

УДК 656.22

## МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОЕТАПНОЇ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

*В.С. Джус<sup>1</sup>, А.Р. Мілянч<sup>2</sup>, І.М. Гончар<sup>3</sup>, О.В. Джус<sup>4</sup>*

Надання сучасних послуг з перевезення пасажирів здебільшого зумовлює потребу розглядати питання таких перевезень різними видами транспорту в комплексі. При цьому намагаються досягнути спільної мети – якісного обслуговування пасажирів. Крім цього, організація роботи з планування таких перевезень передбачає можливість зменшення експлуатаційних витрат. Одним з важливих етапів вирішення проблеми надання якісних транспортних послуг є розроблення математичної моделі багатоетапної системи перевезень різними видами транспорту з урахуванням основних положень транспортної логістики.

**Ключові слова:** транспортний засіб, перевезення, математична модель, швидкість, безпека, собівартість, очікування, багатоетапна система.

**Вступ.** Забезпечення ефективної взаємодії між різними транспортними засобами для перевезення пасажирів потребує пошуку ефективних технологій планування не тільки оптимального розкладу руху залізничного транспорту, але й узгоджувати його з маршрутами і розкладом руху міських перевізників. Така організація роботи (планування), яка передбачає можливість зменшення експлуатаційних витрат у залізничних пасажирських перевезеннях, дасть змогу збільшити їх дохідну частину.

**Аналіз досліджень.** Дослідження у царині організації транспортних перевезень здебільшого відокремлено і незалежно розглядають питання перевезення пасажирів залізничним, автомобільним та міським комунальним транспортом. Зовсім відокремлено або поверхнево аналізують питання міських автомобільних перевезень, наземного і підземного електротранспорту, хоча всі ці способи і засоби перевезень переслідують тільки одну мету – швидке, безпечне, дешеве і комфортне обслуговування пасажирів. Кожен із названих засобів пасажирських перевезень дбає виключно про свої корпоративні інтереси, які зумовлені однаковими для всіх них критеріями: мінімальні витрати на експлуатацію транспортних засобів; зростання пасажиропотоку; отримання максимального прибутку.

---

<sup>1</sup> доц. В.С. Джус, канд. техн. наук;

<sup>2</sup> ст. викл. А.Р. Мілянч, канд. техн. наук – Львівська філія Дніпропетровського НУ залізничного транспорту;

<sup>3</sup> доц. І.М. Гончар, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів;

<sup>4</sup> зав. лаб., ст. судовий експерт О.В. Джус – Львівський НДІ судових експерти

**Мета дослідження.** Мета роботи – розробити математичну модель перевезення пасажирів із одного кінцевого пункту в інший різними транспортними засобами при виборі оптимального маршруту з урахуванням його специфіки та особливостей. За основний критерій прийнято час  $t_{\text{шв}}$ , який витрачається на подолання всього шляху між кінцевими пунктами призначення. Водночас, цей шлях поділено на етапи, які долаються різними видами транспорту.

**Результати дослідження.** У прийнятій моделі багатоетапної системи пасажирських перевезень встановлюємо такі припущення:

1. Увесь маршрут переміщення входить у систему з окремих послідовно розташованих маршрутів, що здійснюються різними транспортними засобами.
2. На кожному з етапів маршруту розглядають тільки одну транспортну одиницю та одного пасажирів.
3. За проходження всього маршруту, що складається з  $N$  етапів, загальна вартість проїзду ним становить  $m_c$ , що дає прибуток  $P_r$ .
4. Кожен із транспортних засобів рухається на своєму етапі зі швидкістю, величина якої обмежена областю максимальної  $v_{\text{max}}$  та мінімальної  $v_{\text{min}}$  швидкостей.

З урахуванням наведених припущень пропонуємо модель багатоетапної системи транспортних перевезень пасажирів, яка дає змогу отримати оптимальні швидкості перевезень для кожного з етапів.

**За елементи основної математичної моделі багатоетапної системи перевезень** вибираємо: час, що витрачається на подолання одним транспортним засобом відстані від початкового до кінцевого пунктів на одному з етапів; час, витрачений на очікування; показник продуктивності перевезень; собівартість.

**А)** Приймаємо, що час, витрачений на проходження етапу  $J$  одного маршруту (за  $J=1, 2, 3, \dots, N$ ) складається з таких трьох елементів:

- 1) Допоміжний час  $t_{\delta J}$  – час, потрібний на підготовку до роботи (огляд технічного стану транспортного засобу, перевірка роботи окремих механізмів, (тощо); час, витрачений на посадку-висадку пасажирів, заміну локомотивних бригад;
- 2) Час, витрачений безпосередньо на перевезення пасажирів –  $t_{PJ}$ ;
- 3) Час, витрачений на технічне обслуговування та екіпірування  $t_{екJ}$  – час, що витрачається на поповнення запасів паливомасильними матеріалами та водою для різних видів транспорту.

Отже, час, витрачений на проходження етапу одним транспортним засобом, визначаємо таким виразом:

$$t_J = t_{\delta J} + t_{PJ} + t_{екJ} = t_{\delta J} + t_{PJ} + t_{екJ} \frac{t_{PJ}}{T_J}, \quad (1)$$

де час технічного обслуговування  $t_{екJ}$  виражаємо через час, що витрачається на процес екіпірування  $t_{екJ}$  та тривалість перевезення пасажирів на одній потрібній заправці  $T_J$ .

**Б)** Інтервал часу, що вказує на послідовність (інтенсивність) руху транспорту на одному маршруті, що складається з  $N$ -степеневі системи, назвемо часом циклу, який встановлюємо згідно з максимальним значенням зі всіх чисел  $N$ . Якщо прийняти, що етап маршруту, визначений величиною часу циклу, є степінь  $K$ , то час циклу  $t_y$  встановлюємо так:

$$t_y = \max t_J = t_K = t_{\Delta J} + t_{PJ} + t_{cJ} \frac{t_{PJ}}{T_J}. \quad (2)$$

З наведеного вище припускаємо, що на одному маршруті при зміні етапів, тобто зміні транспортних засобів, прибуття одного виду транспорту відбувається у той час, коли наступний засіб перевезення вже чекає на пасажирів. Виникає певний час очікування, і цей час на етапі  $J$  становить

$$t_{чкJ} = t_y - t_J = t_K - t_J = t_{\Delta K} - t_{\Delta J} + t_{PK} - t_{PJ} + t_{cK} \frac{t_{PK}}{T_K} - t_{cJ} \frac{t_{PJ}}{T_J}, \quad (3)$$

а на степені  $K$   $t_{чкK} = 0$ , (3 а)

зауваживши, що час, витрачений на посадку пасажирів не враховуємо, оскільки цей час включений у загальний час проходження транспортним засобом на заданому етапі маршруту.

**В)** Ефективність перевезення встановлюємо залежно від кількості пасажирів, перевезених за одиницю часу, тобто величини оберненої тривалості одного циклу

$$q_{эф} = \frac{1}{t_y} = \frac{1}{t_{\Delta K} + t_{PK} + t_{cK} \frac{t_{PK}}{T_K}}. \quad (4)$$

**Г)** Собівартість перевезень з розрахунку на одного пасажирів на етапі  $J$  складається з таких елементів вартості:

- 1) вартість допоміжних робіт  $C_{\Delta J}$ ;
- 2) вартість безпосереднього перевезення пасажирів  $C_{PJ}$ ;
- 3) вартість технічного обслуговування та екіпування транспортного засобу  $C_{обсJ}$ ;
- 4) вартість енергоносіїв (електроенергії або пального)  $C_{еJ}$ ;
- 5) вартість часу, витраченого на очікування  $C_{чкJ}$  на етапі  $J$  при зміні з транспортних засобів;
- 6) накладні витрати за перевезення  $C_{\Delta J}$ , зокрема і вартість амортизації транспортного засобу кожного етапу.

Позначивши прямі витрати на роботу машиністів і водіїв транспортних засобів на етапі  $J$  через  $k_{зJ}$  та накладні витрати через  $k_{нJ}$ , отримаємо:

$$C_{\Delta J} = k_{зJ} \cdot t_{\Delta J}; \quad (5)$$

$$C_{PJ} = (k_{зJ} + k_{нJ}) \cdot t_{PJ}; \quad (6)$$

$$C_{обсJ} = k_{зJ} \cdot t_{обсJ} = k_{зJ} \cdot t_{cJ} \frac{t_{PJ}}{T_J}; \quad (7)$$

$$C_{чкJ} = k_{зJ} \cdot t_{чкJ} = k_{зJ}(t_K - t_J) = k_{зJ}(t_{\Delta K} - t_{\Delta J} + t_{PK} - t_{PJ} + t_{cK} \frac{t_{PK}}{T_K} - t_{cJ} \frac{t_{PJ}}{T_J}). \quad (8)$$

Оскільки повний фактичний час перевезення пасажирів одним етапом маршруту напряму залежить від часу  $T_J$ , то вартість джерел енергії  $C_{еJ}$ , що витрачається на проходження шляху протягом часу  $t_{PJ}$ , встановлюємо так:

$$C_{еJ} = k_{еJ} \frac{t_{PJ}}{T_J}. \quad (9)$$

Вартість накладних витрат на етапі  $J$  дорівнює добутку величини накладних витрат за одиницю часу  $k_{0J}$  на час циклу  $t_{cJ}$ ; звідси згідно з наведеним рівняння (3) отримуємо

$$C_{0J} = k_{0J} \cdot t_y = k_{0J}(t_J + t_{чкJ}) = k_{0J} \cdot t_K = k_{0J}(t_{\delta K} + t_{PK} + t_{cK} \frac{t_{PK}}{T_K}). \quad (10)$$

Отже, собівартість перевезення пасажирів на етапі  $J$  для різних видів транспортних засобів становитиме

$$C_J = C_{\delta J} + C_{PJ} + C_{обсJ} + C_{чкJ} + C_{eJ} + C_{0J} = k_{\delta J} \cdot t_{PJ} + k_{eJ} \frac{t_{PJ}}{T_J} + k_{lJ}(t_{\delta K} + t_{PK} + t_{cK} \frac{t_{PK}}{T_K}), \quad (11)$$

де  $k_{lJ} = k_{sJ} + k_{0J}$ .

Аналізуючи рівняння (11), треба зауважити, що воно виражає доволі цікавий результат: третій складник – це вартість прямих витрат на робочу силу і накладних витрат протягом одного циклу; перший член – непрямі витрати, які відповідають витратам за час проходження одного етапу загального маршруту; другий член – вартість джерел енергії. Ці три елементи вартості визначають собівартість перевезення на кожному з етапів, хоча на початку побудови моделі враховували шість складників вартості.

**Д)** Повна собівартість  $C_{заз}$  транспортних перевезень по всьому маршруту, що складається з  $N$  етапів і де задіяні різні види засобів транспорту, встановлюємо згідно з таким виразом:

$$\begin{aligned} C_{заз} &= m_c + \sum_{J=1}^N C_J = m_c \sum_{J=1}^N \left[ k_{\delta J} \cdot t_{PJ} + k_{eJ} \frac{t_{PJ}}{T_J} + k_{lJ}(t_{\delta K} + t_{PK} + t_{cK} \frac{t_{PK}}{T_K}) \right] = \\ &= m_c + \sum_{J \neq K} \left( k_{PJ} \cdot t_{PJ} + k_{eJ} \frac{t_{PJ}}{T_J} \right) + \left[ K_l \cdot t_{\delta K} + (k_{PK} + K_l) \cdot t_{PK} + (k_{eK} + t_{cK} \cdot K_l) \frac{t_{PK}}{T_K} \right], \quad (12) \end{aligned}$$

де  $K_l = \sum_{J=1}^N k_{lJ} = \sum_{J=1}^N k_{sJ} + \sum_{J=1}^N k_{0J}$ , тобто  $K_l$  є повною вартістю робочої сили та накладних витрат для організації маршруту перевезення пасажирів послідовно, при задіянні  $N$  засобів транспорту (по  $N$  етапах), а вираз  $\sum_{J \neq K}$  – сума для  $J$  від 1 до  $N$ , не враховуючи  $K$ .

**Е)** Прибуток  $P_{np}$ , що отримується при проходженні всього маршруту з початкового до кінцевого пунктів і складається з  $N$  етапів, визначаємо різницею між вартістю проїзду  $r$  та повною собівартістю транспортних перевезень  $C_{заз}$

$$\begin{aligned} P_{np} &= P_r - C_{заз} = P_r - m_c - \\ &- \sum_{J \neq K} \left( k_{PJ} \cdot t_{PJ} + k_{eJ} \frac{t_{PJ}}{T_J} \right) - \left[ K_l \cdot t_{\delta K} + (k_{PK} + K_l) \cdot t_{PK} + (k_{eK} + t_{cK} \cdot K_l) \frac{t_{PK}}{T_K} \right]. \quad (13) \end{aligned}$$

**Ж)** Визначення середньої норми прибутку, яка вказує на обсяг прибутку за одиницю часу транспортних перевезень по всьому маршруту. Величину середньої норми прибутку  $P_{np.c}$  визначаємо, як добуток прибутку  $P_{np}$  на продуктивність  $q_{эф}$  перевезення, тобто

$$P_{np.c} = P_{np} \cdot q_{ef\phi} = \frac{P_{np}}{t_y} \text{ або у розширеному вигляді:}$$

$$P_{np.c} = \frac{P_r - m_c - \sum_{j=1}^N (k_{pJ} \cdot t_{pJ} + k_{eJ} \cdot \frac{t_{pJ}}{T_j})}{t_{\delta K} + t_{pK} + t_{cK} \cdot \frac{t_{pK}}{T_K}} - K_l. \quad (14)$$

**Модель багатоступового транспортного перевезення пасажирів як функція параметра зміни затраченого часу.** Є тільки один параметр процесу перевезення – час, витрачений пасажиром на подолання шляху з початкового до кінцевого пунктів призначення. Хоча під поняттям часу варто розуміти як зміни у швидкості перевезень (для колійного транспорту – у межах від мінімальної  $v_{min}$  до можливої максимальної  $v_{max}$  швидкості), так і вибором оптимального маршруту та виду транспорту (у межах населеного пункту). Тому під час побудови моделі перевезення розглядатимемо функцію швидкості як фактор встановлення оптимальних умов ефективного перевезення пасажирів.

На етапі  $J$  маршруту час, витрачений на його проїзд  $t_{pJ}$ , зменшується обернено пропорційно до швидкості перевезення  $v_J$ , звідси  $t_{pJ} = S_J / v_J$ , де  $S_J$  – довжина одного етапу, що є сталою для колійного виду транспорту і можливо змінною для автотранспорту. Водночас, довжина пройденого шляху (позначимо його через  $L_J$ ) тісно пов'язана з тривалістю транспортування  $T_J$ , що залежить не тільки від швидкості  $v_J$ , а й від особливостей маршруту (часті зупинки, переїзди, підйоми-спуски тощо). Звідси, довжина можливого пройденого шляху розраховуємо згідно з такою залежністю:

$$L_J = v_J \cdot T_J^{n_J}, \quad (15)$$

де  $n_J = (0,6 \dots 1,0)$  – показник степеня, що залежить від особливостей траси даного етапу.

Порівнюємо між собою останні рівняння, що враховують швидкість  $v_J$

$$\frac{t_{pJ}}{T_J} = S_J \cdot L_J^{\left(\frac{1}{n_J}\right)} \cdot v_J^{\left(\frac{1}{n_J} - 1\right)}. \quad (16)$$

Шляхом підстановки рівняння (16) у виведені вище залежності (1), (2), (4), (11), (12), (13) та (14) отримуємо математичну модель багатоступового транспортного перевезення пасажирів у вигляді функції параметра зміни затраченого часу. Час, витрачений на проїзд одного етапу маршруту, становитиме

$$t_J = t_{\delta J} + \frac{S_J}{v_J} + \frac{S_J \cdot t_{cJ}}{\frac{1}{L_J^{n_J}} \cdot v_J^{\left(\frac{1}{n_J} - 1\right)}}, \quad (17)$$

а тривалість одного циклу буде становити

$$t_y = t_{\delta K} + \frac{S_K}{v_K} + \frac{S_K \cdot t_{cK}}{\frac{1}{L_K^{n_K}} \cdot v_K^{\left(\frac{1}{n_K} - 1\right)}}. \quad (18)$$

Водночас, економічні показники ефективності перевезення визначаємо згідно з залежністю

$$q_{ef} = \frac{1}{t_{\partial K} + \frac{S_K}{v_K} + \frac{S_K \cdot t_{cK}}{L_K^{1/n_K}} \cdot v_K^{1/n_K - 1}}, \quad (19)$$

а собівартість розраховуємо

$$C_J = \frac{k_{nJ} \cdot S_J}{v_J} + \frac{k_{eJ} \cdot S_J}{L_J^{1/n_J}} v_J^{1/n_J - 1} + k_{lJ} \cdot \left( t_{\partial K} + \frac{S_K}{v_K} + \frac{S_K \cdot t_{cK}}{L_K^{1/n_K}} v_K^{1/n_K - 1} \right). \quad (20)$$

Повна собівартість перевезення становитиме

$$C_{\text{заг}} = m_c + \sum_{J \neq K} S_J \left( \frac{k_{nJ}}{v_J} + \frac{k_{eJ}}{L_J^{1/n_J}} v_J^{1/n_J - 1} \right) + \left[ K_{lK} \frac{(k_{nK} + K_l) S_K}{v_K} + (k_{eK} + t_{cK} K_l) \frac{S_K}{L_K^{1/n_K}} v_K^{1/n_K - 1} \right]. \quad (21)$$

Відповідно, прибуток та його середню норму розраховуємо:

$$P_{np} = P_r - m_c - \sum_{J \neq K} S_J \left( \frac{k_{nJ}}{v_J} + \frac{k_{eJ}}{L_J^{1/n_J}} v_J^{1/n_J - 1} \right) - \left[ K_{lK} + \frac{(k_{nK} + K_l) S_K}{v_K} + (k_{eK} + t_{cK} K_l) \frac{S_K}{L_K^{1/n_K}} v_K^{1/n_K - 1} \right]; \quad (22)$$

$$P_{np.c} = \frac{P_r - m_c - \sum_{J=1}^N S_J \left( \frac{k_{nJ}}{v_J} + \frac{k_{eJ}}{L_J^{1/n_J}} v_J^{1/n_J - 1} \right)}{t_{\partial K} + \frac{S_K}{v_K} + \frac{S_K \cdot t_{cK}}{L_K^{1/n_K}} \cdot v_K^{1/n_K - 1}} - K_l. \quad (23)$$

**Аналітичне встановлення оптимальних параметрів швидкості перевезення.** Для визначення оптимальних швидкостей руху засобів транспорту на різних етапах маршруту використовуємо такі критерії:

- 1) критерій максимальної ефективності перевезення, який визначає максимальну кількість пасажирів, що перевозяться за одиницю часу або мінімальну тривалість циклу. Цей критерій, на погляд авторів, потрібно застосовувати тільки тоді, коли домінує завдання збільшення кількості перевезених пасажирів незалежно від отриманого прибутку, наприклад, у разі екстремальних ситуацій;
- 2) критерій мінімальної собівартості перевезення, який встановлює найнижчу собівартість перевезення одного пасажирів і збігається із критерієм найбільшого прибутку;
- 3) критерій максимальної середньої норми прибутку, який встановлює максимальний прибуток за даний (обмежений) проміжок часу, тобто у час "пікового" напливу пасажирів.

Розглядаємо вплив на параметри швидкості перевезення окремо кожного з прийнятих критеріїв:

**а) відповідність критерію максимальної ефективності перевезення.** Задача полягає у приведенні до максимуму  $q_{ef}$  [див. рівняння (19)] або до мінімуму  $t_u$  [рівняння (18)].

Тому, щоб встановити оптимальну швидкість перевезення пасажирів на ступені  $K$ , що визначає тривалість циклу, потрібно прирівняти до нуля першу похідну рівняння (18) або (19) за швидкістю  $v_K$ .

$$\frac{dt_{yK}}{dv_K} = -\frac{S_K}{v_K^2} + \left(\frac{1}{n_K} - 1\right) \cdot \frac{S_K \cdot t_{cK}}{L_K^{1/n_K}} \cdot v_K^{\left(\frac{1}{n_K} - 2\right)} = 0,$$

звідки

$$v_{K^0} = v_{K^*} = \frac{L_K}{\left[\left(\frac{1}{n_K} - 1\right) \cdot t_{cK}\right]^{n_K}}. \quad (24)$$

Оскільки раніше прийнято, що тривалість циклу визначається степенем  $K$ , як одного з найбільш тривалого етапів маршруту, час проходження інших етапів відповідно буде меншим, ніж на степені  $K$ , відповідно

$$t_{\partial J} + \frac{S_J}{v_J} + \frac{S_J \cdot t_{cJ}}{L_J^{1/n_J}} \cdot v_J^{1/n_J - 1} \leq t_{y^0} \equiv t_{\partial K} + \frac{S_J}{(1 - n_K) \cdot L_K} \cdot \left[\left(\frac{1}{n_K} - 1\right) \cdot t_{cK}\right]^{n_K}, \quad (25)$$

де  $J = 1, 2, \dots, (K - 1), (K + 1), \dots, N$ .

Якщо попередня умова задовольняється, то можна прийняти швидкість руху транспорту на степені  $J$ , де  $J = 1, 2, \dots, (K - 1), (K + 1), \dots, N$ . Якщо існує нерівність, то між етапами маршруту існуватиме інтервал, який розглядаємо як час, призначений на очікування пасажирів. Зрозуміло, що коли умова (25) витримується, собівартість перевезення пасажирів на кожному з визначених  $K$  етапів  $J$  маршрутів є найменшою. Проведені спостереження показали, що на кожному з етапів маршруту швидкість руху транспорту за мінімальної собівартості ( $v_{C_J}$ ) є меншою, ніж швидкість за максимальної ефективності перевезення ( $v_{efJ}$ ). Для зменшення собівартості на етапі  $J$  (виключаючи степінь  $K$ ) бажано наближати швидкість руху  $v_J$  даного транспортного засобу до швидкості з мінімальною собівартістю ( $v_{C_J}$ ) за умови дотримання рівняння (25). Отже, що задачу сформулюємо так: мінімізуємо

$$C_J = \frac{k_{nJ} \cdot S_J}{v_J} + \frac{k_{eJ} \cdot S_J}{L_J^{1/n_J}} \cdot v_J^{1/n_J - 1} + k_{tJ} \cdot t_{y^0}, \text{ за умови, що } t_{\partial J} + \frac{S_J}{v_J} + \frac{S_J \cdot t_{cJ}}{L_J^{1/n_J}} \cdot v_J^{1/n_J - 1} \leq t_{y^0}, \quad (26)$$

де  $J = 1, 2, \dots, (K - 1), (K + 1), \dots, N$ .

Тепер можна отримати оптимальний показник швидкості перевезення  $v^0$  для  $v_J$  за наведених значень  $J$ , приймаючи:

- швидкість перевезення за мінімальної собівартості

$$v_{C_J} \equiv \frac{L_J}{\left(\frac{1}{n_J} - 1\right)^{n_J}} \cdot \left(\frac{k_{nJ}}{k_{tJ}}\right)^{n_J}; \quad (27)$$

- швидкість перевезення за максимальної ефективності

$$v_{efJ} \equiv \frac{L_J}{\left[\left(\frac{1}{n} - 1\right) \cdot t_{cJ}\right]^{n_J}}; \quad (27 \text{ а})$$

- швидкість перевезення  $\tilde{v}_J$ , що задовольняє умову (26) із знаком рівності

$$\frac{1}{\tilde{v}_J^{n_J}} + \frac{L_J^{1/n_J}}{S_J \cdot t_{cJ}} \cdot (t_{\delta J} - t_y^0) \cdot \tilde{v}_J + \frac{L_J^{1/n_J}}{t_{cJ}} = 0. \quad (27 \text{ б})$$

Отже, швидкість перевезення  $v_J^0 = \tilde{v}_J$  за умови, що  $v_{cJ} \leq \tilde{v}_J \leq v_{efJ}$ . У всіх решта випадках  $v_J^0 = v_{cJ}$ .

Наведений аналіз приводить до наступного методу розрахунку оптимальних швидкостей перевезення пасажирів різними засобами транспорту на одному маршруті і відповідає максимальній ефективності перевезення:

### 1. Розрахувати

$$v_{efJ} = \frac{L_J}{\left[ \left( \frac{1}{n_J} - 1 \right) \cdot t_{cJ} \right]^{n_J}} \text{ за } J = 1, 2, \dots, N$$

та 
$$t_J = t_{\delta J} + \frac{S_J}{v_{efJ}} + \frac{S_J \cdot t_{cJ}}{L_J^{1/n_J}} \cdot v_{efJ}^{1/n_J - 1} = t_{\delta J} + \frac{S_J}{(1 - n_J) \cdot L_J} \cdot \left[ \left( \frac{1}{n_J} - 1 \right) \cdot t_{cJ} \right]^{n_J}.$$

2. Вибрати  $J$  для найбільшого значення  $t_J$  ( $t_y^0$ ) та позначити цей степінь через  $K$ . Цей степінь, що визначає час циклу, та оптимальна швидкість перевезення на степені  $K$  дорівнює  $v_{efK}$

$$v_{efK} = \frac{L_K}{\left[ \left( \frac{1}{n_K} - 1 \right) \cdot t_{cK} \right]^{n_K}} = v_K^0.$$

3. Далі розглядаємо умову, коли  $J = 1, 2, \dots, (K - 1), (K + 1), \dots, N$ :

$$v_{cJ} = \frac{L_J}{\left( \frac{1}{n_J} - 1 \right)^{n_J}} \cdot \left( \frac{k_{HJ}}{k_{qJ}} \right)^{n_J}$$

і отримуємо величину  $\tilde{v}_J$ , що задовольняє в діапазоні  $[v_{cJ}, v_{efJ}]$  умову

$$\tilde{v}_J^{1/n_J} + \frac{L_J^{1/n_J}}{S_J \cdot t_{cJ}} \cdot (t_{\delta J} - t_y^0) \cdot \tilde{v}_J + \frac{L_J^{1/n_J}}{t_{cJ}} = 0.$$

Отримана величина швидкості і буде тією оптимальною швидкістю переміщення пасажирів за даним маршрутом з максимальною ефективністю.

**Висновки.** Подібними методами виконують розрахунки для встановлення оптимальної швидкості за критеріями мінімальної собівартості перевезення та максимальної середньої норми прибутку.

Сучасні технології управління перевезеннями потрібно застосовувати на регіональному рівні. Тут є змога створити логістичні центри (центри управління і транспортного обслуговування), які організують інформаційну взаємодію з клієнтами, а також забезпечують їх реєстрацію і облік для підвищення якості обслуговування.

Для виконання цієї роботи доцільно використовувати логістичні принципи із застосуванням сучасних інформаційних технологій на базі електронного об-



міну даними між автоматизованими інформаційними системами (АІС) транспортних підприємств, інших партнерів з перевізного процесу і створюваними логістичними центрами, які повинні взяти на себе роль основного перевізного оператора.

Під час створення логістичної системи передусім потрібно враховувати розвиток інформаційних систем учасників перевізного процесу, а також рівень безпеки та інформаційної взаємодії та використання принципів логістики в практичній діяльності. Велике значення має розроблення нормативно-технологічної бази інформаційної взаємодії та стандартів обміну даними.

Будь-який логістичний проект зі створення нової мережі (системи) або вдосконалення вже існуючих ліній, є предметом зміннення співпраці між транспортниками, зародження здорової конкуренції у сфері надання нових транспортних послуг, безпеки та комфорту перевезень, зменшення ціни наданих послуг тощо. Цей проект має право на життя за умови створення потужної нормативної бази з урахуванням європейського (світового) досвіду вирішення питань взаємодії різних видів транспорту та безпеки у транспортній логістиці.

### Література

1. Стратегічний план розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року : Затв: Наказ Міністерства інфраструктури України від 21 грудня 2015 р., № 547. – 24 с.
2. Коробйова Р.Г. Аналіз сучасного стану обсягів пасажирських перевезень на залізничному транспорті України / Р.Г. Коробйова. – 2011. – 34 с.
3. Матусевич О.О. Доцільність швидкісних залізничних пасажирських перевезень і рішення проблем прискорення / О.О. Матусевич. – 2012. – 238 с.

*Надійшла до редакції 10.11.2016 р.*

### ***Дзус В.С., Мильнич А.Р., Гончар І.М., Дзус О.В. Моделирование многоэтапной системы транспортных перевозок***

Предоставление современных услуг по перевозке пассажиров в большинстве случаев вызывает необходимость рассматривать вопросы пассажирских перевозок различными видами транспорта комплексно. При этом стремятся достичь общей цели – качественного обслуживания пассажиров. Кроме этого, работа по планированию таких перевозок предусматривает возможность уменьшения эксплуатационных расходов. Одним из важных этапов решения проблемы предоставления качественных транспортных услуг является разработка математической модели многоэтапной системы перевозок различными видами транспорта с учетом основных положений транспортной логистики.

**Ключевые слова:** транспортное средство, перевозка, математическая модель, скорость, безопасность, себестоимость, ожидание, многоэтапная система.

### ***Dzus V.S., Milyanych A.R., Gonchar I.M., Dzus O.V. Modeling of a Multi-stage Transportation System***

Providing modern passenger services in most cases requires considering transportation questions in complex using various means of transport. Herewith a common goal is aimed to be achieved – high-quality passenger service. Besides, transportation planning management involves possibility to reduce operating costs. One of the important stages to solve the problem of providing high-quality transport services is to develop a mathematical model of multistage transportation system by different means of transport also taking into consideration a transport logistics.

**Keywords:** means of transport, passenger service, operating costs, transportation system.