маршруті, що під час аналізу пасажиропотоку не завжди зручно. Тому доцільно ввести для розглянутих вище коефіцієнтів нерівномірності відповідні їм нормовані коефіцієнти ($k_{зм}$, $k_{діл}$) як відношення $1/\eta$. Звідки випливає:

$$k_{зм} = 1/\eta_{зм}; \quad k_{зм} \in (0...1]. \tag{5}$$

$$k_{діл} = 1/\eta_{діл}; \quad k_{діл} \in (0 \div 1]. \tag{6}$$

За отриманими залежностями (5, 6) можна скласти таблицю відповідності між крайніми значеннями нормованих коефіцієнтів ($k_{зм}$, $k_{діл}$) і відповідними їм формами сполучення (табл. 1). Також пропонується виділити зони попередньої оцінки доцільності організації відповідних форм сполучення (рис. 1).

Таблиця 1 – Відповідність між крайніми значеннями нормованих коефіцієнтів і формами сполучення

Значення $k_{зм}$	Значення $k_{діл}$	Форма сполучення
$k_{зм} \rightarrow 1$	$k_{діл} \rightarrow 1$	експресна форма
$k_{зм} \rightarrow 0$	$k_{діл} \rightarrow 1$	звичайна форма
$k_{зм} \rightarrow 0$	$k_{діл} \rightarrow 0$	скорочена форма
$k_{зм} \rightarrow 1$	$k_{діл} \rightarrow 0$	скорочено-швидкісна форма

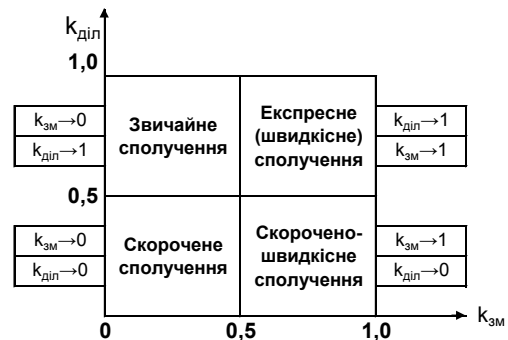


Рис. 1. Зони попередньої оцінки доцільності організації форм сполучення на маршрутах

Запропоновані рекомендації (рис. 1) дозволяють оцінювати доцільність організації відповідних форм сполучення на підставі результатів обстеження пасажиропотоків.

Критерії ефективності організації комбінованих форм сполучення

Основним технологічним ефектом від впровадження комбінованого режиму руху на маршрутах є скорочення непродуктивної транспортної роботи автобусів:

$$W_N = \sum P_{\text{надана}}^i - \sum P_{\text{фактична}}^i \rightarrow \min, \quad (7)$$

де $\sum P_{\text{надана}}^i$ – сумарна транспортна робота, надана за кожною i -ю формою сполучення, пас.·км; $\sum P_{\text{фактична}}^i$ – сумарна фактична транспортна робота за кожною i -ю формою сполучення, пас. км.

В організації процесу перевезення на маршрутах міста беруть участь дві основні сторони: транспортні підприємства і пасажирів, інтереси яких не завжди узгоджуються [4, 6]. Компромісним виходом із цього протиріччя можуть бути заходи, мету яких можна сформулювати таким чином:

– поліпшити показники роботи АТП, не погіршуючи якість обслуговування пасажирів;

– поліпшити якість обслуговування пасажирів, не погіршуючи економічних показників роботи АТП.

Такий багатокритеріальний підхід дозволяє врахувати різноспрямованість цілей сторін процесу перевезення, антагоністичність у складових ефекту (як економічного, так і соціального). Успішне визначення мети та вирішення будь-якого екстремального економічного завдання багато в чому залежить від правильного вибору критерію ефективності [19]. У нашому конкретному випадку обраний критерій ефективності повинен враховувати систему управління міським пасажирським транспортом та техніко-економічні показники, що існують у цій системі, оцінювати ефективність функціонування транспорту, допускати оцінку варіантів, які можна порівнювати, та бути досить інформативним.

Як основний показник роботи АТП що визначає продуктивність роботи автобусів і собівартість процесу перевезення, пропонується прийняти величину непродуктивної роботи рухомого складу W_N (7), а за основний показник якості транспортного обслуговування

приймається величина, що дорівнює сумарним витратам часу, який витрачають пасажирів на пересування та очікування. Тоді можливий підхід до вирішення завдання пошуку раціональних варіантів комбінованого режиму руху на маршруті пропонується сформулювати за допомогою моделей, які враховують інтереси АТП (8) і пасажирів (9) відповідно:

$$W_N \rightarrow \min; W_N \geq 0; A_d > A_n = \sum A_i; \quad (8)$$

$$\gamma_i \in [\gamma_{\min} \div \gamma_{\max}]; A_{\min}^{3B} = t_{\text{об}} / I_{\max}.$$

$$\sum T_n \rightarrow \min; \sum T_d > \sum T_n; \quad (9)$$

$$A_d = A_n = \sum A_i; \gamma_i \in [\gamma_{\min} \div \gamma_{\max}],$$

де A_d , A_n – кількість автобусів до та після організації різноманітних форм сполучення відповідно; A_i – кількість автобусів i -ї форми сполучення; $\sum T_d$, $\sum T_n$ – сумарні витрати часу пасажирів на пересування маршрутом до і після організації різних форм сполучень; A_{\min}^{3B} – мінімально допустима кількість автобусів звичайної форми сполучення на маршруті; I_{\max} – максимально допустимий інтервал руху; γ_i – коефіцієнт використання місткості i -ї форми сполучення, а $[\gamma_{\min} \div \gamma_{\max}]$ – його допустиме мінімальне та максимальне значення.

Модель (8) у випадку складних економічних умов роботи АТП є кращою, тому що мінімізація непродуктивної транспортної роботи призводить до зниження транспортних витрат, а за умови використання ефективної тарифної системи – і до підвищення прибутковості транспортних підприємств.

Методика розрахунку ТЕП на маршруті за умови заданих параметрів організації швидкісного сполучення

Вихідними даними для визначення експлуатаційних показників процесу перевезення за умови заданих параметрів організації швидкісного сполучення є:

- 1) місткість рухомого складу q , пас;
- 2) кількість ТЗ, які працюють у звичайному A^{3B} і швидкісному $A^{ШВ}$ сполученні;
- 3) час, який автобус витрачає на проміжних $t_{пз}$ і кінцевих зупинках маршруту $t_{кз}$, хв;
- 4) матриця довжини перегонів між будь-якими ЗП на маршруті $l_{i,i+1}$, км;

5) матриця міжзупиночних кореспонденцій для розрахункового періоду K_{ij} , пас;

6) матриця норм часу руху автобусів вздовж перегонів маршруту в режимі його роботи у звичайному сполученні t_{ij}^{3B} ;

7) перелік зупиночних пунктів, які знаходяться на швидкісному маршруті.

У зв'язку з тим, що у випадку швидкісної форми сполучення автобуси зупиняються не на всіх ЗП, то швидкісний маршрут доцільно навести у вигляді булевого вектора, елементи якого можуть набувати значень 1 або 0:

$$Z = \{ \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots \lambda_j \dots \lambda_n \}, \quad (10)$$

де $\lambda_j = 1$ – якщо j -й зупиночний пункт знаходиться на швидкісному маршруті; $\lambda_j = 0$ – якщо j -й зупиночний пункт не знаходиться на швидкісному маршруті.

Основними вихідними даними для визначення ТЕП на маршруті є матриця міжзупиночних кореспонденцій. А основна проблема полягає у необхідності їх постійного перерозподілу між формами сполучення залежно від кількості ЗП, що знаходяться на швидкісному маршруті, довжини перегонів і кількості автобусів, що експлуатуються в відповідних режимах. Для реалізації процедури такого перерозподілу авторами у роботі [20] запропоновано метод, логічного аналізу двох матриць: матриці міжзупиночних кореспонденцій і матриці норм часу проходження автобусів між ЗП.

Для визначення кількості пасажирів, які можуть користуватися тільки звичайною формою сполучення, необхідно виділити з матриці міжзупиночних кореспонденцій K_{ij} ті кореспонденції пасажирів, які за напрямками проходження ($i \rightarrow j$) за умов заданого Z_i можуть користуватися тільки звичайною формою сполучення. Множину таких напрямків позначимо як A . До неї належать перегони, на яких хоча б один з кінцевих пунктів (ij) не належить множині зупиночних пунктів швидкісного маршруту, тобто дотримується умова ($\lambda_i \neq 1$ або $\lambda_j \neq 1$). В іншому випадку пасажирів або не зможуть здійснити посадку до автобусів, оскільки, як в i -му пункті, вони не зупиняються, або не потраплять до пункту призначення, проїхавши j -й пункт без зупинки. Пасажири, які належать до множини A ,

утворюють матрицю, елементи якої визначаються за такою залежністю:

$$q_{ij}^{3B}(A) = \begin{cases} K_{ij}, & \text{IF } \lambda_i \neq 1 \text{ OR } \lambda_j \neq 1 \\ 0 & \end{cases}. \quad (11)$$

На інших напрямках руху ($i \rightarrow j$) для зупиночних пунктів, для яких існує умова ($\lambda_i = 1$ та $\lambda_j = 1$), пасажирів можуть користуватися як звичайною, так і швидкісною формами. Позначимо множину таких напрямків як B . Пасажири, які належать до множини B , утворюють матрицю, елементи якої визначаються за залежністю

$$q_{ij}^{3B \text{ або ШВ}}(B) = \begin{cases} K_{ij}, & \text{IF } \lambda_i = 1 \text{ AND } \lambda_j = 1 \\ 0 & \end{cases}. \quad (12)$$

Пасажири, вибираючи форми сполучення, за інших рівних умов керуються принципом мінімізації витрат часу на поїздку. Виходячи з цього принципу, обсяги перевезень пасажирів, які користуються певною формою сполучення, можна визначати за такими правилами:

1) якщо для напрямків руху ($i \rightarrow j$) виконується умова $T_{ij}^{\text{ШВ}} < T_{ij}^{3B}$ (позначимо множину таких напрямків через C), то пасажир, який рухається вздовж цього напрямку, користується тільки швидкісним сполученням;

2) якщо для напрямків руху ($i \rightarrow j$) виконується умова $T_{ij}^{\text{ШВ}} > T_{ij}^{3B}$ (позначимо множину таких напрямків через D), то пасажир може використовувати будь-яку форму сполучення і буде здійснювати посадку до того автобуса, який прибув до зупиночного пункту першим.

Час переміщення пасажирів у швидкісному $T_{ij}^{\text{ШВ}}$ або звичайному T_{ij}^{3B} сполученні містить час руху ($t_{\text{пyx } ij}^{\text{ШВ}}$ або $t_{\text{пyx } ij}^{3B}$) на ділянці (i, j) та час очікування автобусів на зупиночних пунктах ($t_{\text{оч } ij}^{\text{ШВ}}$, $t_{\text{оч } ij}^{3B}$) і розраховується за такими залежностями:

$$T_{ij}^{\text{ШВ}} = t_{\text{пyx } ij}^{\text{ШВ}} + t_{\text{оч } ij}^{\text{ШВ}} = t_{\text{пyx } ij}^{\text{ШВ}} + I^{\text{ШВ}} / 2. \quad (13)$$

$$T_{ij}^{3B} = t_{\text{пyx } ij}^{3B} + t_{\text{оч } ij}^{3B} = t_{\text{пyx } ij}^{3B} + I^{3B} / 2. \quad (14)$$

Час руху автобусів ($t_{пyx ij}^{ШВ}$, $t_{пyx ij}^{ЗВ}$) для відповідної форми визначимо на підставі норм часу руху $t_{ij}^{ШВ}$ та $t_{ij}^{ЗВ}$:

$$t_{пyx ij}^{ШВ} = t_{ij}^{ШВ} + t_{nз} \cdot \left(\sum_{j=1}^j \lambda_j - 2 \right) - t_{nз} \cdot \left(\sum_{i=1}^i \lambda_i - 1 \right). \quad (15)$$

$$t_{пyx ij}^{ЗВ} = t_{ij}^{ЗВ} + t_{nз} \cdot (j-2) - t_{nз} \cdot (i-1). \quad (16)$$

Пасажири, що належать до множини C , утворюють матрицю $q_{ij}^{ШВ}(C)$, елементи якої визначаються за залежністю

$$q_{ij}^{ШВ}(C) = \begin{cases} q_{ij}(B), & \text{IF } B_{ij} \in C \\ 0 & \end{cases}. \quad (17)$$

Для пасажирів множини D швидкісне сполучення вже не є пріоритетним, оскільки $T_{ij}^{ШВ} > T_{ij}^{ЗВ}$, тому пасажир буде здійснювати посадку до автобуса (швидкісної або звичайної форми сполучення), який прибув першим до зупиночного пункту. Отже, кількість пасажирів, перевезених швидкісними або звичайними формами сполучення, прямо пропорційна частоті їх руху або кількості рейсів ($\psi^{ШВ}$, $\psi^{ЗВ}$).

Таким чином, розподіл пасажирів множини D на швидкісне $q_{ij}^{ШВ}(D)$ та звичайне $q_{ij}^{ЗВ}(D)$ сполучення здійснюватиметься за такими залежностями:

$$q_{ij}^{ШВ}(D) = \begin{cases} q_{ij}(B) \cdot \frac{\psi^{ШВ}}{\psi^{ШВ} + \psi^{ЗВ}}, & \text{IF } B_{ij} \in D \\ 0 & \end{cases}. \quad (18)$$

$$q_{ij}^{ЗВ}(D) = \begin{cases} q_{ij}(B) \cdot \frac{\psi^{ЗВ}}{\psi^{ШВ} + \psi^{ЗВ}}, & \text{IF } B_{ij} \in D \\ 0 & \end{cases} \quad (19)$$

Таким чином, кількість перевезених пасажирів можна розподілити між формами сполучення таким чином: $Q^{ШВ}(C+D)$ та $Q^{ЗВ}(A+D)$. Розглянемо докладніше структуру запропонованого алгоритму розрахунку ТЕП процесу перевезення на маршруті за умов заданих параметрів організації швидкісного сполучення:

1) визначення часу руху автобусів для кожної форми сполучення:

$$t_{об}^{ЗВ} = 2 \cdot (t_c^{ЗВ} + t_{кз}); \quad t_{об}^{ШВ} = 2 \cdot (t_c^{ШВ} + t_{кз}), \quad (20)$$

де $t_c^{ЗВ}$, $t_c^{ШВ}$ – час руху автобусів протягом рейсу відповідної форми сполучення, хв;

2) визначення інтервалів руху автобусів для кожної форми сполучення:

$$I^{ЗВ} = \frac{t_{об}^{ЗВ}}{A^{ЗВ}}; \quad I^{ШВ} = \frac{t_{об}^{ШВ}}{A^{ШВ}}; \quad (21)$$

$$I^{СВ} = \frac{I^{ЗВ} \cdot I^{ШВ}}{(I^{ЗВ} + I^{ШВ})};$$

3) визначення кількості швидкісних і звичайних рейсів протягом розрахункового періоду:

$$\psi^{ЗВ} = \frac{60}{I^{ЗВ}}; \quad \psi^{ШВ} = \frac{60}{I^{ШВ}}; \quad (22)$$

4) визначення кількості пасажирів, які можуть користуватися тільки звичайною формою сполучення (множина A), за (11);

5) визначення кількості пасажирів, які можуть користуватися як звичайною, так і швидкісною формами сполучення (множина B), за (12);

6) розподіл пасажирів множини B між швидкісною і звичайною формами сполучення за (17–19);

7) визначення базових експлуатаційних показників процесу перевезення:

загальна надана транспортна робота на всьому маршруті і за відповідними формами сполучення:

$$P_{надана} = P_{надана}^{ЗВ} + P_{надана}^{ШВ}; \quad (23)$$

$$P_{надана}^{ЗВ} = q \cdot L_m \cdot \psi^{ЗВ}; \quad P_{надана}^{ШВ} = q \cdot L_m \cdot \psi^{ШВ}; \quad (24)$$

загальна фактична транспортна робота на всьому маршруті і за відповідними формами сполучення:

$$P_{фактична} = P_{фактична}^{ЗВ} + P_{фактична}^{ШВ}; \quad (25)$$

$$P_{фактична}^{ЗВ} = \sum q_{ij}^{ЗВ}(A) \cdot l_{ij} + \sum q_{ij}^{ЗВ}(D) \cdot l_{ij}; \quad (26)$$

$$P_{фактична}^{ШВ} = \sum q_{ij}^{ШВ}(C) \cdot l_{ij} + \sum q_{ij}^{ШВ}(D) \cdot l_{ij}; \quad (27)$$

непродуктивна транспортна робота на маршруті розраховується за (7);

коефіцієнти використання місткості автобусів для кожної форми сполучення:

$$\gamma^{3B} = \frac{P_{\text{фактична}}^{3B}}{P_{\text{надана}}^{3B}}; \quad \gamma^{\text{ШВ}} = \frac{P_{\text{фактична}}^{\text{ШВ}}}{P_{\text{надана}}^{\text{ШВ}}}; \quad (28)$$

8) визначення сумарних витрат часу пасажирів на пересування:

сумарні витрати часу пасажирів, які користуються тільки звичайною формою сполучення на напрямках $(i \rightarrow j) \in A$:

$$T^{3B}(A) = \sum q_{ij}^{3B}(A) \cdot t_{\text{рух } ij}^{3B} + Q^{3B}(A) \cdot \frac{I^{3B}}{2}; \quad (29)$$

сумарні витрати часу пасажирів, які користуються тільки швидкісною формою сполучення на напрямках $(i \rightarrow j) \in C$:

$$T^{\text{ШВ}}(C) = \sum q_{ij}^{\text{ШВ}}(C) \cdot t_{\text{рух } ij}^{\text{ШВ}} + Q^{\text{ШВ}}(C) \cdot \frac{I^{\text{ШВ}}}{2}; \quad (30)$$

сумарні витрати часу пасажирів, які користуються тільки звичайною формою сполучення на напрямках $(i \rightarrow j) \in D$:

$$T^{3B}(D) = \sum q_{ij}^{3B}(D) \cdot t_{\text{рух } ij}^{3B} + Q^{3B}(D) \cdot \frac{I^{3B}}{2}; \quad (31)$$

сумарні витрати часу пасажирів, які користуються тільки швидкісною формою сполучення на напрямках $(i \rightarrow j) \in D$:

$$T^{\text{ШВ}}(C) = \sum q_{ij}^{\text{ШВ}}(C) \cdot t_{\text{рух } ij}^{\text{ШВ}} + Q^{\text{ШВ}}(C) \cdot \frac{I^{\text{ШВ}}}{2}; \quad (32)$$

загальні витрати часу пасажирів за всіма формами сполучення:

$$\sum T = T^{3B}(A) + T^{\text{ШВ}}(C) + T^{3B}(D) + T^{\text{ШВ}}(D). \quad (33)$$

Визначення раціональних параметрів комбінованого режиму руху на міському маршруті

Як об'єкт дослідження для апробації запропонованої методики був обраний міський автобусний маршрут № 70 (ж/м Придніпровськ – пл. Старомостова).

На цьому маршруті експлуатуються $A^{3B} = 25$ автобусів малого класу Богдан А092, місткістю $q = 46$ пасажирів, які працюють у звичайному режимі.

Основні характеристики маршруту: $L_m = 20,4$ км; тривалість рейсу $t_p = 63$ хв (у т.ч. простій на кінцевих зупинках $t_{\text{кз}} = 5$ хв); технічна швидкість $V_T = 33,2$ км/год; експлуатаційна швидкість $V_E = 19,4$ км/год. На маршруті облаштовано $n_{\text{зуп}} = 27$ зупинок.

Обстеження пасажиропотоків на маршруті № 70 були проведені за допомогою табличного методу у ранкову годину «пік» для прямого (найбільш завантаженого напрямку). З 7⁰⁰ до 8⁰⁰ годин інтервал руху на маршруті становить $I = 5$ хв, що дозволяє здійснювати $\psi = 12$ відправлень автобусів. Таким чином, надана місткість на маршруті становить $12 \cdot 46 = 552$ пас. Згідно з рекомендаціями, наведеними в роботі [6] (враховуючи, що $I^{3B} = 5$ хв), було обстежено 4 рейси (33%), що гарантує достатню достовірність отриманих результатів. Результати проведеного обстеження подані на рис. 2.

На підставі отриманих результатів розраховані базові ТЕРП процесу перевезення: $H_{\text{max}} = 543$ пас.; $H_{\text{сер}} = 421,5$ пас.; $l_{\text{сер}} = 10,6$ км; $\eta_{\text{зм}} = 1,92$; $\gamma = 0,78$; всього на маршруті під час обстеження було перевезено 829 пасажирів. Структура розподілу здійсненої транспортної роботи на маршруті наведена на рис. 3.

Аналіз рис. 3 засвідчує, що на переважній більшості перегонів маршруту автобусами здійснюється непродуктивна транспортна робота, питома вага якої становить від 10 до 70%. Взагалі на маршруті $P_{\text{надана}}$ становить 11 260,8 пас.·км (21), а $P_{\text{фактична}}$ (за результатами обстеження) – 8 789,6 пас.·км. Таким чином, непродуктивна транспортна робота W_N (7) дорівнює 2 471,2 пас.·км, що становить 23% від $P_{\text{надана}}$, що суттєво зменшує ефективність роботи автобусів.

Розраховані за (5)–(6) значення нормованих коефіцієнтів змінності $k_{\text{зм}}$ та нерівномірності пасажиропотоків на ділянках маршруту $k_{\text{діл}}$ становлять 0,52 та 0,77 відповідно, що доводить доцільність введення на маршруті комбінованого режиму зі швидкісним сполученням (рис. 1).

Згідно з методикою [9] були визначені 6 проміжних зупиночних пунктів, які повинні бути на швидкісному маршруті (на рис. 1 вони позначені штрихом), за такою залежністю:

$$\frac{F_j}{Q_j} > I, \quad (34)$$

$$K_{ij} = \frac{a_i \cdot b_j \cdot \prod_{k=x+1}^{j-1} (H_k - b_k)}{\prod_{k=x+1}^{j-1} H_k}, \quad (35)$$

де F_j – кількість пасажирів, які проїжджають повз j -ї ЗП; Q_j – пасажирообмін j -го ЗП; I – інтервал руху автобусів у звичайному режимі сполучення.

Матриця міжзупиночних кореспонденцій була відновлена за залежністю [6]:

де a_i, b_j – кількість пасажирів, які ввійшли і вийшли на зупиночних пунктах маршруту відповідно; H_k – наповнення салону автобуса на k -му перегоні маршруту.

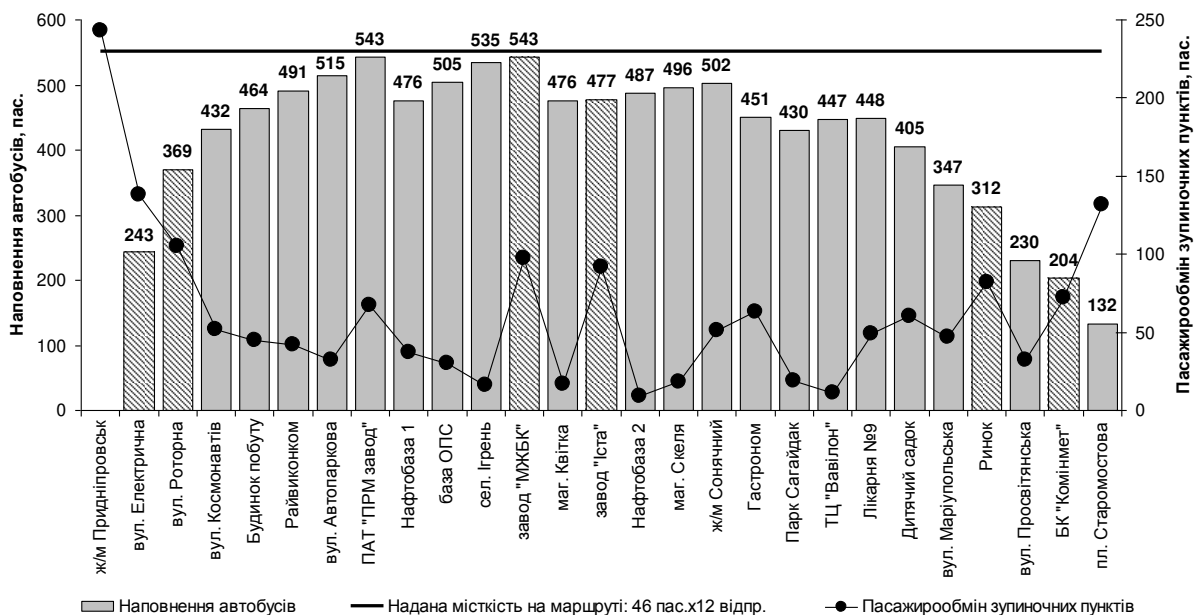


Рис. 2. Структура розподілу пасажиропотоків на маршруті № 70

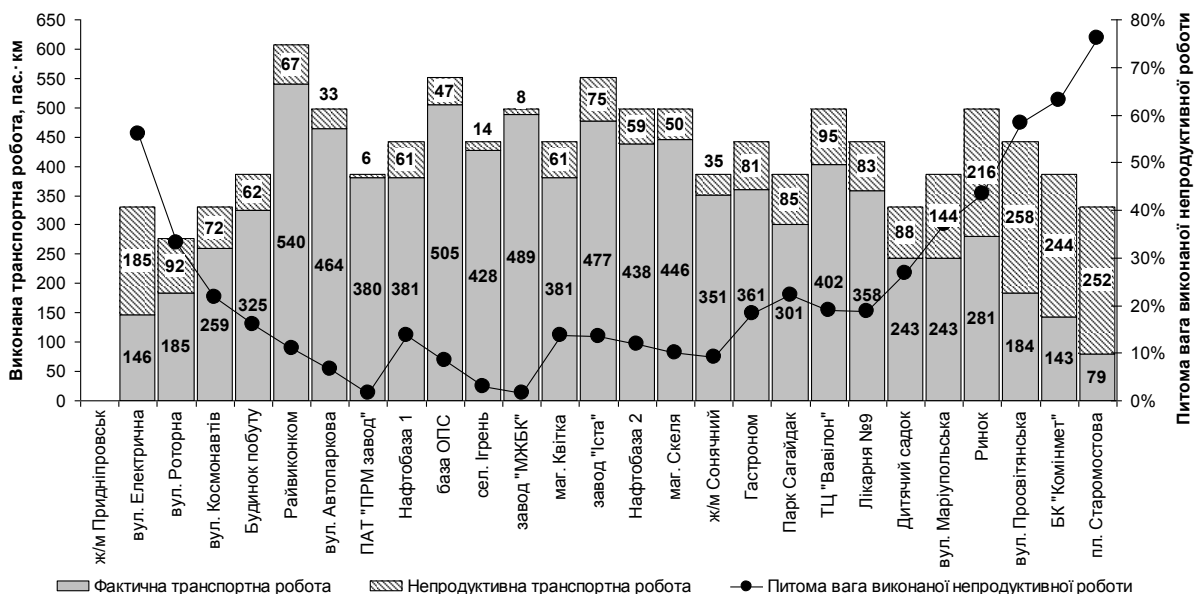


Рис. 3. Структура розподілу виконаної транспортної роботи на маршруті № 70

Слід зазначити, що в роботах багатьох дослідників [18–19] наводяться результати моделювання роботи маршруту із комбінованим режимом руху за умови незмінної загальної кількості автобусів, що працюють на маршруті:

$$\begin{aligned} A^{3B} + A^{\text{ШВ}} &= A = \text{const}; \\ A^{3B} \in [1; A]; \quad A^{\text{ШВ}} &= A - A^{3B}. \end{aligned} \quad (36)$$

Таким чином, унеможливується реалізація однієї із головних переваг від введення комбінованого режиму на маршруті – зменшення деякої кількості автобусів за рахунок підвищення провізної здатності маршруту. На підтвердження цього було здійснено моделювання роботи маршруту №70 за умови (36), результати розрахунків наведені на рис. 4.

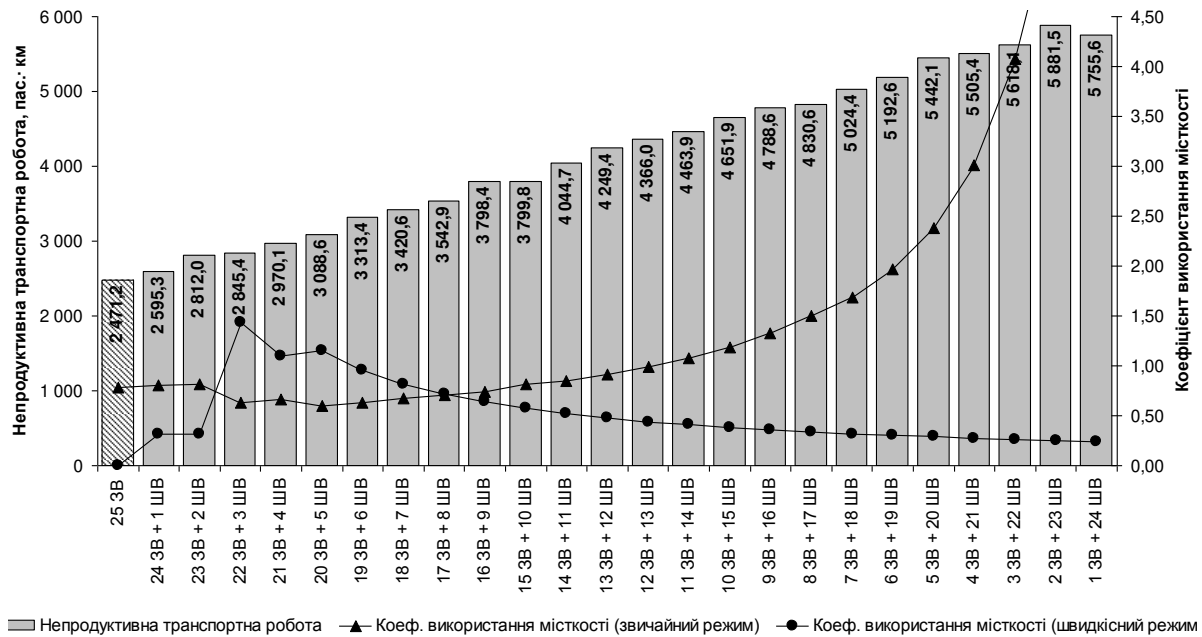


Рис. 4. Результати моделювання параметрів комбінованого режиму за умов незмінної кількості транспортних засобів

Аналіз рис. 4 засвідчує, що:

- введення комбінованих режимів сполучення без зміни кількості ТЗ, які працюють на маршруті, призводить до суттєвого збільшення непродуктивної транспортної роботи.
- значне зниження кількості ТЗ, які працюють в звичайному режимі, призводить до експоненціального зростання значення коефіцієнта використання місткості.

На думку авторів, моделювання необхідно здійснювати для декількох груп даних, в кожній з яких $A^{3B} = \text{const} \in A - 1$ (варіант $A^{3B} = A$ – відповідає звичайному режиму руху на маршруті), а $A^{\text{ШВ}} \in [1; A - A^{3B}]$. Наприклад, на маршруті №70 працюють 25 автобусів, отже, кількість співвідношень $(A^{3B}, A^{\text{ШВ}})$ для нього становить 300 варіантів. Розрахунок базових ТЕП для всіх цих варіантів було здійснено за допомогою розроб-

леного додатка у середовищі *Microsoft Excel*. Аналіз отриманих розрахунків визначає можливу область допустимих значень непродуктивної транспортної роботи W_N . Зверху ця область обмежується рівнем непродуктивної транспортної роботи, що визначає варіант організації перевезень на маршруті із використанням тільки звичайної форми сполучення (у прикладі, що розглядається (всі автобуси, що належать організації, працюють у звичайному режимі)), $W_N = 2 471,2$ пас.·км). Очевидно, що перевищення цієї межі, з точки зору обраного критерію ефективності $W_N \rightarrow \min$, організація швидкісних форм сполучення на маршруті є недоцільною.

Знизу ця область обмежується рівнем $W_N \geq 0$, оскільки за умов негативних значень W_N надана транспортна робота є меншою за необхідну. Для цих варіантів організація

швидкісних форм сполучення однозначно призведе до погіршення якості транспортного обслуговування, у цьому випадку середні значення коефіцієнтів використання місткості будуть значно перевищувати допустимий рівень ($\bar{\gamma} \gg 1$). Для скорочення кількості варіантів, що потребують подальшого аналізу, з кожної безлічі $A^{3B} = \text{const}$ був обраний один, який забезпечує $W_N \rightarrow \min$ (табл. 2).

Аналіз інформації, наведеної у табл. 2, свідчить про те, що скорочення непродуктивної транспортної роботи може бути досягнуто за умов різних варіантів організації швидкісних форм сполучення, в тому числі і таких, які неприйнятні за якістю транспортного обслуговування населення. Дійсно, реа-

лізувати на практиці процес перевезення на маршруті з наповненням автобусів $\gamma > 2$ практично неможливо, а найбільший економічний і соціальний ефект буде спостерігатися в тому випадку, коли коефіцієнти використання місткості за обома формами сполучення будуть прагнути до 1. До того ж необхідно враховувати і такий показник якості транспортного обслуговування, як загальні витрати пасажирів на переміщення.

Враховуючи все вищесказане, виникає необхідність в комплексній оцінці отриманих результатів на підставі узагальненого показника ефективності, що враховував би всі базові показники процесу перевезення.

Таблиця 2 – Кращі варіанти організації комбінованого швидкісного режиму за умови, якщо $W_N \rightarrow \min, W_N \geq 0$ (фрагмент)

Кількість автобусів		W_N , пас.·км	Коефіцієнт використання місткості		$\sum T$, год
A^{3B}	$A^{ШВ}$		γ^{3B}	$\gamma^{ШВ}$	
1	15	616,7	11,43	0,38	902,7
2	14	428,8	5,72	0,41	608,0
3	13	237,0	4,08	0,44	510,3
4	12	120,0	3,01	0,48	462,0
5	11	9,5	2,38	0,52	434,2
6	11	478,7	1,97	0,52	414,4
7	10	327,7	1,68	0,58	402,2
8	9	138,6	1,50	0,64	394,0
9	9	607,8	1,33	0,64	385,5
10	8	446,1	1,19	0,72	381,9
11	7	323,9	1,08	0,82	378,8
12	6	216,7	0,99	0,96	378,4
13	5	85,7	0,91	1,15	380,9
14	5	461,0	0,86	1,15	377,9

Як показник для оцінки i -го варіанта організації комбінованого (швидкісного) режиму сполучення автори пропонують використовувати такий критерій:

$$K^i = \begin{cases} 0, & \text{IF } K^i(\gamma) = 0 \\ K^i(W_N) + K^i(\gamma) + K^i(\sum T) \rightarrow \min, & \end{cases} \quad (37)$$

де $K^i(W_N)$ – показник, що враховує зниження непродуктивної транспортної роботи; $K^i(\gamma)$ – показник, який враховує оптимальне наповнення автобусів; $K^i(\sum T)$ – показник, який враховує зменшення витрат часу руху та очікування пасажирів.

Складові критерію (37) пропонується розраховувати за такими залежностями:

$$K^i(W_N) = \begin{cases} 1,00, & \text{IF } W_N^i = W_N^{\min} \\ 2,00, & \text{IF } W_N^i = W_N^{\max} \\ \left(1 + \frac{W_N^i - W_N^{\min}}{W_N^{\max} - W_N^{\min}} \right) & \end{cases} \quad (38)$$

$$K^i(\gamma) = \begin{cases} 0, & \text{IF } K^i(\gamma_{3B}^i) = 0 \text{ OR } K^i(\gamma_{ШВ}^i) = 0 \\ K(\gamma_{3B}^i) + K(\gamma_{ШВ}^i) & \end{cases} \quad (39)$$

$$K^i(\gamma_{3B}^i) = \begin{cases} 0, & \text{IF } \gamma_{3B}^i > 2 \\ \gamma_{3B}^i \cdot 100\%, & \text{IF } \gamma_{3B}^i > 1 \\ (1 + [1 - \gamma_{3B}^i]) \cdot 100\%, & \text{IF } \gamma_{3B}^i < 1 \end{cases} \quad (40)$$

$$K^i(\gamma_{ШВ}^i) = \begin{cases} 0, & IF \gamma_{ШВ}^i > 2 \\ \gamma_{ШВ}^i, & IF \gamma_{ШВ}^i > 1 \\ (1 + [1 - \gamma_{ШВ}^i]), & IF \gamma_{ШВ}^i < 1 \end{cases} \quad (41)$$

$$K^i(\sum T) = \begin{cases} 1,00, & IF \sum T^i = \sum T^{\min} \\ 2,00, & IF \sum T^i = \sum T^{\max} \\ \left(1 + \frac{\sum T^i - \sum T^{\min}}{\sum T^{\max} - \sum T^{\min}}\right) \end{cases} \quad (42)$$

Відповідно до запропонованої структури комплексного показника ефективності варіантів організації комбінованого режиму сполучення (37–42), його значення для «ідеальних» умов становить 4,00, а для найгіршого варіанту – 8,00. Результати розрахунків за (37)–(42) для маршруту, що розглядається, наведені на рис. 5 (кращі варіанти позначені штрихом).

Таким чином, найбільш раціональні показники процесу перевезення будуть досягнуті у разі використання на маршруті № 70 12 автобусів, які працюють у звичайному режимі, і 6, що працюють у швидкісному.

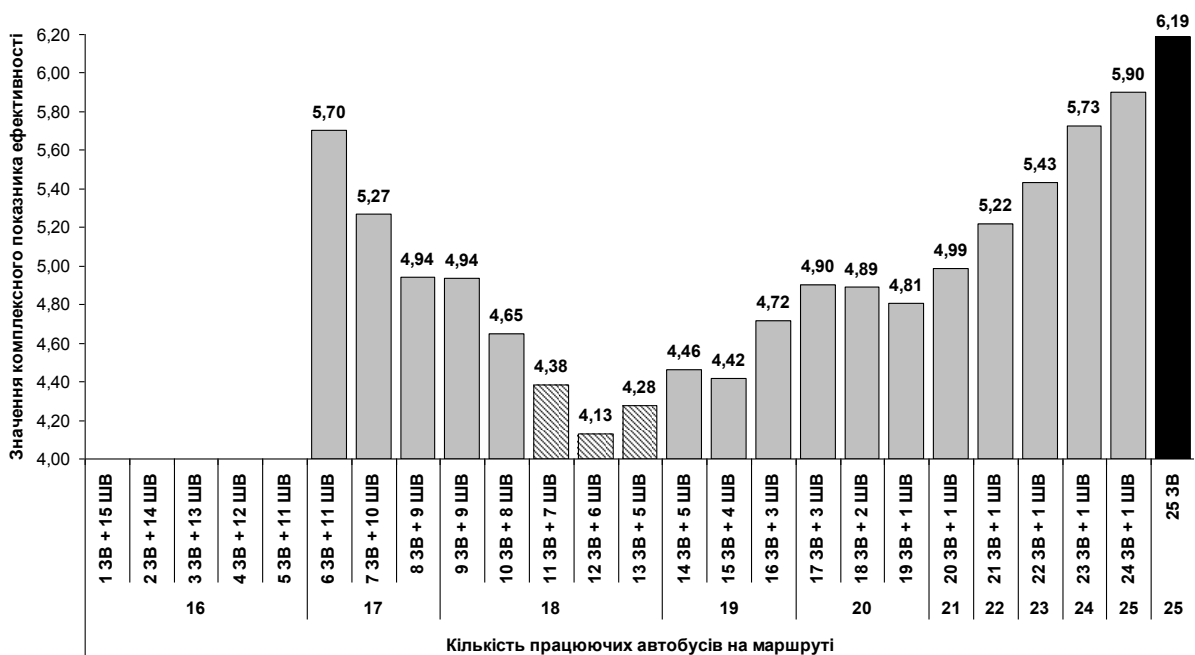


Рис. 5. Значення комплексного показника ефективності варіантів організації комбінованого (швидкісного) режиму сполучення на маршруті № 70

Висновки

У роботі проаналізовані методи вибору режиму руху автобусів із зазначенням їх сфери застосування, переваг та недоліків. На підставі запропонованих коефіцієнтів нерівномірності пасажиропотоків отримані зони попередньої оцінки доцільності організації відповідних форм сполучення на маршрутах, сформульовані критерії ефективності організації комбінованих форм сполучення.

Для реалізації процедури перерозподілу пасажирів між формами сполучення запропоновано метод, в основі якого лежить логічний аналіз двох матриць: матриці міжзупиночних кореспонденції і матриці норм часу проходження автобусів між зупиночними

пунктами. Розроблено економіко-математичну модель, що дозволяє досліджувати і визначати доцільність і раціональні параметри введення комбінованих швидкісних форм сполучення на окремому міському маршруті, запропоновано структуру комплексного показника ефективності, який дозволяє з багатьох варіантів вибрати найкращий та враховує основні економічні, технологічні та соціальні показники процесу перевезення пасажирів.

У роботі наведено результати моделювання для міського маршруту №70, організація комбінованого режиму на якому дозволить зменшити процес перевезення на 7 автобусів, а також зменшити непродуктивну транспор-

тну роботу з 2471,2 до 216,7 пас.·км та загальні витрати часу пасажирів на пересування з 385,6 до 378,4 год. і з 351,0 до 296,9 год. на рух.

Література

1. Таран І. А., Новицкий А. В., Литвин В. В. Выявление основных причин высокой себестоимости перевозочного процесса пассажиров на городских автобусных маршрутах г. Днепропетровска. *Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту»*. Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 235–238.
2. Доля В. К. Пасажирські перевезення: підручник. *Харьков: Форт*, 2011. 504 с.
3. Griskeviciene D., Griskevicius A. Public transport passenger's social problems and their solution. In: *Transport: Technologies, economics, environment, health: collective monograph*. Vilnius: Technika, 2003. P. 623–685.
4. Paulley N. et al. The demand for public transport: The effects of fares, quality of service, income and car ownership. *Transport Policy*, 2006. Vol. 13. No. 4. P. 295–306.
5. Mesjasz-Lech A. Development of public transport in the city – a challenge for urban logistics in terms of sustainable development. *Forum Scientiae Economic*, 2014. Vol. 2. No 4. P. 63–75.
6. Ігнатенко О. С. Організація автобусних перевезень у містах. *К.: ВТУ*, 1998. 196 с.
7. Silman L. A., Barzily Z., Passy V. Planning the Route System for Urban Buses. *Afinity*, 2009. Vol. 1. P. 36–39.
8. Ortuzar J. de D., Willumsen L. G. Modelling transport. *Fourth edition*. John Wiley & Sons Ltd, 2011. P. 586.
9. Антошвили М. Е., Либерман С. Ю., Антошвили М. Е. Оптимизация городских автобусных перевозок. *М.: Транспорт*, 1985. 102 с.
10. Burinskiene, M. Urban transport systems planning: monograph. *Vilnius: Technika*. 2005. P. 352.
11. White P. Public Transport: Its Planning, Management and Operation. *London: Routledge*, 2008. P. 240.
12. Варелопуло Г. А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте. *М.: Транспорт*, 1990. 208 с.
13. Таран, І. А., Литвин В. В. Обоснование нецелесообразности эксплуатации автобусов в режиме маршрутного такси на основании моделирования перевозочного процесса пассажиров с помощью программного комплекса «МВК». *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті: науковий журнал*, 2016. №1. С. 157–162.
14. Banister D. Transport Planning. *Spon Press*, 2002. P. 317.
15. Зильбербрандт Ю. Организация ускоренного и экспресс-сообщения в Сан-Франциско. *Автомобильный транспорт и перевозки*, 2004. № 11. С. 42–43.
16. Гульчак О. Д. Підвищення ефективності міських пасажирських перевезень на основі удосконалення організації руху автобусів: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Київ, 2005. 19 с.
17. Лежнева О. І. Ефективність експресних маршрутних перевезень пасажирів у найбільших містах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Харків, 2007. 18 с.
18. Вакуленко К. Є., Фалецька Г. І. Вибір режиму руху автобусів у міському сполученні. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*, 2014. Вип. 148(1). С. 176–181.
19. Taha H. A. Operations Research: An Introduction. *10th. Pearson*. 2017. P. 830.
20. Таран І. А., Новицкий А. В., Литвин В. В. Разработка методики оптимальной организации скоростных форм сообщения на городских автобусных маршрутах. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*, 2015. Вип. 160. С. 244–255.

References

1. Taran, I. A. & Novitsky, A. V. & Litvin, V. V. (2015). Vyiyavlenie osnovnyih prichin vyisokoy sebestoimosti perevozhnoy protsessy passazhirov na gorodskih avtobusnyih marshrutah g. Dnepropetrovska [Identification of the main reasons for the high cost of transportation of passengers on city bus routes in Dnepropetrovsk]. Proceedings from Modern technologies and prospects of motor transport development: *VIII Mizhnarodna nauko-vo-praktichna konferentsiya (19–21 zhovtnya 2015) – 8nd VIII International scientific-practical conference*. (pp. 235–238). Vinica: VinNTU [in Ukrainian].
2. Dolya, V. K. (2011). *Pasazhirski perevezennya [Passenger transportation]*. Kharkiv: Fort [in Ukrainian].
3. Griskeviciene, D. & Griskevicius, A. Public transport passenger's social problems and their solution. In: *Transport: Technologies, economics, environment, health: collective monograph*. Vilnius: Technika. 2003. P. 623–685.
4. Paulley, N. & et al. The demand for public transport: The effects of fares, quality of service, income and car ownership. *Transport Policy*. 2006. Vol. 13. No. 4. P.295–306.
5. Mesjasz-Lech, A. Development of public transport in the city – a challenge for urban logistics in terms of sustainable development. *Forum Scientiae Economic*. 2014. Vol. 2. No 4. P. 63–75.
6. Ignatenko, A. S. & Marunich, V. S. (1998). *Organizatsiya avtobusnih perevezhen u mistah [Organization of bus transportation in cities]*. Kiev: NTU [in Ukrainian].

7. Silman, L. A. & Barzily, Z. & Passy V. Planning the Route System for Urban Buses. *Afinity*. 2009. Vol. 1. P. 36–39.
 8. Ortuzar, J. de D. & Willumsen L. G. Modelling transport. Fourth edition. *John Wiley & Sons Ltd*. 2011. P. 586.
 9. Antoshvili, M. E. & Liberman, S. Yu. & Spirin, I.V. (1985). *Optimizatsiya gorodskih avtobusnyih perevozok [Optimization of city bus transport]*. Moscow: Transport [In Russian].
 10. Burinskiene, M. Urban transport systems planning: monograph. *Vilnius: Technika*. 2005. P. 352.
 11. White, P. Public Transport: Its Planning, Management and Operation. London: Routledge. 2008. P. 240.
 12. Varelopulo G. A. (1990). Organizatsiya dvizheniya i perevozok na gorodskom passazhirskom transporte [The organization of movement and traffic on urban passenger transport]. Moscow: Transport [In Russian].
 13. Taran, I. A. & Novitsky, A. V. & Litvin. (2015). Obosnovanie netselesoobraznosti ekspluatatsii avtobusov v rezhime marshrutnogo taksi na osnovanii modelirovaniya perevozochного protsessа passa-zhirov s pomoschyu programmного kompleksа «MVK» [Substantiating inexpediency to use buses in the mode of route taxis on the basis of passenger transportation modeling with the help of MVK software]. *Suchasni tehnologiyi v mashinobuduvanni ta transporti. – Modern technologies for machine-building and transport, 1*, 157–162 [in Ukrainian].
 14. Banister, D. Transport Planning. *Spon Press*. 2002. P. 317.
 15. Zilberbrandt, Yu. (2004). Organizatsiya uskorenного i ekspress-soobscheniya v San-Frantsisko [Organization of the accelerated and express transportation in San Francisco]. *Avtotransport i perevozki. – Vehicles and transportation, 11*, 42–43 [In Russian].
 16. Gulchak, O. D. (2005). Pidvischennya efektyvnosti miskih pasazhirskih perevezen na osnovi udoskonalennya organizatsiyi ruhu avtobusiv [Improving the efficiency of urban passenger transportation on the basis of the advanced bus traffic management]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
 17. Lezhneva, O. I. (2007). Efektivnist ekspresnih marshrutnih perevezen pasazhiriv u naybilshih mistah [Efficiency of express route transportation of passengers in the largest cities]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kharkiv [in Ukrainian].
 18. Vakulenko, K. E. & Faletska, G.I. (2014). Vibir rezhimu ruhu avtobusiv u miskomu spoluchenni [Choosing the movement of buses on urban routes]. *Zbirknik naukovih prats UDART. – Collection of scientific works of the USART, 148, 1*, 176–181 [in Ukrainian].
 19. Taha, H. A. Operations Research: An Introduction. *10th. Pearson*. 2017. P. 830.
 20. Taran, I. A. & Novitsky, A.V. & Litvin. (2015). Razrabotka metodiki optimalnoy organizatsii skorostnyih form soobscheniya na gorodskih avtobusnyih marshrutah [Development of methods for the optimal implementation of high-speed transportation types within urban bus routes]. *Visnik HhNTUSG im P. Vasilenka. – Bulletin of KhNTU of Agriculture named after P. Vasilenko, 160*, P. 244–255.
- Таран Ігор Олександрович**, д.т.н., проф. каф. управління на транспорті, taran7077@gmail.com, тел. +38066-418-67-89,
- Литвин Вадим Вікторович**, ст. викл. каф. управління на транспорті, litvin.v.v.79@gmail.com, тел. +38050-453-20-25,
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 49005, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького 19.
- Методика расчета и оценка эффективности комбинированного режима движения на городских автобусных маршрутах**
Аннотация. В работе рассмотрены вопросы усовершенствования технологии перевозочного процесса пассажиров за счет организации на городских автобусных маршрутах комбинированного режима сообщения. Разработана экономико-математическая модель, которая позволяет исследовать и определять целесообразность и рациональные параметры ввода комбинированных скоростных форм сообщения. Представлены результаты моделирования и оценка эффективности введения скоростного сообщения на городском маршруте №70 (г. Днепр).
Ключевые слова: комбинированный режим, непродуктивная транспортная работа, пассажиропоток, интервал, коэффициент использования вместимости, матрица межостановочных корреспонденций.
- Таран Игорь Александрович**, д.т.н., проф. каф. управления на транспорте, taran7077@gmail.com, тел. +38066-418-67-89,
- Литвин Вадим Викторович**, ст. преп. каф. управления на транспорте, litvin.v.v.79@gmail.com, тел. +38050-453-20-25.
Национальный технический университет «Днепро́вская политехника», 49005, г. Днепр, пр. Д. Яворницького 19.
- Methods to calculate and evaluate the efficiency of combined traffic mode in the context of urban bus routes**
Problem. Despite certain governmental support, the efficiency of urban passenger transport remains low under the current inflation. Improved economic feasibility of AOCs is possible if only combined operation mode for buses is implemented. Implementation of the measure results in the accelerated transportation, efficient use of road transport vehicles, and transportation services as well as significant

reduction in combustible and lubrication materials, and current repair and maintenance of buses. However, lack of uniform methodology and reliable substantiation techniques, neglected basic economic and social factors of transportation process as well as high labour intensity of the available developments complicate seriously determination of rational parameters of the combined transportation forms implementation hindering their wide use. **Goal** is to develop methods as well as economic and mathematical model making it possible to study and determine both expediency and rational parameters of implementation of combined speedy transportation forms in terms of certain urban route using the selected efficiency criteria. To estimate the modeling results, it is also required to develop a structure of the efficiency complex index while implementing combined transportation forms which would involve basic economic, technologic, and social components of passenger transportation process. **Methodology.** The paper has applied calculation and experimental approaches. With the help of mathematical modeling, calculation technique has analyzed the effect of different ratios of buses, involved in customary and speedy transportation forms, on the estimation criterion of the combined transportation mode efficiency. Experimental technique studied characteristics of passenger flows within a route, determined average distances of passenger trips, turnover coefficient, and transportation velocity for various types of bus traffics. **Results.** The proposed nonequilibrium passenger flow coefficient made it possible to obtain zones of preliminary estimation of expediency to implement corresponding transportation forms within certain routes. Efficiency criteria to implement such com-

bined transportation forms have been formulated. A structure of complex efficiency index has been proposed helping select the best variant of numerous ones while involving basic economic, technological, and social indices of passenger transportation process. **Originality.** To implement a procedure of passenger number redistribution between customary transportation type and speedy one (depending upon the number of buses of corresponding form), a technique has been proposed. The technique is based upon logic analysis of the two matrices: a matrix of interstop correspondence, and a standard time matrix for buses to travel between stopping points of their route. **Practical value.** Rational parameters to implement the combined transportation type in terms of urban route 70 (city of Dnipro) substantiating release of 7 buses from transportation process and making it possible to reduce unproductive transportation from 2 471.2 down to 216.7 pas. ·km as well as transportation passenger time consuming from 385.6 down 378.4 hours (including transportation time reduce from 351.0 down to 296.9 hours).

Key words: combined transportation mode, unproductive transportation, passenger traffic, traffic interval; capacity use coefficient, inter-stop communication matrix.

Taran Igor, Doctor of Science in Technology, Professor, Head of Transport Management Department, taran7077@gmail.com, tel.+38066-418-67-89,

Litvin Vadim, senior lecturer of Transport Management Department, National Technical University «Dnipro Polytechnic», 19 D.Yavornytsky Ave., Dnipro, 49005, Ukraine.