

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

УДК 004.942: 656.13(1-21)

В. А. ЛАХНО^{1*}, В. М. СОБЧЕНКО^{2*}

^{1*}Каф. «Організація комплексного захисту інформації», Європейський університет, бульв. академіка Вернадського, 16-В, Київ, Україна, 03115, тел. +38 (044) 276 52 51, ел. пошта valss21@ukr.net, ORCID 0000-0001-9695-4543

^{2*}Каф. «Інформаційні системи та математичні дисципліни», Європейський університет, бульв. академіка Вернадського, 16-В, Київ, Україна, 03115, тел. +38 (044) 423 00 78, 03115, ел. пошта floydrose@i.ua, ORCID 0000-0002-2018-5511

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ МІСЬКИМ ПАСАЖИРСЬКИМ АВТОТРАНСПОРТОМ

Мета. Наукова робота спрямована на подальший розвиток математичних моделей та алгоритмів для автоматизованих систем підтримки прийняття рішень диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом. **Методика.** Системи диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом спрямовані забезпечити виконання розкладу руху з мінімальними відхиленнями від запланованого за допомогою використання відповідних диспетчерських дій. Алгоритм систем орієнтовано на вибір диспетчерських дій, які компенсують збурюючі впливи. В якості критерію оцінки роботи систем диспетчерського управління запропоновано використовувати показник мінімуму часу очікування пасажирами автобусів і маршрутних таксі на зупинках. **Результати.** На основі проведеного аналізу досліджень, в межах існуючої теорії руху потоків автотранспорту, запропонована модель для системи диспетчерського управління міськими пасажирськими рухомими одиницями з урахуванням впливу найбільш значущих стохастичних чинників на графік руху автобусів та маршрутних таксі у великих містах. Отримана система рівнянь, яка моделює параметри руху на автобусних маршрутах, дозволяє миттєво оцінювати вплив збурюючих факторів на показники якості обслуговування пасажирів та, при потребі, складати оптимальний розклад руху. **Наукова новизна.** Авторами запропоновано нову модель для систем підтримки прийняття рішень диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом із урахуванням впливу найбільш значущих стохастичних чинників, зокрема таких, як переповнення пасажирами автобусів та маршрутних таксі, їх схід із лінії, відхилення від розкладу, відхилення від швидкісного режиму на маршруті та ін., на показники якості обслуговування. Модель дозволяє також оптимізувати розклад руху. **Практична значимість.** Результати роботи дозволяють удосконалити підходи до побудови моделей, які використовуються в системах диспетчерського управління міськими автобусними маршрутами, а також удосконалити вибір керуючих впливів для подібних систем у великих містах України.

Ключові слова: автоматизовані системи; диспетчерське управління; математична модель; алгоритм управління; міський пасажирський автотранспорт

Вступ

Міський пасажирський автотранспортний комплекс – це сукупність автобусів та маршрутних таксі, які належать комунальним та прива-

тним підприємствам, управляючого ними персоналу та всієї інфраструктури, яка визначає ефективність його функціонування.

Сучасні комп'ютерні системи диспетчерського управління міським пасажирським авто-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

транспорт (СДУМАТ) базуються на використанні наукомістких інформаційно-комунікаційних технологій, затребуваних необхідністю підвищення ефективності управління дорожнім рухом, зокрема у великих містах (рис. 1).

Вимога щодо оперативності дій транспортних служб суперечить тенденції безперервного зростання парку індивідуального та муніципального громадського транспорту.

Постановка проблеми. Основне завдання системи диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом – задоволення потреби пасажирів у поїздах. Одним зі способів його вирішення є чітке дотримання розкладу, а також підключення у разі необхідності резервних транспортних засобів. Критерієм якості задоволення потреб в поїздах є мінімізація часу очікування пасажирів транспорту [3, 7, 8]. Всі порушення руху транспорту – відхилення від розкладу, переповнення, які виникають внаслідок нерівномірної швидкості руху окремих рухомих одиниць (РО) та флуктуацій пасажиропотоку, призводять до збільшення часу очікування. Тому і ефективність управляючих дій доречно оцінювати за тим же критерієм.

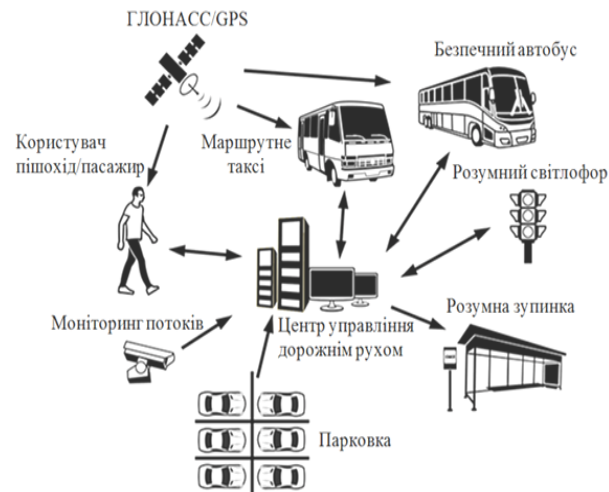


Рис. 1. Схема системи диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом (СДУМАТ)

Fig. 1. The scheme of the system for dispatching management of the city passenger traffic (SDMCPT)

Огляд та аналіз попередніх досліджень. В [1, 3] зазначено, що включення СДУМАТ в систему управління пасажирськими перевезеннями вимагає від розробника: по-перше, на-

повнити її програмами, пов'язаними з технологією управління, узгодити її динамічні характеристики з динамікою роботи реального об'єкта, по-друге, узгодити фізичну форму сигналів, які надходять від об'єкта до ЕОМ та видаваних з ЕОМ на об'єкт.

Якщо алгоритм управління носить жорсткий характер, досить простий та повністю відомий замовнику та розробнику, то достатньо легко запрограмувати роботу ЕОМ, заклавши в її пам'ять, наприклад, автономну таблицю з врахуванням кодування входів та виходів, пов'язаних з об'єктом управління [9, 12]. Кодування внутрішніх станів при цьому може бути довільним [10, 11, 12].

Якщо ж алгоритм управління не носить жорсткого характеру, якщо в процесі прийняття рішень про видачу сигналів на об'єкт управління вирішуються різноманітні оптимізаційні задачі, якщо, нарешті, на першому етапі експериментальної перевірки системи управління здійснюється накопичення нової інформації про об'єкт, раніше невідомої замовнику чи розробнику, то застосування ЕОМ стає виправданим [1, 2, 6, 13, 14].

Мета

Мета роботи – вдосконалення математичних моделей та алгоритмів для автоматизованих систем підтримки прийняття рішень диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом.

Методика

Мета СДУМАТ – забезпечити виконання розкладу руху з мінімальними відхиленнями від запланованого за допомогою використання відповідних диспетчерських дій (ДД). Тому алгоритми СДУМАТ орієнтовані на вибір диспетчерських дій, які компенсують збурюючі фактори (ЗФ). Вони мають математичний характер та легко моделюються.

Модель функціонування маршруту для СДУМАТ, що розробляється, описується системою рівнянь: маршруту та процес

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

$$\begin{aligned}
 t_i^1 &= t_i^{nup(k)}; \\
 Q_i^0 &= 0; \\
 q_i^1 &= 0; \\
 v_i^j &= \frac{i}{n} \eta_i \rho^j(t); \\
 q_i^j &= v_i^j Q_i^{j-1}; \\
 r_i^j &= A_i - (Q_i^{j-1} - q_i^j); \\
 P_i^j &= \int_{t_{i-1}^j}^{t_i^j} \rho^j(t) dt; \\
 d_i^j &= P_i^j + g_{i-1}^j; \\
 Q_i^j &= \min \{ A_i, A_i + d_i^j - r_i^j \}; \\
 g_i^j &= \max \{ 0, d_i^j - r_i^j \}; \\
 \tilde{P}_i^j &= d_i^j - g_i^j; \\
 q_i^n &= Q_i^{n-1}; \\
 P_i^n &= 0; \\
 \tau_{ni}^j &= \eta_i (\tilde{P}_i^j + q_i^j); \\
 \tau_{zi}^j &= \tau_z(U); \\
 \tau_i^j &= \begin{cases} \tau_{ni}^j, & \text{if } \tau_{zi}^j \leq \tau_{ni}^j, \\ \tau_{zi}^j, & \text{if } \tau_{zi}^j > \tau_{ni}^j; \end{cases} \\
 v_i^j &= v(U); \\
 \tilde{\tau}_i^{j+1} &= l^j / v_i^j; \\
 t_i^{j+1} &= t_i^j + \tilde{\tau}_i^{j+1} + \tau_i^j; \\
 \tau_i^j &= t_i^j - t_{i-1}^j.
 \end{aligned}$$

$$i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

де m – кількість РО; n – кількість ПЗ; l^j – відстань між j -м та $j+1$ -м ПЗ; $t_i^{nup(k)}$ – час початку k -го рейсу; A_i – місткість i -ї РО; $v(U)$ – випадкова величина, яка характеризується законом розподілу швидкості руху при даній ознаці управління; $\tau_z(U)$ – випадкова величина, яка визначає час затримки як функцію від ознаки управління; η_i – випадкова величина, яка характеризує інтенсивність посадки та висадки для i -ї РО; v_i^j – випадкова величина, яка характеризує кількість пасажирів, що виходять

з i -ї РО на j -му ПЗ; $\rho^j(t)$ – випадкова величина, яка характеризує щільність пасажиропотоку на j -му ПЗ; t_i^j – час прибуття РО на j -й ПЗ; Q_i^j – наповнення i -ї РО після обслуговування j -го ПЗ; $\tilde{\tau}_i^{j+1}$ – час, затрачений на рух по перегону маршруту між j -м та $j+1$ -м ПЗ; τ_{ni}^j – час, який витрачається на посадку та висадку пасажирів на j -му ПЗ i -ї РО; τ_i^j – час руху між $i-1$ -ю та i -ю РО після проходження j -го ПЗ; \tilde{P}_i^j , q_i^j – кількість пасажирів, що зайшли та вийшли відповідно; $v(U)$ – випадкова величина, що характеризується законом розподілу швидкості руху при даній ознаці управління; P_i^j – кількість пасажирів, що прийшли до j -го ПЗ за час між прибуттям i -ї та $(i-1)$ -ї РО; r_i^j – резерв місць в i -ї РО на j -му ПЗ; g_i^j – кількість необслужених пасажирів i -ю РО j -м ПЗ; d_i^j – потреба в перевезенні з j -го ПЗ в момент прибуття i -ї РО.

Вихідними даними для моделювання є величини m ; n ; l^j ; $t_i^{nup(k)}$; A_i ; $v(U)$; $\tau_z(U)$; η_i ; $\rho^j(t)$. Інші величини обчислюються рекурсивно в процесі функціонування моделі.

Випадкові величини η_i та $\rho^j(t)$ визначаються в результаті виконання дослідження пасажиропотоків.

Характеристики густоти пасажиропотоку формуються на основі добових об'ємів перевезень на маршруті A^j та відомих загальних закономірностей розподілу перевезень по годинах доби, заданим у вигляді вагових оцінок W_{in} , таких, що $\sum_i W_{in} = 1$, $i = \overline{1, T}$, $n = \overline{1, N}$, де N – кількість можливих варіантів розподілу перевезень.

Отже, $\rho^j(t)$ будемо обчислювати за формулою $\rho^j(t) = W_{in} \frac{A^j}{N}$, де момент моделювання t належить одному з часових відрізків i .

Моделювання системи збору інформації полягає в присвоєнні деяким ПЗ ознак контрольного пункту (КП). При переході моделі в стан, в якому i -а РО знаходиться на КП, обчислю-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

ються величини: $t_{inp}^{KП}$ – час прибуття на КП; $K_i = 25 - 30\%$ – коефіцієнт наповнення РО (тут [.] – «ціла частина»), який є аналогом інформації, що отримують за допомогою СДУМАТ при даному КТС, який разом з номерами РО та ПЗ поступають на вхід моделі СДУМАТ.

Блочна структура моделі дозволяє використовувати різні алгоритми та виконувати їх порівняльний аналіз. Вибір оптимальних алгоритмів управління рухом є найважливішим завданням побудови СДУМАТ.

Вхідною інформацією для моделі СДУМАТ служать плановий розклад руху, а також інформація, що поступає з моделі маршруту: момент проходження рухомої одиниці КП, коефіцієнти наповнення РО, повідомлення про сходи РО з лінії.

Основним критерієм якості задоволення потреби в поїздках приймаємо час очікування пасажирів транспорту. Структура моделі дозволяє безпосередньо оцінювати цю величину. Зауважимо, що в реальних умовах можлива тільки приблизна оцінка часу очікування пасажирів транспорту.

Будемо вважати потік пасажирів на зупинці пуассонівським з параметром ρ .

Тоді за час τ на зупинку в середньому приходять $\rho\tau$ пасажирів. Час очікування пасажирів автобуса (РО) в середньому рівний половині інтервалу очікування. Тоді сумарні затрати часу для всіх пасажирів на очікування транспорту, які зібрались за час τ ,

$$Z = \rho\tau\tau / 2 = \rho\tau^2 / 2.$$

Час τ збору пасажирів приймається рівним інтервалу часу між прибуттям на зупинку двох сусідніх РО. Якщо пасажир не був обслугованим РО, що підійшла, то час очікування ним приходу наступної рівний вже не половині, а інтервалу між РО. Тому сумарні затрати часу на j -му ПЗ за інтервал $\tau_{i-1,i}^j$ між прибуттям $i-1$ -ї та i -ї РО

$$Z_i^j = P_i^j \frac{\tau_{i-1,i}^j}{2} + g_{i-1}^j \tau_{i-1,i}^j. \quad (2)$$

Середні витрати часу очікування S_i^j обчислюються за формулою

$$S_i^j = Z_i^j / P_i^j. \quad (3)$$

На основі виразу (2) можна визначити затрати для кожної РО за рейс $Z_i = \sum_{j=1}^n Z_i^j$,

$S_i = \sum_{j=1}^n S_i^j$ відповідно та для кожного ПЗ за інтервал часу між приходами n рухомих одиниць: $\tau = t_{K+n}^j - t_K^j$; $Z^j = \sum_{i=K}^{K+n} Z_i^j$; $S^j = \sum_{i=K}^{K+n} S_i^j$.

Величини Z_i^j можуть обчислюватись для всіх i, j в процесі функціонування моделі за формулою (2).

Розглянемо вплив збурюючих факторів на величину параметрів Z та S .

Відхилення РО від розкладу. Допустимо, що на достатньо короткому часовому інтервалі щільність пасажиропотоку постійна, $\rho^j(t) = \rho^j$.

Тоді

$$P_i^j = \rho^j \tau_{i-1,i}^j$$

та

$$P_i = \sum_{j=1}^n P_i^j = \sum_{j=1}^n \rho^j \tau_{i-1,i}^j, \quad (4)$$

де P_i – сумарний пасажиропотік, який приходить на i -у РО за рейс.

СДУМАТ може формувати такі управляючі дії: «зменшення часу рейсу», «розсування інтервалу», «перехід на рівномірний інтервал», «перехід з маршруту на маршрут» та «введення резервної РО».

Зокрема, зниження ΔJ_p сумарного часу очікування пасажирів за рахунок введення резерву при сході РО з лінії визначиться у вигляді

$$\Delta J_p = \sum_{j=1}^5 \lambda_j \tau_j(t_c) t_{cj} -$$

$$- \sum_{j=1}^5 \lambda_j \tau_j(t_p) t_{pj} + \sum_{j=1}^5 \lambda_j \tau_j(t_p) t_{cj},$$

де λ_j – інтенсивність пасажиропотоку на j -му часовому відрізку; $\tau_j(t_c)$ – частина j -го часового відрізка, яка перекривається часом сходження РО; t_{cj} – середній час очікування пасажирів на j -му часовому відрізку при сході РО на ньому;

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

$\tau_j(t_c)$ – частина j -го часового відрізка, яка перекривається часом сходу РО; t_{pj} – середній час очікування пасажирів при введенні резервної РО на j -му часовому відрізку; $\tau_j(t_p)$ – частина j -го часового відрізка, яка знаходиться між моментами сходу РО з лінії та введенні резервної РО.

Перехід РО з одного маршруту на інший можна ототожнювати з вводом резервної РО на перший маршрут. Тому зниження ΔJ_n сумарного часу очікування пасажирів на першому маршруті за рахунок переходу РО з маршруту на маршрут визначиться по аналогії з ΔJ_p .

Перевід РО з маршруту на маршрут буде виправданим тільки в тому випадку, коли зниження часу очікування пасажирів на новому маршруті буде більше збільшення часу очікування пасажирів на попередньому маршруті (в розглянутому випадку при $\Delta J_n > \Delta J_1$). Загальне зниження ΔJ часу очікування пасажирів

$$\Delta J = \Delta J_n - \Delta J_1 = \sum_{j=1}^5 \lambda_j \tau_j(t_n)(t_{cj} - t_{nj}) - \sum_{j=1}^5 \lambda_{2j} \tau_j(t_n) t_{nj} - \sum_{j=1}^5 \lambda_{2j} \tau_j t_{2j},$$

де $\tau_j(t_n)$ – частина j -го часового відрізка, на якому працює «переведена» РО; t_{cj} – середній час очікування пасажирів на j -му часовому відрізку при сході на ньому РО; t_{nj} – середній час очікування пасажирів на j -му часовому відрізку при роботі «переведеної» на ньому РО; $\tau_j(t_n)$ – частина j -го часового відрізка, яка перекривається часом переведу РО (часом τ_n); t_{nj} – середній час очікування пасажирів на j -му часовому відрізку при переведенні РО на другий маршрут; τ_j – тривалість j -го відрізка часу; t_{2j} – середній час очікування пасажирів на j -му часовому відрізку без переведу РО на другий маршрут.

При формуванні управляючої дії «перевід РО з маршруту на маршрут» у випадку сходу РО з лінії необхідно визначити таку пару мар-

шрутів, для якої забезпечується максимум загального зниження часу очікування пасажирів – $\max \Delta J$. Вибір найбільш ефективної управляючої дії при сході РО з лінії може бути здійснений при визначенні максимального зниження ΔJ_c сумарного часу очікування пасажирів:

$$\Delta J_c = \max(\Delta J_p, \Delta J_u, \Delta J_o, \max \Delta J),$$

де $\Delta J_u = \sum_{j=1}^5 \lambda_j \tau_j(\tau_u)(t_{cj} - t_{uj})$ – сумарний час очікування пасажирів за рахунок розсування інтервалу при сході РО з лінії;

$\Delta J_o = \sum_{j=1}^5 \lambda_j \tau_j(\tau_o)(t_{cj} - t_{oj})$ – сумарний час очікування пасажирів за рахунок переходу на рівномірний або оперативний інтервал руху РО; $\tau_j(\tau_o)$ – частина j -го часового відрізка, на якому інтервал руху РО здійснюється з оперативним інтервалом τ_o ; $\tau_j(\tau_u)$ – частина j -го часового відрізка, на якому інтервал руху РО збільшений на відрізок τ_u ; t_{oj} – середній час очікування пасажирів на j -му часовому відрізку при русі РО на ньому з оперативним інтервалом τ_o ; t_{uj} – середній час очікування пасажирів на j -му часовому відрізку при збільшенні інтервалу руху РО на ньому на величину τ_u .

Таким чином, при кожному сході РО з лінії доцільно формувати таку управляючу дію, яка забезпечує максимальне зниження часу очікування пасажирів (порівняно з випадком відсутності управляючих дій).

Якщо на цей маршрут перевести РО, то ΔJ_y зменшиться на ΔJ_n , на величину зниження сумарного часу очікування пасажирів за рахунок переведу РО з маршруту на маршрут. Якщо ввести резервну РО, то величина ΔJ_y зменшиться на ΔJ_p , на величину зниження сумарного часу очікування пасажирів за рахунок введення резервної РО.

Вибір типу управляючої дії при позаплановому збільшенні пасажиропотоку на маршруті може бути здійснений при визначенні максимального зменшення величини ΔJ_y :

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

$$J_y = \max\{(\Delta J_y - \Delta J_n), (\Delta J_y - \Delta J_p)\},$$

де $\Delta J_y = \sum_{j=1}^5 \Delta \lambda_j \tau_j(t_n) t_{yj}$; t_{yj} – середній час очікування

пасажирів на j -му часовому відрізку при збільшенні на ньому пасажиропотоку.

Таким чином, встановлено, що всі збурюючі фактори погіршують показники якості обслуговування пасажирів. На описаній моделі – це явище можна піддати кількісній оцінці. Моделюючи ЗФ та обчислюючи величини Z та S до порушення руху та після прийняття диспетчерської дії, можна визначити швидкість реакції системи на ЗФ та ДД; ефективність ДД, а в кінцевому результаті – безпосередній економічний ефект від впровадження СДУМАТ.

Результати

Запропонована в статті модель реалізована в MathCAD. Приклад розрахунку випадкових величин, які були використані в описаній вище стохастичній математичній моделі, наведений на рис. 2. Зокрема, моделюються параметри \tilde{P}_i^j , q_i^j – кількість пасажирів що зайшли та вийшли відповідно, залежно від зміни графіка руху РО.

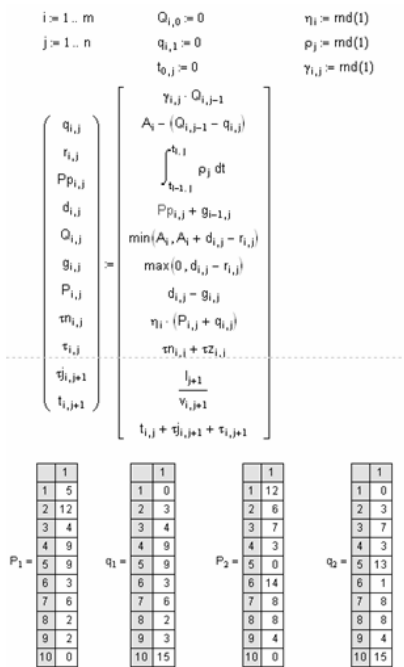
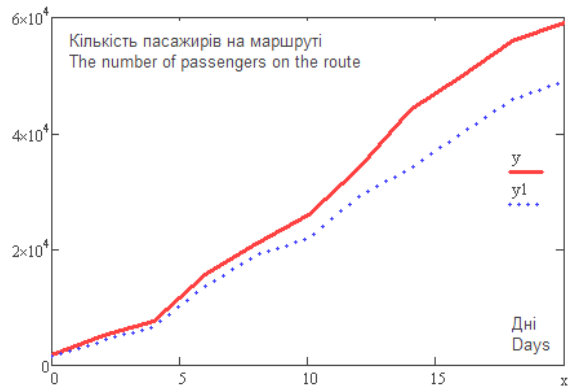


Рис. 2. Модель СДУМАТ в Mathcad
Fig. 2. Model of SDCMPT in Mathcad

На рис. 3 наведені результати моделювання.



y — — використання моделі СДУМАТ;
 $y1$ — без використання моделі

Рис. 3. Результати моделювання СДУМАТ в Mathcad

Fig. 3. The simulation results of SDCMPT in Mathcad

Впровадження одержаних результатів досліджень дало можливість значно підвищити якість транспортного обслуговування, зокрема на автобусних маршрутах № 203 та № 510 м. Києва.

Економічний ефект склав 3 730 та 4 500 грн на місяць, продуктивність маршрутів зросла на 7,1 та 8,3 %, відповідно.

Модель пасажиропотоку з використанням пакету Mathcad дозволила зробити висновки:

- запропонована математична модель є працездатною та дозволяє адекватно описувати процес руху рухомої одиниці по маршруту;
- використання пакету Mathcad в реальній практиці експлуатації СДУМАТ не є можливим, оскільки його застосування передбачає певну кваліфікацію користувача, отже подальша робота планується в напрямку розробки відповідного програмного продукту.

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна результатів, наведених в статті, полягає в тому, що вперше розроблено модель для системи підтримки прийняття рішень диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом з урахуванням впливу найбільш значущих стохастичних чинників. Отримано систему рівнянь, яка моделює функціонування маршруту.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Практична значимість отриманих результатів полягає в тому, що розроблено додаток в середовищі MathCad для моделювання СДУМАТ. Додаток реалізує запропоновану модель, на основі якої вирішене практичне завдання вибору керуючих впливів для міських автобусних маршрутів.

Перспективи подальших досліджень полягають реалізації запропонованої моделі на алгоритмічних мовах високого рівня для перспективних СДУМАТ великих міст України, що дозволить диспетчеру миттєво оцінювати вплив збурюючих впливів (відхилення рухомої одиниці від розкладу, схід з лінії, погіршення умов руху, переповнення на маршруті) на розклад руху автобусів та маршрутних таксі.

Висновки

1. Виконано аналіз сучасних моделей для систем диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом. Показано, що детерміновані моделі, які використовуються в системах управління на автотранспорті, часто виявляються неадекватними реальним процесам перевезення пасажирів автобусами та маршрутними таксі, особливо у великих містах.

2. Запропоновано модель для систем диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом з врахуванням впливу найбільш значимих факторів. Отримано систему рівнянь, яка моделює параметру руху на автобусних маршрутах та дозволяє миттєво оцінювати вплив збурюючих впливів на показники якості обслуговування пасажирів та скласти оптимальний розклад руху транспорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизированные системы управления на автомобильном транспорте : учебник для проф. образования / А. Б. Николаев, С. В. Алексахин, И. А. Кузнецов, В. Ю. Строганов ; под. ред. А. Б. Николаева. – Москва : Академия, 2013. – 288 с.
2. Дубова, С. В. Особенности развития пассажирского транспорта в Киеве / С. В. Дубова // Містобудування та територ. планування : наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва та архіт. – Київ, 2003. – Вип. 15. – С. 68–72.
3. Информационные технологии на автомобильном транспорте : учеб. пособие / В. М. Власов, А. Б. Николаев, А. В. Постолиит, В. М. Приходько ; под. ред. В. М. Приходько. – Москва : Наука, 2006. – 282 с.
4. Лахно, В. А. Использование объектно-ориентированных языков программирования для проектирования АСУ пассажирскими перевозками / В. А. Лахно, А. И. Пилипенко // Искусств. интеллект. – 2006. – № 4. – С. 201–210.
5. Лахно, В. А. Повышение эффективности систем управления автомобильным пассажирским транспортом методами стохастического моделирования : монография / В. А. Лахно, А. И. Пилипенко. – Луганск : Элтон-2, 2007. – 177 с.
6. Методика имитационного моделирования работы городского транспорта / В. Н. Галушко, В. Д. Левчук, И. В. Максимей [и др.] // Электрон. моделирование. – 2006. – № 2. – С. 79–95.
7. Постолиит, А. В. Информационное обеспечение автотранспортных систем : учеб. пособие / А. В. Постолиит, В. М. Власов, Д. Б. Ефименко. – Москва : МАДИ, 2004. – 241 с.
8. Телематика на автомобильном транспорте : учеб. пособие / В. М. Власов, С. В. Жанказиев, А. Б. Николаев, В. М. Приходько ; под. ред. В. М. Приходько. – Москва : МАДИ, 2003. – 173 с.
9. Continuing Evolution of Travel Time Data Information Collection and Processing / Ph. Tarnoff, D. Bullock, S. Young [et al.] // Transportation Research Board Annual Meeting. TRB. – 2009. – Vol. 1, № 2. – P. 23–45.
10. Dynamic Traffic Light Sequence Algorithm Using RFID / A. S. Khalid, Al-Khateeb, A. Y. Jaiz [et al.] // J. of Computer Science. – 2008. – № 4 (7). – P. 517–524. doi : 10.3844/jcssp.2008.517.524.
11. Horowitz, R. Control design of an automated highway system / R. Horowitz, P. Varaiya // Proc. of the IEEE. – 2000. – Vol. 88. – Iss. 7. – P. 913–925. doi: 10.1109/5.871301.
12. Tyagi, V. Vehicular Traffic Density State Estimation Based on Cumulative Road Acoustics / V. Tyagi, S. Kalyanaraman, R. Krishnapuram // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2012. – Vol. 13. – Iss. 3. – P. 1156–1166. doi: 10.1109/TITS.2012.2190509.
13. Transport Logistics. Shared solution to common challenges [Електронний ресурс]. – Paris : Organization for economic cooperation and development, 2002. – Режим доступу: <http://www.internationaltransportforum.org/pub/pdf/02LogisticsE.pdf>. – Назва з екрана. – Перевірено : 14.03.2016.
14. Williams, J. C. Urban Traffic Network Flow Models / J. C. Williams, H. S. Mahmassani, R. Herman // Transportation Research Record. Transportation Research Board. – 1987. – № 1 (8). – P. 256–269.

В. А. ЛАХНО^{1*}, В. М. СОБЧЕНКО^{2*}^{1*}Каф. «Организация комплексной защиты информации», Европейский университет, бульв. академика Вернадского, 16-В, Киев, Украина, 03115, тел. +38 (044) 276 52 51, эл. почта valss21@ukr.net, ORCID 0000-0001-9695-4543^{2*}Каф. «Информационные системы и математические дисциплины», Европейский университет, бульв. академика Вернадского, 16-В, Киев, Украина, 03115, тел. +38 (044) 423 00 78, эл. почта floydrose@i.ua, ORCID 0000-0002-2018-5511

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМ ПАССАЖИРСКИМ АВТОТРАНСПОРТОМ

Цель. Научная работа посвящена дальнейшему развитию математических моделей и алгоритмов для автоматизированных систем поддержки принятия решений диспетчерского управления городским пассажирским автотранспортом. **Методика.** Системы диспетчерского управления городским пассажирским автотранспортом предназначены обеспечить выполнение расписания движения с минимальными отклонениями от запланированного с помощью использования соответствующих диспетчерских воздействий. Алгоритм систем ориентирован на выбор диспетчерских воздействий, которые компенсируют возмущающие воздействия. В качестве критерия оценки работы систем диспетчерского управления предложено использовать показатель минимума времени ожидания пассажирами автобусов и маршрутных такси на остановках. **Результаты.** На основе проведенного анализа предшествующих исследований, в рамках существующей теории движения потоков автотранспорта, предложена модель для системы диспетчерского управления городскими пассажирскими подвижными единицами с учетом влияния наиболее значимых стохастических факторов на график движения автобусов и маршрутных такси в больших городах. Получена система уравнений, которая моделирует параметры движения подвижных единиц на автобусных маршрутах, позволяет мгновенно оценивать влияние возмущающих воздействий на показатели качества обслуживания пассажиров и, при необходимости, составлять оптимальное расписание движения. **Научная новизна.** Авторами предложена новая модель для систем поддержки принятия решений диспетчерского управления городским пассажирским автотранспортом с учетом влияния наиболее значимых стохастических факторов, в частности таких, как переполнение пассажирами автобусов и маршрутных такси, их сход с линии, отклонение от расписания и скоростного режима на маршруте и т.д., на показатели качества обслуживания. Модель позволяет также оптимизировать расписание движения. **Практическая значимость.** Результаты работы позволяют усовершенствовать подходы к построению моделей, используемых в системах диспетчерского управления городскими автобусными маршрутами, а также усовершенствовать выбор управляющих воздействий для подобных систем в больших городах Украины.

Ключевые слова: автоматизированные системы; диспетчерское управление; математическая модель; алгоритм управления; городской пассажирский автотранспорт

V. A. LAKHNO^{1*}, V. M. SOBCHENKO^{2*}^{1*}Dep. «Complex Information Security Organization», European University, Academician Vernadskiy Blvd., 16-V, Kyiv, Ukraine, 03115, tel. +38 (044) 276 52 51, e-mail valss21@ukr.net, ORCID 0000-0001-9695-4543^{2*}Dep. «Information Systems and Mathematical Disciplines», European University, Academician Vernadskiy Blvd., 16-V, Kyiv, Ukraine, 03115, tel. +38 (044) 423 00 78, e-mail floydrose@i.ua, ORCID 0000-0002-2018-5511

THE AUTOMATIC SYSTEM'S MODEL OF DECISION-MAKING SUPPORT FOR DISPATCHING CONTROL OF THE CITY PASSENGER TRAFFIC

Purpose. This scientific work considers the further development of mathematical models and algorithms for automatic decision support for dispatching management of the city passenger traffic. **Methodology.** Systems of dispatching management for the city passenger transport are to provide the carrying out of the routes according schedules with minimal deviations from the planned ones through the using of appropriate control actions. The systems' algorithm focuses on the selection of control actions that compensate the disturbances. It is proposed to use the in-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

dex of the waiting time minimum for passengers of buses and taxis at stops as a criterion for evaluating of dispatching control systems work. **Findings.** Based on the conducted analysis of the research within the existing theory of traffic flow of vehicles, it was proposed the model for the system of dispatching management for urban passenger moving units considering the effect of the most important stochastic factors on the schedule of buses and taxis movement in large cities. The obtained system of equations that models the parameter of movement on the bus routes allows you to assess quickly the influence of disturbing effects on the service quality indicators of passengers and, if necessary, to draw up the optimal schedule. **Originality.** The authors propose a new model for decision support of dispatching management for the city passenger transport. They take into account the effect of the most important stochastic factors, such as the overflowing buses and taxis, their descent from the lines, delays, deviations from the speed limit on the route, etc., on indicators of service quality, as well as optimizing the schedule. **Practical value.** The results allow to improve approaches to building models using in the systems of dispatching management of urban bus routes, as well as to improve the selection of control actions for similar systems in large cities of Ukraine.

Keywords: automatic systems; dispatching control; model; control algorithm; public passenger vehicles

REFERENCES

1. Nikolayev A.B., Aleksakhin S.V., Kuznetsov I.A., Stroganov V.Yu. *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya na avtomobilnom transporte* [Automated control systems on the motor transport]. Moscow, Akademiya Publ., 2013. 288 p.
2. Dubova S.V. Osobennosti razvitiya passazhirskogo transporta v Kiyeve [Features of development of passenger transport in Kiyev]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia* [Town planning and territorial planning], 2003, no. 15, pp. 68–62.
3. Vlasov V.M., Nikolayev A.B., Postolit A.V., Prikhodko V.M. *Informatsionnye tekhnologii na avtomobilnom transporte* [Information technologies on automobile transport]. Moscow, Nauka Publ., 2006. 282 p.
4. Lakhno V.A., Pilipenko A.I. Ispolzovaniye obektno-oriyentirovannykh yazykov programmirovaniya dlya proyektirovaniya ASU passazhirskimi perevozkami [Use of object-oriented programming languages for design of ACS passenger traffic]. *Iskusstvennyy intellekt – Artificial Intelligence*, 2006, no. 4, pp. 201–210.
5. Lakhno V.A., Pilipenko A.I. *Povysheniye effektivnosti sistem upravleniya avtomobilnym passazhirskim transportom metodami stokhasticheskogo modelirovaniya* [Increase of efficiency of control systems of passenger motor vehicles of methods of stochastic modeling]. Luhansk, Elton-2 Publ., 2007. 177 p.
6. Galushko V.N., Levchuk V.D., Maksimey I.V., Mogila V.S., Chechet P.L. Metodika imitatsionnogo modelirovaniya raboty gorodskogo transporta [Imitating modeling technique of the city transport work]. *Elektronnoye modelirovaniye – Electronic Modeling*, 2006, no. 2, pp. 79–95.
7. Postolit A.V., Vlasov V.M., Yefimenko D.B. *Informatsionnoye obespecheniye avtotransportnykh sistem* [Information support of motor transportation systems]. Moscow, MADI Publ., 2004. 241 p.
8. Vlasov V.M., Zhankaziyev S.V., Nikolayev A.B., Prikhodko V.M. *Telematika na avtomobilnom transporte* [Automatic locomotive signaling and automatic control]. Moscow, MADI Publ., 2003. 173 p.
9. Tarnoff Ph., Bullock D., Young S., Wasson J., Ganig N., Sturdevant J. Continuing Evolution of Travel Time Data Information Collection and Processing. *Transportation Research Board Annual Meeting*, 2009, vol. 1, no. 1, pp. 23–45.
10. A. S. Khalid, Al-Khateeb, A. Y. Jaiz, W. F. Johari, Al-Khateeb. Dynamic Traffic Light Sequence, *Science Publications. Journal of Computer Science*, 2008, no. 4 (7), pp. 517–524.
11. Horowitz R., Varaiya P. Control design of an automated highway system. *In Proceedings of the IEEE*, 2000, vol. 88, pp. 913–925.
12. Tyagi V., Kalyanaraman S., Krishnapuram R. Vehicular Traffic Density State Estimation Based on Cumulative Road Acoustics. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2012, vol. 6, pp. 456–468.
13. Transport Logistics. Shared solution to common challenges Electronic data. Available at: <http://www.internationaltransportforum.org/pub/pdf/02LogisticsE.pdf/> (2002) (Accessed 27 March 2016).
14. Williams J.C., Mahmassani H.S., Herman R. Urban Traffic Network Flow Models. *Transportation Research Record. Transportation Research Board*, 1987, no. 1 (8), pp. 256–269.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. О. Г. Корченком (Україна); д.т.н., проф. В. І. Шинкаренком (Україна)

Надійшла до редколегії: 29.01.2016

Прийнята до друку: 31.03.2016