

Вадим Литвин, Ігор Таран, Юрій Монастирський, Ірина Клименко

¹. Старший викладач, Кафедра управління на транспорті, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1572-9000>.

². Професор, Кафедра управління на транспорті, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3679-2519>.

³. Професор, Кафедра управління на транспорті, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8282-3929>.

⁴. Доцент, Кафедра управління на транспорті, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6263-0951>

* Автор, відповідальний за листування: klymenkoii@gmail.com

ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ОЦІНКА ЗАПРОВАДЖЕННЯ ЕКСПРЕСНОГО РЕЖИМУ РУХУ АВТОБУСІВ НА МІСЬКИХ МАРШРУТАХ м. ДНІПРО

Робота присвячена розв'язанню актуального наукового завдання щодо обґрунтування раціональних параметрів експресного режиму руху на міських автобусних маршрутах. Цей захід дозволяє скоротити витрати часу пасажирів на пересування, підвищити ступінь використання транспортних засобів, сприяє суттєвому скороченню витрат на паливо та зниженню кількості шкідливих викидів в атмосферу міста. Аналіз існуючих методів та підходів до організації експресного режиму руху автобусів у міському сполученні дозволив встановити, що вони не повною мірою враховують зацікавленості усіх учасників перевізного процесу або мають вузьку область застосування. Саме ці факти суттєво обмежують широке впровадження експресного режиму, незважаючи на його значний потенціал щодо підвищення ефективності міських пасажирських перевезень.

Встановлено умови доцільності впровадження експресного режиму руху автобусів на міських маршрутах, виходячи з параметрів пасажиропотоку. Розроблений метод формування переліку зупинних пунктів, що мають обслуговуватись автобусами, які працюють у експресному режимі руху, враховує нерівномірність пасажиропотоку та відповідно інтервалів руху автобусів протягом доби. Розроблений метод визначення раціональних параметрів експресного режиму руху на міських автобусних маршрутах, виходячи з економічних, соціальних та екологічних показників ефективності перевізного процесу враховує динамічний розподіл пасажирських кореспонденцій між звичайним та експресним маршрутом залежно від кількості автобусів і переліку зупинних пунктів експресного маршруту. Була виконана техніко-експлуатаційна оцінка запровадження експресного режиму руху автобусів на міському маршруті №70 м. Дніпро.

Ключові слова: експресний режим, пасажиропотік, маршрут, перерозподіл кореспонденцій, довжина перегону, наповнення автобусів, швидкість сполучення, транспортні витрати.

Вступ. У сучасних умовах більшість значних та найзначніших міст України відчувають істотні проблеми, які пов'язані з ростом транспортних витрат населення внаслідок військової агресії російської федерації проти нашої країни. Незважаючи на певну бюджетну підтримку,

війна, що триває в країні, призводить до постійного зростання витрат на паливно-мастильні матеріали, ремонт та обслуговування транспортних засобів. Внаслідок цього ефективність роботи міського автобусного пасажирського транспорту залишається недостатньою та призводить до збитковості або низької рентабельності більшості автотранспортних підприємств. У цих складних економічних умовах основним завданням автотранспортних підприємств є виявлення таких варіантів організації перевезень на маршрутах, які призводили б до мінімальних витрат, максимальної продуктивності транспортних засобів, але разом з тим враховували б можливість перевезення пасажирів із заданими показниками якості. Одним із ефективних способів вирішення наведених вище завдань є організація на міських автобусних маршрутах експресного режиму руху. Цей захід дозволяє скоротити витрати часу пасажирів на пересування, підвищити ступінь використання автобусів і рівень транспортного обслуговування населення. Оскільки експресні автобуси мають меншу кількість зупинок на шляху прямування, вони менше здійснюють гальмувань і розгонів, що сприяє суттєвому скороченню витрат на паливно-мастильні матеріали, поточний ремонт і технічне обслуговування, а також знижує кількість шкідливих викидів в атмосферу міста [1].

Слід зауважити, що запровадження експресного режиму руху автобусів на міських маршрутах дозволяє досягти значного економічного та соціального ефекту без збільшення кількості автобусів на маршруті. Навпаки, з'являється можливість зняти з маршруту частину автобусів без погіршення якості транспортного обслуговування пасажирів [2]. Незважаючи на зазначені переваги експресний режим руху не набув широкого застосування у містах України (на відміну від країн Європейського Союзу [3-6]) в першу чергу через відсутність єдиної методології за допомогою якої можна визначити його раціональні параметри [7]. Слід також зазначити, що реорганізація режимів руху із використанням експресного сполучення визначено як невідкладний захід у Концепції розвитку наземного пасажирського транспорту м. Дніпро на 2017-2020 рр [8].

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Відповідно до Закону України «Про автомобільний транспорт» перевезення пасажирів на автобусному маршруті загального користування може здійснюватися у трьох режимах руху: звичайному, експресному і режимі маршрутного таксі [9]. Нормативне визначення експресного режиму руху за [9] на завжди може врахувати всі варіанти нерівномірності пасажиропотоків на міських автобусних маршрутах. Тому багато дослідників [10-12] використовують поняття технологічного режиму руху, розподіляючи експресний режим за [9] на: експресний, напівекспресний, швидкісний та скорочений (рис. 1).

Одночасне застосування на одному маршруті декількох режимів руху автобусів утворює комбінований режим руху. Найбільш ефективним комбінованим режимом є режим руху із використанням звичайного (позупинкового) та експресного сполучення, який дозволяє збільшити швидкість сполучення, скоротити витрати часу пасажирів на пересування, підвищити ступінь використання транспортних засобів. Останній ефект призводить до зменшення собівартості перевезень та підвищення рентабельності роботи АТП.

В останні десятиріччя питанням організації раціональних режимів руху на автобусних маршрутах присвячені праці таких вітчизняних науковців Гульчак О.Д. [13], Ламбуцький М.М., Лежнева О.І. [14], Вакуленко К.Є. [15], Шпильований І.Ф., Вдовиченко В.О. [16], Біліченко В.В. [17], Яцківський Л.Ю., Кристопчук М.Є та ін. Аналіз їх наукових робіт дозволив встановити, що існуючі розробки або не повною мірою враховують зацікавленості всіх учасників процесу перевезень, або мають вузьку сферу застосування. Саме ці чинники суттєво обмежують широке впровадження експресного режиму, незважаючи на його значний потенціал щодо підвищення ефективності міських пасажирських перевезень. На основі виконаного аналізу встановлена потреба у розробці методу визначення раціональних параметрів експресного режиму руху на міських автобусних маршрутах, який дозволить підвищити

енергоресурсну ефективність роботи міських автобусів, ступінь використання транспортних засобів, підвищити швидкість сполучення та скоротити витрати часу пасажирів на пересування.

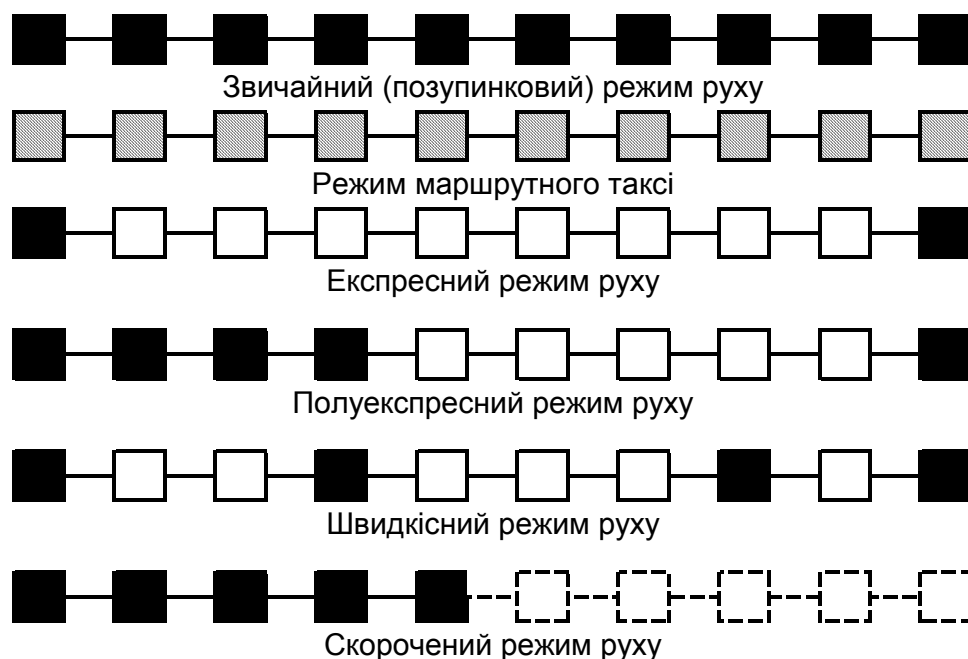


Рис. 1. Можливі технологічні режими руху на міських маршрутах [10]

У роботі [7] розроблено метод визначення раціональних параметрів експресного режиму руху на міських автобусних маршрутах, виходячи з економічних, соціальних та екологічних показників ефективності перевізного процесу, який враховує динамічний розподіл пасажирських кореспонденцій між звичайним та експресним маршрутом залежно від кількості автобусів і переліку зупинних пунктів експресного маршруту. Також була запропонована структура комплексного показника оцінки ефективності застосування експресного режиму руху, що враховує величину транспортної роботи, рівень заповнення автобусів та витрати часу пасажирів на пересування.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є отримання кількісної техніко-експлуатаційної оцінки впливу запровадження експресного режиму руху автобусів на обраному міському маршруті м. Дніпро. Для реалізації мети дослідження необхідно провести обстеження пасажиропотоків на маршруті; розрахувати техніко-експлуатаційні показники процесу перевезення пасажирів; обґрунтувати доцільність впровадження експресного режиму руху; визначити переліки зупинних пунктів, які повинні увійти до складу експресного маршруту, визначити раціональні параметри експресного маршруту; виконати техніко-експлуатаційну оцінку впливу від запровадження експресного режиму руху автобусів.

Матеріали та методи дослідження. Яко об'єкт дослідження був обраний міський маршрут №70 (ж/м Придніпровськ – пл. Старомостова). На маршруті експлуатуються 25 автобусів Богдан А092 місткістю $q_n=46$ пасажирів у звичайному режимі. Основні характеристики маршруту №70 наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Основні характеристики маршруту №70

Найменування показника	Значення
Довжина маршруту L_m , км	20,4
Тривалість рейсу t_p , хв.	63
Швидкість сполучення V_c , км/год.	21,1
Експлуатаційна швидкість V_e , км/год.	19,4
Кількість зупинок $n_{зуп}$, од.	27
Інтервал руху автобусів I (ранкова година «пік»), хв.	5
Надана місткість на маршруті $Q_{надана}$ (ранкова година «пік»), пас.	552

Обстеження пасажиропотоків на маршруті №70 були проведені за допомогою табличного методу (із використанням програмного продукту «TransitWand» [18]) у ранкову годину «пік» для прямого (найбільш завантаженого) напрямку ж/м Придніпровськ → пл. Старомостова. На рис. 2 наведено сумісний аналіз епюри пасажиропотоків за перегонами маршруту $H_{j,j+1}$ та пасажирообміну на зупинних пунктах Q_j , який свідчить, що надана місткість на маршруті $Q_{надана}$ є достатньою для освоєння пасажиропотоків на найбільш завантаженій ділянці маршруту $Q_{надана} > H_{max}$, а пасажирообмін зупинних пунктів характеризується значною нерівномірністю.

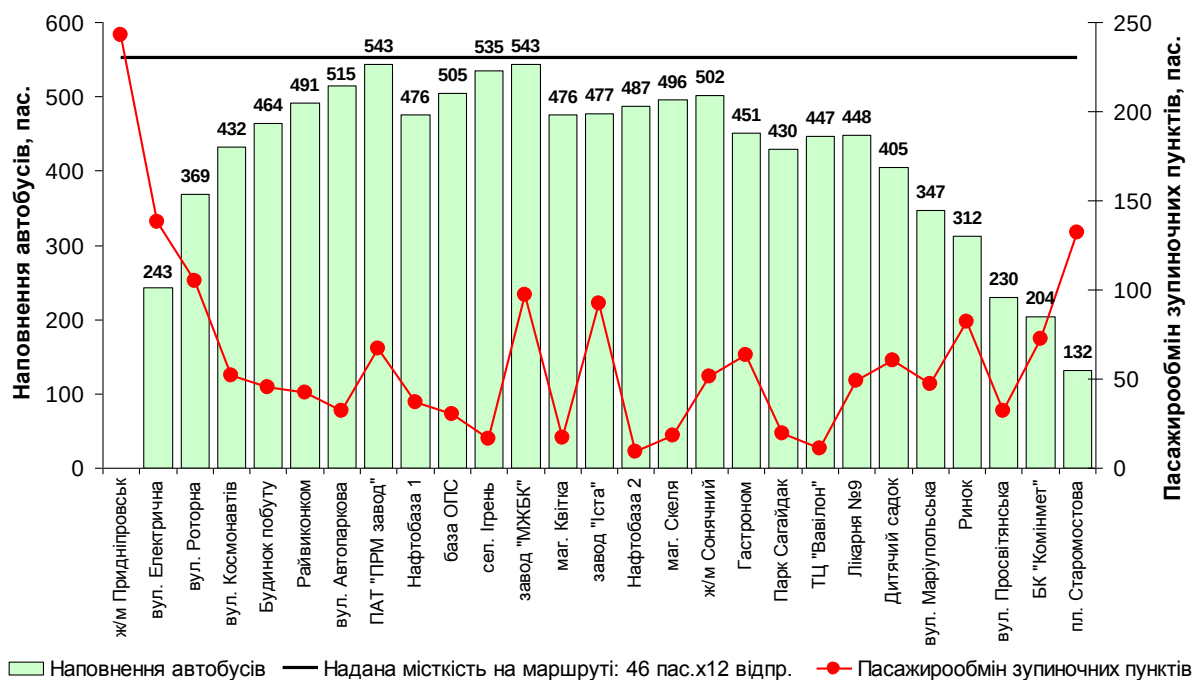


Рис. 2. Сумісний аналіз епюри пасажиропотоків та пасажирообміну на зупинних пунктах

З іншого боку випуск на маршрут такої кількості автобусів, яка забезпечує освоєння максимального пасажиропотоку лише на найбільш завантаженому перегоні маршруту, призводить до їх недовикористання на інших перегонах маршруту, що призводить до зниження коефіцієнта використання місткості автобусів, а відповідно збільшує собівартість перевезень. Структура розподілу транспортної роботи на маршруті наведена на рис. 3, аналіз якого свідчить, що на переважній більшості перегонів маршруту питома вага непродуктивної

транспортної роботи W_N (1) становить від 10 до 70%. Взагалі на маршруті потенційна транспортна робота $P_{\text{потенційна}}$ становить 11 260,8 пас.·км (2), а фактична $P_{\text{фактична}}$ (за результатами обстеження) – 8 789,6 пас.·км. Таким чином, W_N дорівнює 2 471,2 пас.·км., що становить 23% від $P_{\text{потенційна}}$, що суттєво знижує ефективність роботи автобусів.

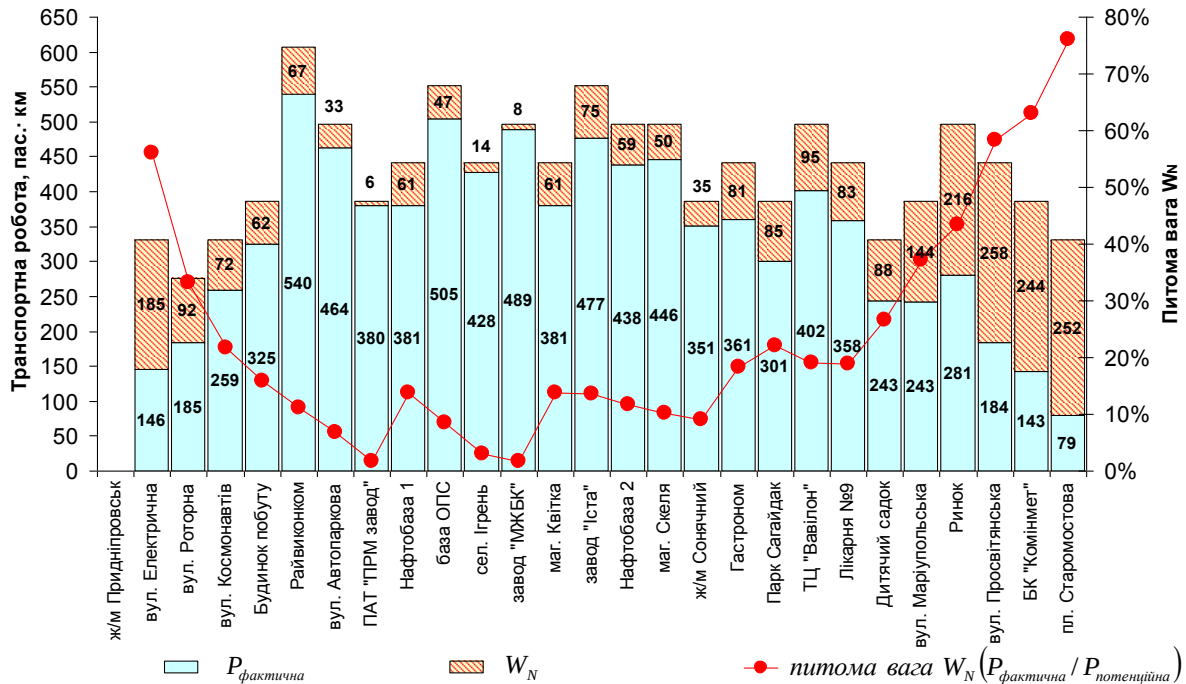


Рис. 3. Структура розподілу транспортної роботи на маршруті №70

$$W_N = P_{\text{потенційна}} - P_{\text{фактична}}, \quad (1)$$

$$P_{\text{потенційна}} = q_n \cdot L_m \cdot \psi; \quad (2)$$

Але, зменшення кількості автобусів на маршруті призведе до понад нормованого наповнення транспортних засобів і навіть до відмови пасажирів у посадці, що призведе до зниження якості транспортного обслуговування. Таким чином виникає потреба у запровадженні на маршруті №70 комбінованого режиму руху із експресним сполученням, який дозволить вивільнити частину транспортних засобів (за рахунок збільшення їх провізної здатності) та зменшити загальні витрати пасажирів на поїздку (за рахунок збільшення швидкості сполучення автобусів).

Також за результатами проведеного обстеження було встановлено, що: величина максимального пасажиропотоку на маршруті становить $H_{\text{max}} = 543$ пас.; середнього пасажиропотоку – $H_{\text{сер}} = 421,5$ пас.; середня довжина поїздки пасажирів – $l_{\text{сер}} = 10,6$ км; коефіцієнт змінюваності пасажирів – $\eta_{\text{зм}} = 1,92$. Розраховані за (3-4) значення нормованих коефіцієнтів змінності $k_{\text{зм}}$ та нерівномірності пасажиропотоків на ділянках маршруту $k_{\text{дл}}$ (які визначають умови організації відповідних режимів руху на автобусних маршрутах [2]) становлять 0,52 та 0,77 відповідно, що підтверджує доцільність запровадження на маршруті №70 комбінованого режиму із експресним сполученням (рис. 4).

$$k_{зм} = \frac{1}{\eta_{зм}} = \frac{1}{1,92} = 0,52; \quad (3)$$

$$k_{діл} = \frac{1}{\eta_{діл}} = \frac{H_{сер}}{H_{max}} = \frac{421,5}{543} = 0,78. \quad (4)$$

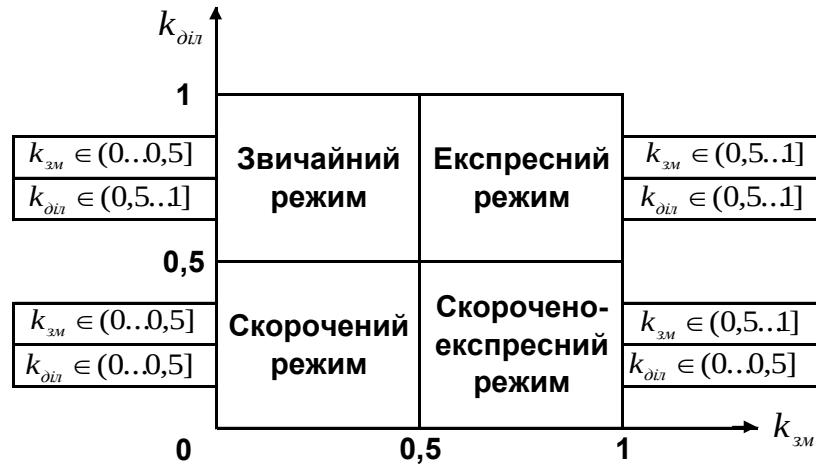


Рис. 4. Умови доцільності організації режимів руху на автобусних маршрутах [2]

На підставі запропонованого у роботі [1] методу визначення зупинних пунктів, що мають обслуговуватись автобусами з експресним режимом руху, який, на відміну від існуючих, враховує зміну інтервалів руху автобусів протягом доби (5-7) було сформовано три варіанти експресного маршруту, який складається із $Z_1 = 8$, $Z_2 = 13$ та $Z_3 = 16$ зупинок (рис. 5):

- $Z_1(F_j/Q_j < I)$ – 8 зупинних пунктів:

1→2→3→12→14→24→26→27;

- $Z_2(F_j/Q_j < 1,5I)$ – 13 зупинних пунктів:

1→2→3→8→12→14→18→22→24→23→25→26→27;

- $Z_3(F_j/Q_j < 2I)$ – 16 зупинних пунктів:

1→2→3→4→8→12→14→17→18→21→22→24→23→25→26→27.

$$Z_1 \in \left(\frac{F_j}{Q_j} < I \right); \quad (5)$$

$$Z_2 \in \left(\frac{F_j}{Q_j} < 1,5I \right); \quad (6)$$

$$Z_3 \in \left(\frac{F_j}{Q_j} < 2I \right), \quad (7)$$

де F_j – кількість пасажирів, які проїжджають повз j -ї зупинки, пас.:

$$F_j = H_{j-1,j} - B_j. \quad (8)$$

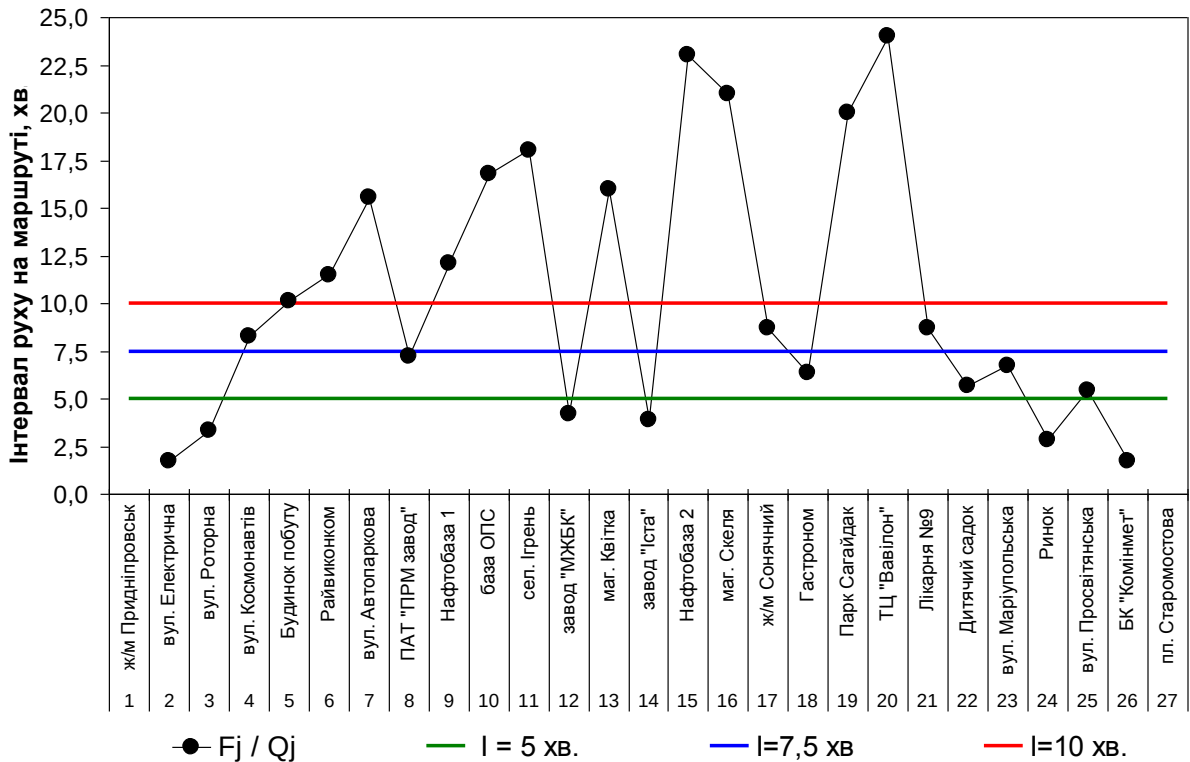


Рис. 5. Визначення варіантів експресного маршруту

У роботі [7] був запропонований метод визначення раціональних параметрів експресного режиму руху на міських автобусних маршрутах, що враховує динамічний розподіл пасажирських кореспонденцій між звичайним та експресним маршрутом залежно від кількості автобусів і переліку зупинних пунктів експресного маршруту. Сутність визначення раціональних параметрів такого режиму полягає в математичному моделюванні процесу перевезень на маршруті, у результаті якого розраховуються складові моделей (9) та (10) для визначених за (5-7) комбінацій зупинних пунктів експресного маршруту і кількості автобусів, які працюють у звичайному (A^{3B}) та експресному режимах (A^E). Надалі на підставі сформованого критерію обираються такі параметри роботи маршруту, які характеризуються максимальною ефективністю та якістю перевезень.

$$W_N \rightarrow \min; W_N \geq 0; A_{\text{після}} < A_{\text{до}} = \sum A_i; \gamma_i \in [\gamma_{\min} \dots \gamma_{\max}]. \quad (9)$$

$$\sum T \rightarrow \min; A_{\text{до}} = A_{\text{після}} = \sum A_i; A_{\min}^{3B} = t_{\text{об}}^{3B} / I_{\max}^{\text{доп}}. \quad (10)$$

де $A_{\text{до}}$, $A_{\text{після}}$ – загальна кількість автобусів на маршруті, що працюють до та після впровадження експресного режиму руху відповідно;

A_i – кількість автобусів, які працюють у i -му режимі руху;

$\sum T$ – сумарні витрати часу пасажирів на пересування по маршруту, год.;

$A_{\min}^{3B}$ – мінімально допустима кількість автобусів, які працюють у звичайному режимі за умови не перевищення максимально допустимого інтервалу руху;

$t_{об}^{3B}$ – тривалість оберту автобусів, які працюють у звичайному режимі, хв.;

$I_{\max}^{доп}$ – максимально допустимий інтервал руху автобусів, хв.; γ_i – коефіцієнт використання місткості автобусів, які працюють у i -му режимі руху, а $[\gamma_{\min} \dots \gamma_{\max}]$ його мінімальне та максимальне значення відповідно до умов економічної доцільності та базових вимог щодо якості перевезень пасажирів.

Відповідно до обмеження стосовно неперевищення максимально допустимого інтервалу руху звичайними автобусами, моделювання необхідно здійснювати для декількох груп даних, у кожній з яких:

$$\begin{cases} A^{3B} = \text{const} \in [A_{\min}^{3B}; A-1]; \\ A^E \in \text{var}[1; A-A^{3B}]. \end{cases} \quad (11)$$

Змінюючи комбінацію зупинних пунктів експресного маршруту Z_i та кількість автобусів, які працюють у звичайному A^{3B} та експресному A^E режимах, можна отримати множину значень W_N , яка була обрана як головний критерій ефективності перевезень:

$$\left| \begin{array}{l} W_N^{Z_i}(A^{3B} = A_{\min}^{3B}, A^E = 1), \dots W_N^{Z_i}(A^{3B} = A_{\min}^{3B}, A^E = A - A^{3B}) \\ W_N^{Z_i}(A^{3B} = A_{\min}^{3B} + 1, A^E = 1), \dots W_N^{Z_i}(A^{3B} = A_{\min}^{3B} + 1, A^E = A - A^{3B}) \\ W_N^{Z_i}(A^{3B} = A_{\min}^{3B} + 2, A^E = 1), \dots W_N^{Z_i}(A^{3B} = A_{\min}^{3B} + 2, A^E = A - A^{3B}) \\ W_N^{Z_i}(A^{3B} = A_{\min}^{3B} + 3, A^E = 1), \dots W_N^{Z_i}(A^{3B} = A_{\min}^{3B} + 3, A^E = A - A^{3B}) \\ \dots \dots \dots \\ W_N^{Z_i}(A^{3B} = A - 1, A^E = 1), \dots W_N^{Z_i}(A^{3B} = A - 1, A^E = A - A^{3B}) \end{array} \right|. \quad (12)$$

Враховуючи, що на маршруті №70 експлуатується 25 автобусів, а $A_{\min}^{3B} = 6$, то за прийнятими умовами моделювання було розраховано по 190 варіантів організації комбінованого режиму для кожного Z_i , а загальна їх кількість (з урахуванням Z_1 , Z_2 та Z_3) становила 570 варіантів.

Надалі з множини $W_N = f(Z_i, A_i^{3B}, A_i^E)$ за умов $A_i^{3B} = \text{const}$ та $Z_i = \text{const}$ для подальшого дослідження обирається один варіант, який забезпечує $W_N \rightarrow \min$ при $W_N \geq 0$. Для комплексної оцінки отриманих i -х варіантів комбінованого режиму з експресним сполученням запропоновано використовувати критерій, який додатково враховує якість перевезення: $\gamma_i^E < 1,5$; $\gamma_i^{3B} < 1,5$; $\sum T \rightarrow \min$; та додатковий економічний ефект, який буде спостерігатися у випадку мінімальної різниці в умовах роботи обох режимів і прагнення коефіцієнтів використання місткості автобусів до $\gamma^{3B} \rightarrow 1$ та $\gamma^E \rightarrow 1$:

$$K_i^{\text{компл}} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_i(\gamma) = 0 \\ K_i(W_N) + K_i(\gamma) + K_i(\sum T), & \text{якщо } K_i(\gamma) > 0 \end{cases} \rightarrow \min, \quad (13)$$

де $K_i(W_N)$ – показник, який враховує зменшення W_N ;

$K_i(\gamma)$ – показник, який враховує наповнення автобусів;

$K_i(\sum T)$ – показник, який враховує зменшення загальних витрат часу пасажирів на пересування.

Розрахункові залежності складових критерію (13) наведені у роботах [1-2, 7]. Розроблений алгоритм методу визначення раціональних параметрів експресного режиму руху наведений на рис. 6.

За результатами виконаного математичного моделювання було встановлено, що максимальна ефективність процесу перевезення пасажирів на маршруті №70 може бути досягнута при таких двох варіантах комбінованого режиму з експресним сполученням: $(Z_1=8, A^{3B}=12, A^E=6)$ та $(Z_2=13, A^{3B}=8, A^E=10)$. Це дозволить вивільнити 7 автобусів, на 89% скоротити W_N , зменшити загальні витрати пасажирів на пересування на 6%, підвищити швидкість сполучення та коефіцієнт використання місткості автобусів сполучення на 15 і 24% відповідно. Комплексна оцінка параметрів експресного режиму руху автобусів на маршруті №70 з позиції технологічної ефективності перевезень наведена у таблиці 2. Враховуючи, що комбіновані режими, які досліджувалися, утворюються поєднанням звичайного та експресного сполучення, загальні ТЕП по маршруту були розраховані, як середньозважені значення відповідно до кількості звичайних та експресних рейсів:

$$ТЕП = \frac{ТЕП^{3B} \cdot \psi^{3B} + ТЕП^E \cdot \psi^E}{\psi^{3B} + \psi^E}. \quad (14)$$

Аналіз інформації, яка наведена у таблиці 2 свідчить, що обидва запропонованих варіанти дозволяють суттєво підвищити ефективність процесу перевезень на маршруті №70 (рис. 7).

Таким чином, до основних переваг від впровадження комбінованого режиму із експресним сполученням на маршруті №70 слід віднести: можливість вивільнення 7 одиниць автобусів (28%), підвищення швидкості сполучення на 15%, коефіцієнту використання місткості автобусів на 24% та їх годинної продуктивності на 35%; зменшення тривалості рейсу на 10%, загального пробігу на 17%, що дозволить (з урахуванням менших витрат палива автобусів, які працюють у експресному режимі) скоротити загальні експлуатаційні витрати палива на 25%.

Але, вивільнення частини автобусів на маршруті № 70 призведе і до певних негативних явищ, а саме: збільшення інтервалу руху на 20% та зменшення наданої місткості на 17%, що вплине на якість перевезення пасажирів. Надамо оцінку таких наслідків. До впровадження комбінованих режимів інтервал руху на маршруті становив 5 хвилин, а після – 6 хвилин, що можна вважати припустимим та типовим для більшості міських автобусних маршрутів.

Щодо дослідження ймовірності відмови пасажирам у посадці через понаднормативне наповнення транспортних засобів в роботі [7] були побудовані епюри пасажиропотоків за перегонами маршруту для звичайних та експресних автобусів на обох комбінованих режимах, що аналізуються. Аналіз виконаних розрахунків свідчить, на деяких перегонах маршруту спостерігається перевищення номінальної місткості автобусів (переважно на тих, які працюють у звичайному режимі) на 10-25%. Таке понаднормативне наповнення транспортних засобів не перевищує прийнятий норматив у 8 пасажирів на 1 м² вільної площі салону і, відповідно, не призведе до відмов пасажирам у посадці на зупинних пунктах маршруту та вважається припустимим з точки якості перевезень у ранкову годину «пік» [10, 12].

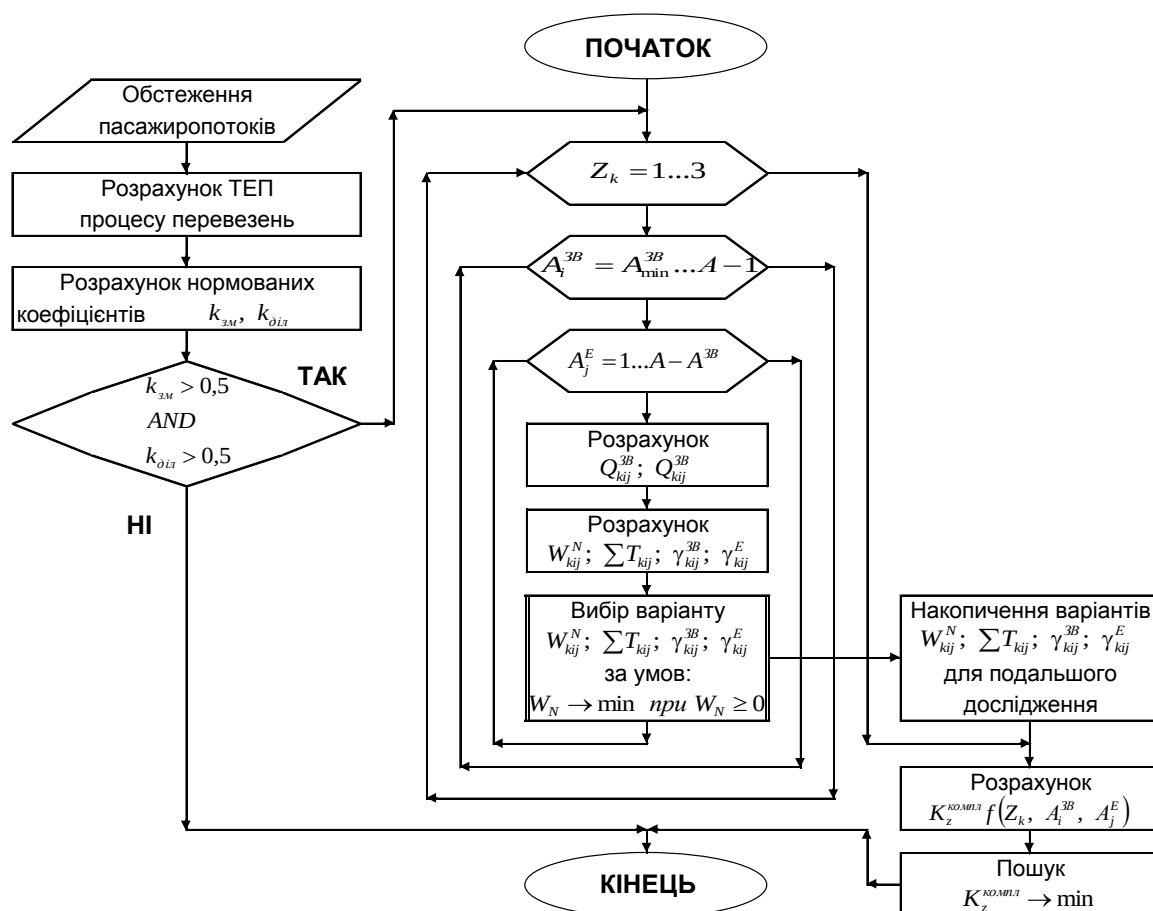


Рис. 6. Алгоритм методу визначення раціональних параметрів експресного режиму руху

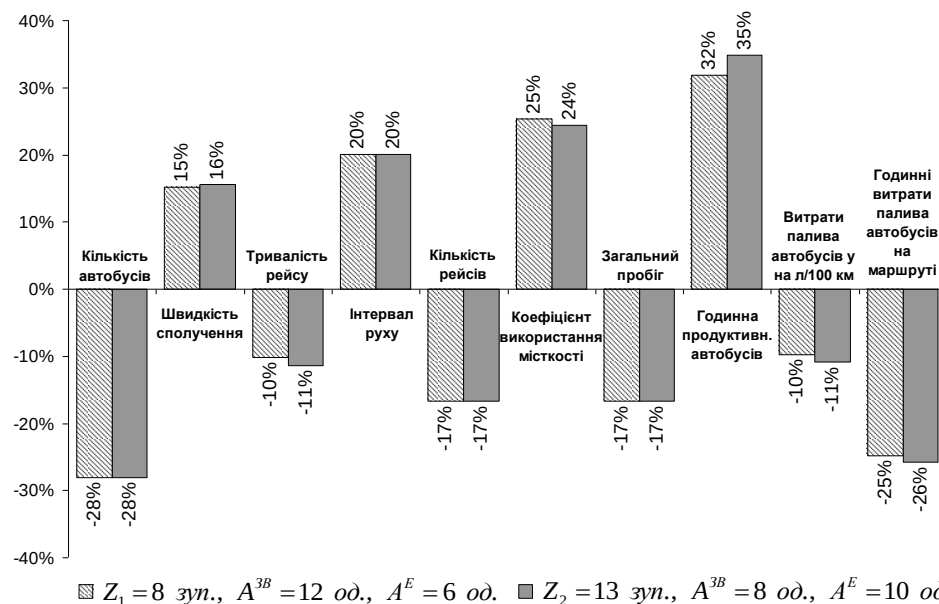


Рис. 7. Аналіз ефективності варіантів комбінованого режиму на маршруті

Таблиця 2. Оцінка параметрів експресного режиму руху автобусів на маршруті з позиції технологічної ефективності перевезень

Назва показника	Діюча технологія	Комбінований режим №1			Комбінований режим №2		
		$Z_1 = 8, A^{3B} = 12, A^E = 6$			$Z_2 = 13, A^{3B} = 8, A^E = 10$		
	Режим руху			Відносне відхилення	Режим руху		Відносне відхилення
	ЗВ	ЗВ	Е		ЗВ	Е	
Довжина маршруту, км	20,4	20,4	20,4	0,0%	20,4	20,4	0,0%
		20,4			20,4		
Кількість автобусів, од.	25	12	6	-28,0%	8	10	-28,0%
		18			18		
Кількість зупинок, од.	27	27	8	-28,1%	27	13	-31,1%
		19,4			18,6		
Середня довжина перегону, км	0,78	0,78	2,91	109,2%	0,78	1,70	70,8%
		1,6			1,3		
Швидкість сполучення, км/год.	21,1	21,1	29,1	15,2%	21,1	26,6	15,6%
		24,3			24,4		
Експлуатаційна швидкість, км/год.	19,4	19,4	26,0	13,6%	19,4	24,0	14,2%
		22,0			22,2		
Тривалість рейсу, хв.	63	63	47	-10,2%	63	51	-11,4%
		57			56		
Тривалість обороту, хв.	126	126	94	-10,2%	126	102	-11,4%
		113			112		
Інтервал руху, хв.	5	10	15	20,0%	15	10	20,0%
		6			6		
Кількість відправлень, од.	12	6	4	-16,7%	4	6	-16,7%
		10			10		
Надана місткість, пас.	552	276	184	-16,7%	184	276	-16,7%
		460			460		
Кількість перевезених пасажирів, пас.	829	585	244	0,0%	386	443	0,0%
		829			829		
Непродуктивна транспортна робота, пас.·км	2 471,2	62,6	154,1	-91,2%	1,3	244,0	-90,1%
		216,7			245,3		
Коефіцієнт використання місткості автобусів	0,78	0,99	0,96	25,4%	1,00	0,95	24,4%
		0,98			0,97		
Загальний пробіг автобусів, км	244,8	122,4	81,6	-16,7%	81,6	122,4	-16,7%
		204,0			204,0		
Годинна продуктивність автобусів, пас./год.	66	93	78	31,8%	92	87	34,8%
		87			89		
Витрати палива, л/100 км	26,24	26,24	19,83	-9,8%	26,24	21,5	-10,8%
		23,68			23,40		
Годинні витрати палива, л/год.	64,24	32,12	16,18	-24,8%	21,41	26,32	-25,7%

Висновки. Одним із ефективних способів підвищення ефективності роботи транспортних засобів та якості обслуговування пасажирів є організація на міських автобусних маршрутах експресного режиму руху. Цей захід дозволяє скоротити витрати часу пасажирів на пересування, підвищити ступінь використання автобусів і рівень транспортного обслуговування населення без збільшення кількості автобусів. Метою роботи є отримання кількісної техніко-експлуатаційної оцінки впливу запровадження експресного режиму руху автобусів на обраному міському маршруті м. Дніпро.

Як об'єкт дослідження був обраний міський маршрут №70 (ж/м Придніпровськ – пл. Старомостова), на якому експлуатуються у звичайному режимі 25 автобусів Богдан А092 місткістю 46 пасажирів. За результатами обстеження пасажиропотоків було встановлено, що на переважній більшості перегонів маршруту питома вага непродуктивної транспортної роботи становить від 10 до 70% (в середньому по маршруту 23%), що суттєво знижує ефективність роботи автобусів. Розраховані значення нормованих коефіцієнтів змінності та нерівномірності пасажиропотоків на ділянках маршруту (які визначають умови організації відповідних режимів руху на автобусних маршрутах) становлять 0,52 та 0,77 відповідно, що підтверджує доцільність запровадження на маршруті №70 комбінованого режиму із експресним сполученням.

Було сформовано три варіанти експресного маршруту, який складається із $Z_1=8$, $Z_1=13$ та $Z_1=16$ зупинок. За результатами виконаного математичного моделювання було встановлено, що максимальна ефективність процесу перевезення пасажирів на маршруті №70 може бути досягнута при таких двох варіантах комбінованого режиму з експресним сполученням: ($Z_1=8$, $A^{3B}=12$, $A^E=6$) та ($Z_2=13$, $A^{3B}=8$, $A^E=10$). Це дозволить вивільнити 7 одиниць автобусів (28%), підвищити швидкість сполучення на 15%, коефіцієнт використання місткості автобусів на 24% та їх годинної продуктивності на 35%; зменшити тривалість рейсу на 10%; загальний пробіг автобусів на 17%, що дозволить (з урахуванням менших витрат палива автобусів, які працюють у експресному режимі) скоротити загальні експлуатаційні витрати палива на 25%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Таран І.О., Литвин В.В. Методика розрахунку та оцінка ефективності комбінованого режиму руху на міському автобусному маршруті. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, 2019. Вип. 85. С. 93–106.
2. Taran I., Lytvyn V. Determination of rational parameters for urban bus route with combined operating mode. *Transport Problems*, 2018. Vol. 13(4). P. 157–171.
3. Bus Rapid Transit. Vol. 1: Case Studies in Bus Rapid Transit: Transportation research board. Washington, 2003. 62 p.
4. Buses with High Level of Service. Fundamental characteristics and recommendations for decision-making and research. Results from European cities. European cooperation in science and technology, 2011. 180 p.
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, № 4. P. 63–75.
6. Paulley N. 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.
7. Литвин В.В. Обґрунтування раціональних параметрів експресного режиму руху на міських автобусних маршрутах: дис. канд. техн. наук: 05.22.01. Харків, 2021. 247 с.
8. Концепція розвитку наземного пасажирського транспорту м. Дніпро на 2017-2020 роки. URL: <https://www.dropbox.com/s/qbhgpusn9yl5l/SolutDocument72677.pdf?dl=0>.
9. Про автомобільний транспорт: Закон України від 23.02.2006 р. № 3492-IV. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3492-15#Text>.
10. Вакуленко К. С., Доля К. В. Управління міським пасажирським транспортом: навч. посібник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 257 с.
11. Доля В. К. Пасажирські перевезення: підручник. Харків: Форт, 2011. 504 с.
12. Організація та управління пасажирськими перевезеннями: підручник / Маруніч В. С. та ін.; за ред. Л. Г. Шморгуна. Київ.: Міленіум, 2017. 528 с.
13. Гульчак О. Д. Підвищення ефективності міських пасажирських перевезень на основі удосконалення організації руху автобусів: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Київ, 2005. 19 с.
14. Лежнева О. І. Раціональна організація руху на маршрутах міського пасажирського транспорту. *Вісник ХПІ*. Харків, 2014. Вип. 17. С. 37–42.
15. Вакуленко К. С., Фалецька Г. І. Вибір режиму руху автобусів у міському сполученні. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*, 2014. №. 148(1). С. 176–181.
16. Вдовиченко В. О., Воліков В. В. Оцінка доцільності впровадження швидкісного пасажирського сполучення другого рівня у місті Харків. *Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура*, 2018. Вип. 140. С. 69–75.
17. Біліченко В. В., Цимбал С. В., Мирниція А. В. Вдосконалення міських пасажирських перевезень шляхом застосування експресного режиму руху. *Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ»*. Луцьк, 2014. Вип. 46. С. 38–42.
18. Литвин В. В., Сердюк К. С. Застосування програмного продукту «TransitWand» для зниження трудомісткості проведення та автоматизації обробки результатів обстеження пасажиропотоків. *Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості і транспорту 2017: збірник наукових трудів конференції*, м. Дніпро 13–14 квітня 2017 р. Дніпро, 2017. С. 199–209.

REFERENCES

1. Taran, I. O., & Lytvyn V. V. (2019). Metodyka rozrakhunku ta otsinka efektyvnosti kombinovanoho rezhymu rukhu na miskomu avtobusnomu marshruti. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu*, 85, 93–106.
2. Taran I., & Lytvyn V. (2018). Determination of rational parameters for urban bus route with combined operating mode. *Transport Problems*, 13(4), 157–171.
3. Bus Rapid Transit.(2003). Vol. 1: Case Studies in Bus Rapid Transit: Transportation research board. Washington.
4. Buses with High Level of Service. (2011). Fundamental characteristics and recommendations for decision-making and research. Results from European cities. European cooperation in science and technology.
5. Mesjasz-Lech, A. (2014). Development of public transport in the city – a challenge for urban logistics in terms of sustainable development. *Forum Scientiae Economic*, 2(4), 63–75.
6. Paulley, N. (2006). The demand for public transport: The effects of fares, quality of service, income and car ownership. *Transport Policy*, 13(4), 295–306.
7. Lytvyn ,V.V. (2021). Obgruntuvannya ratsionalnykh parametriv ekspresnoho rezhymu rukhu na miskykh avtobusnykh marshrutakh [Justification of the rational parameters of the express traffic mode on city bus routes]. *Candidate's thesis*. Kharkiv [in Ukrainian].
8. Kontseptsiiia rozvytku nazemnoho pasazhyrskoho transportu m. Dnipro na 2017-2020 roky [The concept of the development of ground passenger transport in the city of Dnipro for 2017-2020] [in Ukrainian]. URL: <https://www.dropbox.com/s/qbhbgepusn9yl5l/SolutDocument72677.pdf?dl=0>.
9. Pro avtomobilnyi transport [About road transport]. (2006). *Zakon Ukrainy vid 23.02.2006 r. № 3492-IV - Law of Ukraine dated February 23, 2006 No. 3492-IV* [in Ukrainian]. URL: [http:// zakon.rada.gov.ua/laws/show/3492-15#Text](http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3492-15#Text).
10. Vakulenko K. Ye., & Dolia K. V. (2015). Upravlinnia miskym pasazhyrskym transportom. Navch. posibnyk. [Management of urban passenger transport. Training manual]. Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova - Kharkiv: KhNUMH named after O. M. Beketova [in Ukrainian].
11. Dolia, V. K. (2011). Pasazhyrski perevezennia: pidruchnyk [Passenger transportation: textbook]. Kharkiv: Fort [in Ukrainian].
12. Orhanizatsiia ta upravlinnia pasazhyrskymy perevezenniamy: pidruchnyk / Marunych V. S. ta in.; za red. L. H. Shmorhuna [Organization and management of passenger transportation: textbook / V. S. Marunych et al.; under the editorship L. G. Shmorgun] Kyiv. Milenium [in Ukrainian].
13. Hulchak, O. D. (2005). Pidvyshchennia efektyvnosti miskykh pasazhyrskykh perevezen na osnovi udoskonalennia orhanizatsii rukhu avtobusiv [Increasing the efficiency of urban passenger transportation based on improving the organization of bus traffic]: *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
14. Lezhneva, O. I. (2014). Ratsionalna orhanizatsiia rukhu na marshrutakh miskoho pasazhyrskoho transport [Rational organization of traffic on urban passenger transport routes]. *Visnyk KhPI - KhPI Bulletin*. Kharkiv, 17, 37–42.
15. Vakulenko, K. Ye., & Faletska H. I. (2014). Vybir rezhymu rukhu avtobusiv u miskomu spoluchenni [The choice of the mode of operation of buses in city traffic]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu - Ukrainian State Academy of Railway Transport*, 148 (1), 176–181 [in Ukrainian].
16. Vdovychenko V. O., & Volikov V. V. (2018). Otsinka dotsilnosti vprovadzhennia shvydkisnoho pasazhyrskoho spoluchennia drugoho rivnia u misti Kharkiv [Evaluation of the feasibility of implementing high-speed passenger transport of the second level in the city of Kharkiv]. *Komunalne hospodarstvo mist. Seriya: Tekhnichni nauky ta arkhitektura - Communal management of cities. Series: Technical sciences and architecture*, 140, 69–75 [in Ukrainian].
17. Bilichenko V. V., Tsymbal S. V., & Myrnytsia A. V. (2014). Vdoskonalennia miskykh pasazhyrskykh perevezen shliakhom zastosuvannia ekspresnoho rezhymu rukhu [Вдосконалення міських пасажирських перевезень шляхом застосування експресного режиму руху]. *Mizhvuzivnyi zbirnyk «NAUKOVI NOTATKY» - Interuniversity collection «SCIENTIFIC NOTES»*. Lutsk, 46, 38–42 [in Ukrainian].
18. Lytvyn V. V., & Serdiuk K. S. (2017, April). Zastosuvannia prohramnoho produktu «TransitWand» dlia znyzhennia trudomistkosti provedennia ta avtomatyzatsii obrobky rezultativ obstezhennia pasazhyropotokiv [The application of the software product "TransitWand" to reduce the complexity of conducting and automating the processing of the results of passenger flow surveys]. *Suchasni innovatsiini tekhnologii pidhotovky inzhenernykh kadriv dlia hirnychoi promyslovosti i transportu 2017: zbirnyk naukovykh trudiv konferentsii, Dnipro 13–14 kvitnia 2017 - Modern innovative technologies for training engineering personnel for the mining industry and transport 2017: collection of scientific papers of the conference, Dnipro*. (April 13–14, 2017). (pp. 199–209). Dnipro [in Ukrainian].

Vadim Litvin¹, Igor Taran², Yuriy Monastyrskyi³, Iryna Klymenko⁴

¹Associate professor, Transport Management Department, Dnipro University of Technology, av. Dmytra Yavornytskoho, 19, Dnipro, 49005, Ukraine

²Professor, Transport Management Department, Dnipro University of Technology, av. Dmytra Yavornytskoho, 19, Dnipro, 49005, Ukraine

³Professor, Transport Management Department, Dnipro University of Technology, av. Dmytra Yavornytskoho, 19, Dnipro, 49005, Ukraine

⁴Associate professor, Transport Management Department, Dnipro University of Technology, av. Dmytra Yavornytskoho, 19, Dnipro, 49005, Ukraine

TECHNICAL AND OPERATIONAL ASSESSMENT OF EXPRESS MODE IMPLEMENTATION FOR BUS TRAFFIC IN DNIPRO

The paper deals with the topical scientific task concerning substantiation of rational parameters of express mode of transportation in terms of city bus routes. That helps reduce passengers' time spent for travelling, increase a degree of use of transportation modes as well as favour significant cost reduction for fuel and decrease the amount of harmful emissions in the urban atmosphere. Analysis of the available methods and approaches to the organization of express mode of bus traffic in terms of local routes has helped identified that they do not consider to the full extent the interests of all the traffic participants or have narrow range of application. Those are the facts that limit considerably wide implementation of express mode irrespective of its great potential as for increasing the efficiency of local passenger transportation. Conditions of expedient implementation of express mode of transportation for buses on local routes have been identified basing on the parameters of passenger flow. The developed method of the formation of a list of stops to be serviced by buses operating in the express mode, takes into consideration the irregular nature of passenger flow and intervals of daily bus traffic respectively. Basing on the economic, social, and environmental indices of efficiency of a transportation process, the developed method of identifying rational parameters of express mode of traffic on local bus routes considers dynamic distribution of passenger correspondences between the standard and express route depending on the number of buses and a list of express route stops. A technical and operational assessment of the implementation of the express mode of bus traffic on city route #70 in Dnipro was performed.

Keywords: *express mode, passenger flow, energy-resource efficiency, route, redistribution of correspondences, distance between stops, bus capacity, connection speed, transportation costs.*