

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ РАЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРАЦІ ВОДІЇВ АВТОБУСІВ НА МАРШРУТІ У ПРОЦЕСІ ПЛАНУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Горбачов П.Ф., Козачок Л.М., ХНАДУ

Анотація. У даній статті подано математичну постановку задачі складання розкладів руху транспортних засобів на маршруті та організації праці водіїв, для вирішення якої необхідно область діаграми випуску автобусів у кожну годину доби надати у вигляді сукупності прямокутників, що відповідають певним умовам та відображають режими роботи персоналу і рухомого складу на маршруті під час здійснення пасажирських перевезень населення міста. У ході досліджень створено раціональні алгоритми вирішення поставленої задачі диспетчеризації пасажирських перевезень.

Ключові слова: математична модель, побудова алгоритму, транспортна система, календарне планування, організація роботи на маршруті.

Вступ

Для повного задоволення потреб населення у використанні можливості пересувань у населених пунктах, для забезпечення високої культури обслуговування пасажирів та забезпечення безпеки перевезень, для ефективного використання транспортних засобів і для введення передових методів роботи необхідно забезпечення високого рівня організації маршрутних перевезень пасажирів, основними завданнями якої і є усі перераховані вище передумови. Сучасному рівню організації роботи громадського маршрутного транспорту в більшості міст України властиві спрощені підходи до створення транспортної пропозиції, які не дозволяють забезпечити високу якість обслуговування пасажирів. Тому основними напрямками діяльності при організації пасажирських перевезень є розробка раціональних маршрутних схем, визначення кількості рухомого складу на маршруті, складання розкладів руху транспортних засобів, графіків випуску транспортних засобів на маршрут та організація праці водіїв.

Так, якщо перші питання мають програмну реалізацію у сучасних пакетах транспортного планування аж до складання маршрутного розкладу, то два останніх питання ще не вирішені на програмному рівні до сьогодні, хоча є досить актуальними, оскільки виступають обов'язковим етапом роботи транспортних підприємств з організації праці водіїв та транспортних засобів на міських маршрутах.

Аналіз публікацій

Основні праці, які складають теоретичну основу оцінки результатів транспортної роботи, спрямовані на вирішення наукових проблем функціонування та розвитку систем пасажирського транспорту, вивчення усіх компонентів транспортних систем, управління пасажирськими перевезеннями.

Традиційні методи планування транспортної роботи, управління розкладами руху транспортних засобів на маршрутах та організації праці водіїв надані та розгорнуто описані у роботах М.Є. Антошвілі, Л.А. Бронштейна, Г.А. Варелопуло, В.Л. Геронімуса, А.П. Кожина, В.Н. Лівшица та ін.

У роботах Гудкова В.А. та Міротіна Л.Б. [4] розглянуто закони формування переміщень населення у містах та методи її прогнозування, детально висвітлено всі питання організації роботи автобусів на міських маршрутах та диспетчерського керівництва рухом.

Ceder A. у своїй книзі [5] підвів підсумки роботи щодо поліпшення методів диспетчеризації громадського транспорту та економічної ефективності їх роботи.

Серед українських вчених слід відзначити спільні праці Дмитриченко М. Ф., Левковця П. Р., Баранова Г. Л., Беляєвського Л. С. [6], що були спрямовані на розроблення та застосування новітніх технологій в системах логістичного управління та інформаційно-навігаційного забезпечення рухомих транспортних об'єктів, оптимізації транспортних потоків місцевого та міжнародного призначення з урахуванням комплексної взаємодії

різних видів транспорту. У роботах Вдовиченко В.О. [3] розглядається розвиток системи міського громадського пасажирського транспорту, вивчаються та досліджуються стани її функціонування та сталість як системи, проводиться аналіз чинників дестабілізації з використанням розподілу ймовірності дестабілізації станів системи, з метою впровадження заходів для зниження негативних наслідків зміни сталості системи міського громадського пасажирського транспорту.

Однак існуючі на цей час наукові роботи з організації маршрутних перевезень пасажирів ще не надають практичним робітникам галузі надійного методичного та програмного забезпечення щодо раціонального планування поточної роботи рухомого складу на маршрутах, що вимагає вирішення цього питання задля підвищення ефективності роботи міських маршрутів з перевезення пасажирів.

Мета і постановка завдання

Потреби населення в поїздках закономірно змінюються за періодами доби, досягаючи максимуму в години пік. Пасажиропотік утворюється рухом пасажирів через певне місце транспортної мережі. Інтенсивність пасажиропотоку на міських маршрутах подають у графічному вигляді залежно від часу доби для максимально завантаженої ділянки маршруту.

Потребу в рухомому складі, який повинен працювати на маршруті, встановлюють, виходячи з необхідності призначення на маршрут такої кількості транспортних засобів заданої пасажиромісткості, яка забезпечує мінімум витрат перевізника, за умови освоєння пасажиропотоку з дотриманням нормативних вимог щодо якості транспортного обслуговування пасажирів. Рухомий склад транспортних засобів, який повинен працювати у даний час на маршруті, визначає роботу водіїв у бригаді, у тому числі змінність їх роботи.

Розподіл автобусів по годинах доби – необхідний етап у переході від пасажиропотоку до числа автобусів на маршруті. Обидва зазначені завдання мають загальну інформаційно-методичну основу.

Таким чином, для раціональної організації праці водіїв автобусів маршруту вихідною інформацією є відкоригована діаграма випуску ефективної кількості автобусів за годинами доби, вона будується у прямокутній системі координат (рис. 1).

По осі абсцис відкладається час роботи автобусів на маршруті, а по осі ординат – обчислені значення необхідної кількості автобусів A_m різної місткості за годинами доби, ці значення повинні бути скориговані з урахуванням встановленого рівня якості обслуговування пасажирів, інтервалу руху на маршруті, місткості автобусів тощо.

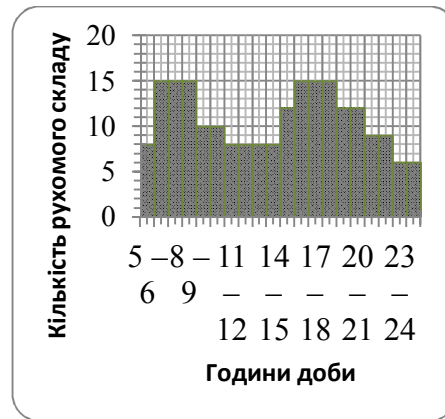


Рис. 1. Діаграма випуску автобусів у кожену годину доби

Площа діаграми випуску автомобілів являє собою транспортну роботу, яка вимірюється в автомобіле-годинах.

Для планування раціональної організації роботи автобусів та праці водіїв набув визнання графоаналітичний метод [2]. Метою графоаналітичного методу є визначення мінімально необхідного набору режимів роботи автобусів і водіїв на маршруті за досягнення найменших загальних витрат (машино-годин) з урахуванням обмежень, що визначають нормативи (тривалість змін водіїв, необхідність надання обідніх перерв, змінність роботи тощо). Мета цього методу – мінімізація сумарної тривалості роботи транспортних засобів на маршруті, при якій повністю забезпечуються задані потреби у кількості рухомого складу у кожену годину роботи маршруту.

У разі застосування даного методу режими праці водіїв на маршруті позначаються на діаграмі випуску автобусів сукупністю клітин, які є одиничними квадратами зі сторонами, рівними одиничному відрізку часу та одиничному відрізку відносно кількості автобусів, що працюють на маршруті. Такі клітини об'єднуються у прямокутники, що відповідають режимам роботи водіїв автобусів. Таким чином, для організації праці водіїв та транспортних засобів на міських маршрутах необхідно область діаграми випуску автобусів у кожену годину доби надати у вигляді

сукупності прямокутників, що відповідають певним умовам та відображають режими роботи персоналу і рухомого складу.

Тобто ми маємо до розгляду багатозв'язну ортогональну область, площа якої дорівнює транспортній роботі, її ще можна назвати багатозв'язним ортогональним полігоном. Всі внутрішні кути цієї області дорівнюють $\pi/2$ або $3\pi/2$ радіан, а тому вона може бути розбита на прямокутники, тобто подана у вигляді диз'юнктного об'єднання прямокутників.

Розбиття області діаграми випуску необхідної кількості транспортних засобів за годинами доби на прямокутники

Опишемо навколо багатозв'язної ортогональної області, що розглядається, прямокутник. Далі розіб'ємо її на клітини сіткою, вертикальні границі якої проходять через кожен час, відкладений по осі абсцис, а горизонтальні – через відмітки кількості транспортних засобів по осі ординат із шагом у кількості одного транспортного засобу. У разі застосування графоаналітичного методу ці клітини об'єднуються у прямокутники; у ході об'єднання клітини, які позначають роботу автобусу в певну годину доби, можуть пересуватися по вертикалі, що відповідає призначенню іншого транспортного засобу в дану зміну та у даний час роботи. Таким чином, область діаграми випуску транспортних засобів стає багатозв'язною.

На рис. 2 подано приблизний вигляд діаграми, який вона має у ході розподілу змін роботи водіїв транспортних засобів на маршруті у разі графоаналітичного методу.

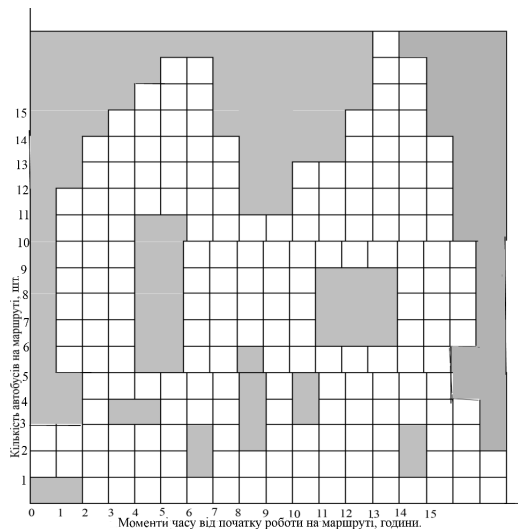


Рис. 2. Деякий вигляд діаграми випуску транспортних засобів у кожен годину доби

Побудуємо алгоритм розбиття вказаної ортогональної області, яка відповідає діаграмі роботи транспортних засобів на маршруті, на прямокутники.

I. Опишемо навколо отриманої багатозв'язної ортогональної області прямокутник. Багатокутні області, які не ввійшли в полігон, але є частиною описаного прямокутника, уявімо як перешкоди. Далі розділимо багатокутні перешкоди наскрізними лініями таким чином, щоб вони розбилися на прямокутники. Це можна зробити декількома способами, але, оскільки за умовою задачі, перешкоди є однозв'язними, тобто усередині них не можуть розміщатися інші предмети, то лінії всередині них фіктивні, тому саме буде проводитися розбиття всередині перешкод, не має значення.

Помістимо початок відліку прямокутної системи координат у лівий нижній кут БОП (багатозв'язної ортогональної області).

Проведемо вертикальні лінії, що є продовженням сторін перешкод, точки перетину їх з віссю Ox позначимо x_1, x_2, \dots, x_{l_1} , $l_1 = 2k + 1$ – непарне число, якщо перешкода починається із самого початку області, від осі Oy , та $l_1 = 2k$ – парне число в іншому випадку. Значення x_1, x_2, \dots, x_{l_1} утворюють множину X , додамо до неї значення 0 і L , якщо перешкоди не починаються від осі Oy і не закінчуються біля правої межі області (рис. 3).

Також проведемо горизонтальні лінії, які є продовженням горизонтальних сторін перешкод, точки перетину їх з віссю Oy позначимо y_1, y_2, \dots, y_{l_2} , до множини Y додамо значення 0 та W .

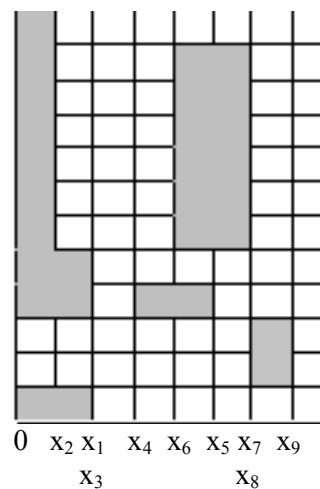


Рис. 3. Побудова множини X

У результаті математична постановка задачі може бути записана таким чином:

Дано прямокутну область заданої ширини і довжини, а також набір прямокутних перешкод заданих розмірів, w_{p_j}, l_{p_j} , $j = \overline{1, m}$ де m – кількість перешкод, w_p, l_p – довжина і ширина p -ї перешкоди. Введемо прямокутну систему координат: осі Ox і Oy збігаються відповідно з нижньою і бічною сторонами області. Положення кожної перешкоди p_j задається координатами $(\alpha_{p_j}; \beta_{p_j})$ її лівого нижнього кута.

Потрібно знайти множини $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ мінімальної потужності, що складається із прямокутників $P_i = \langle x_i, y_i, \omega_i, \lambda_i \rangle$, де (x_i, y_i) – координати нижнього лівого кута прямокутника, ω_i – його ширина, а λ_i – довжина.

Умови, яким мають відповідати прямокутники розбиття, описані у статті [8].

Також у цій статті подано представлення багатозв'язну ортогональну область у вигляді матриці, яка описує її геометричні властивості.

Таким чином, наша ортогональна область із перешкодами може бути подана у вигляді матриці

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1,s-1} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2,s-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{r-1,1} & a_{r-1,2} & \dots & a_{r-1,s-1} \end{pmatrix} = (a_{\mu\nu})_{(r-1) \times (s-1)},$$

елементи якої $a_{\mu\nu}$, де $\mu = \overline{1, r-1}, \nu = \overline{1, s-1}$ дорівнюють: $a_{\mu\nu} = 0$, якщо прямокутник з параметрами $x = \phi_\mu$; $y = \psi_\nu$; $l = \phi_{\mu+1} - \phi_\mu$; $w = \psi_{\nu+1} - \psi_\nu$ належить самій ортогональній області та $a_{\mu\nu} = 1$, якщо цей прямокутник є перешкодою.

II. Прямокутники розбиття багатозв'язної ортогональної області будемо створювати, об'єднуючи порожні клітинки, тобто клітини, що не належать перешкодам. Об'єднання здійснюємо, приєднуючи до вихідної обраної клітини суміжну їй, а саме ту, значення хоча б одного індексу позначення якої відрізняється від відповідного індексу позначення початкової клітини, а саме від позначення елемента матриці, що відповідає сітці роз-

биття багатозв'язної ортогональної області, на одиницю.

Алгоритм пошуку вихідної клітини, з якої починається об'єднання клітин у прямокутники без перешкод, буде виглядати наступним чином:

1) нехай $\mu = 1$;

2) нехай $\nu = 1$;

3) якщо $a_{\mu\nu} = 0$, то вона приймається за вихідну клітину, позначимо її a_{kl} , де $k = \mu$, $l = \nu$, та переходимо до кроку 5; інакше $\nu = \nu + 1$;

4) Перевіряємо, чи всі клітини першого рядка розбиття перевірені на відсутність перешкод, тобто чи перевірені всі елементи першого рядка матриці, відповідної сітки розбиття:

якщо $\nu \leq s - 1$, то повертаємося до кроку 3;

інакше $\mu = \mu + 1$, переходимо до наступного рівня сітки розбиття, тобто, відповідно, до наступного рядка матриці A , а потім повертаємося до кроку 2.

5) За вихідну клітину ми обрали $a_{kl} = 0$, запам'ятовуємо її.

Об'єднувати клітини області, отримані при розбитті її сіткою, будемо, об'єднуючи у прямокутні матриці нульові елементи матриці A , а потім за заданою вище відповідністю клітини розбиття, подані отриманими групами елементів, об'єднуємо у прямокутники.

Варто зауважити, що матриця A візуально відповідає перевернутій області, тобто, наприклад, нижній рядок клітин розбиття області відповідає першому рядку матриці (верхньому рядку), і так далі інші рядки розбиття.

Почнемо об'єднання порожніх клітинок області, тобто тих, що не належать перешкодам. Об'єднання робимо для виділення прямокутників, які належать загальній наперед заданій області та не належать областям перешкод.

$a_{kl} = 0$ – вихідна клітина.

Графічно, у складі спочатку даної ортогональної області, клітина розбиття, яка перша буде включена в прямокутник без перешкод, виглядає, як показано на рис. 4, де k і k' – індекси нижнього та верхнього рядків розбиття

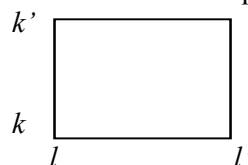


Рис. 4. Прямокутник розбиття

для клітин, включених до прямокутної області, а l і l' - індекси лівого та правого стовпців клітин прямокутної області без перешкод.

Для виділення прямокутної області без перешкод ми будемо об'єднувати клітини, отримані у разі розбиття багатозв'язної ортогональної області, які є суміжними і не належать областям перешкод; при цьому об'єднання почнемо з вихідної клітини. Сусідні клітини - це ті, які мають індекси, що відрізняються на одиницю або за першими індексами, або за другими.

Спочатку за прямокутну область без перешкод приймається вихідна клітина, їй відповідає елемент матриці A з індексами k та l . Оскільки ця клітина не належить областям перешкод, то $a_{kl} = 0$. Позначимо матрицею

$A^{(1)}$ вихідну клітину, $A^{(1)} = (a_{ij})$. Далі мат-

рицю $A^{(1)}$ ми будемо утворювати з елементів матриці A . При цьому до вихідної клітини будуть приєднуватися порожні клітини, сусідні з вихідною справа та зверху, а до елемента a_{ij} у складі матриці $A^{(1)}$ додадуться сусідні елементи матриці A , і ми отримаємо прямокутну матрицю $A^{(1)}$, яка відповідає першій виділеній прямокутній області без перешкод.

Запишемо алгоритм об'єднання:

$$\begin{aligned} 1) \quad & i=k=k' \\ & j=l=l' \\ & a_{ij} = 0; \end{aligned}$$

2) Для об'єднання клітин приєднуємо до вихідної клітини ті клітини розбиття, які розташовані праворуч від вихідної й не належать перешкодам. Їм відповідають елементи матриці з індексом стовпчика на одиницю більше:

$$j = j + 1.$$

Якщо $j \leq s-1$, то переходимо до кроку 3 цього алгоритму,

інакше переходимо до 4-го кроку.

3) Якщо $a_{ij} = 0$, то клітина a_{ij} (колишня $a_{i,j+1}$) приєднується до прямокутної області без перешкод, і індекс останньої клітинки прямокутної області без перешкод перевіряється наступним чином, якщо $l' > j$, то $l' = j$ ($l' = j + 1$), та переходимо до кроку 2. Інакше об'єднання вправо припиняється, і перейдемо до об'єднання клітин угору (наступний крок 4).

$$4) \quad i = i + 1.$$

Якщо $i > r-1$, то закінчуємо алгоритм об'єднання клітин в однозв'язну опуклу прямокутну область без перешкод, інакше переходимо до кроку 5.

5) Якщо $a_{ij} = 0$ (колишня $a_{i-1,j}$), то ми приєднуємо розглянуту клітину до виділеної прямокутної області без перешкод і перший індекс самої верхньої клітини буде $k' = i$, потім переходимо до кроку 2, на якому перевіряємо клітини, що знаходяться праворуч від щойно розглянутої клітини, на відсутність належності перешкодам;

інакше об'єднання клітин угору в прямокутну область без перешкод припиняється і переходимо до наступного кроку.

б) Запишемо отримані значення індексів k, k', l, l' .

Позначимо елементи матриці a_{kl} і $a_{k'l'}$, випишемо матрицю $A^{(1)}$, головною діагоналлю якої є діагональ, що з'єднує елементи a_{kl} і $a_{k'l'}$.

Визначимо першу прямокутну область, яка є частиною багатозв'язної ортогональної області, даної спочатку. Для цього виберемо клітини розбиття ортогональної області, відповідні елементам матриці a_{kl} і $a_{k'l'}$; ці клітини будуть кінцями побічної діагоналі прямокутника, який ми виділяємо.

Таким чином, з багатозв'язної ортогональної області виділимо прямокутник, а саме, опуклу прямокутну область без перешкод, лівий нижній кут якої є клітиною $(k;l)$ розбиття ортогональної області, а правий верхній кут - клітиною $(k';l')$ розбиття. Позначимо цей прямокутник $A_1B_1C_1D_1 (P_1)$.

III. Після того, як виділено першу прямокутну область без перешкод і виписано матрицю, що складається з нулів,

$A^{(1)} = (a_{ij})_{(k'-k) \times (l'-l)}$, із ортогональної області, що залишилася W_1 , яку ми отримали з початкової ортогональної області W після виділення прямокутної області без перешкод, тобто $W_1 = W / S_{A_1B_1C_1D_1}$, виділяється наступна прямокутна область без перешкод.

Для цього шукається вихідна клітина, тобто перша клітина шуканої прямокутної області без перешкод, від якої почнеться об'єднання порожніх клітин, потім об'єднуються сусідні з вихідною порожні клітини розбиття ортогональної області, тобто клітини без перешкод, яким відповідають нульові елементи матриці.

Вихідна клітина шукається, починаючи від $k'+1$ рядка геометричного розбиття багатозв'язної ортогональної області – це буде клітина сітки, розташована на сходінку вище від прямокутника $A_1B_1C_1D_1 (P_1)$, а для елементів матриці пошук будемо починати з $k'+1$ рядка, наступного за k' , тобто на сходінку нижче. Також слід відзначити, що вихідну клітину виділення наступного прямокутника розбиття слід шукати, починаючи з першого стовпчика, тому що попередня прямокутна область без перешкод могла бути виділена, починаючи не з першого стовпчика – з першого стовпчика могла бути розташована перешкода або могли бути нерівні краї у даної багатозв'язної ортогональної області.

Повторюємо алгоритм пошуку початкової клітини, змінивши крок 1:

1) нехай $\mu = k'+1$.

Потім повторюємо алгоритм об'єднання порожніх клітин, яке проводимо у діагональному напрямку, і отримуємо другу прямокутну область без перешкод і відповідну їй матрицю $A^{(2)}$ з нульовими елементами.

Пошук початкової клітини об'єднання і саме об'єднання порожніх клітин в області продовжуємо до тих пір, поки $k'+1$ не буде дорівнювати $r-1$.

Результатом виділення прямокутних областей без перешкод будуть прямокутники $A_1B_1C_1D_1, A_2B_2C_2D_2, \dots, A_{n_1}B_{n_1}C_{n_1}D_{n_1}$, які ми позначимо $P_1^{(1)}, P_2^{(1)}, \dots, P_{n_1}^{(1)}$, кількість яких n_1 .

Після того, як $k'+1 = r-1$, робимо наступний пункт розбиття ортогональної області з перешкодами.

IV. Робота з областями, що залишилися після виділення прямокутних областей без перешкод з усієї даної багатозв'язної ортогональної області.

Нехай під час виконання попереднього алгоритму були виділені прямокутні області без перешкод і досягнута верхня межа загальної багатозв'язної області.

Тоді нам необхідно для подальшого розбиття визначити рівень, який відокремить вже виділені прямокутні області без перешкод. Для цього через праву межу прямокутника найбільшої ширини проведемо наскрізну, в даному випадку – вертикальну, пряму L_1 . Для матриці, яка відповідає сітці розбиття області, прямій L_1 можна поставити у відповідність стовпчик матриці з номером, що до-

рівнює кількості клітин по горизонталі прямокутника найбільшої ширини, виділеного на першому рівні. Позначимо $l^{(1)} = \max\{l'_1, l'_2, \dots, l'_{n_1}\}$, $W^{(1)} = \{W \mid j \leq l^{(1)}\}$.

Потім весь алгоритм виділення прямокутних областей без перешкод, включаючи знаходження вершин прямокутників, як вихідної клітини об'єднання, і власне об'єднання порожніх клітинок у прямокутники без перешкод будемо повторювати для ортогональної області $W^{(2)}$, що є частиною спочатку даної області W , яка розташована праворуч від прямої I рівня виділення L_1 , тобто $W^{(2)} = W / W^{(1)}$.

Виділивши прямокутники без перешкод $P_1^{(2)}, P_2^{(2)}, \dots, P_{n_2}^{(2)}$, де n_2 – кількість прямокутників на другому рівні, продовжимо праву сторону прямокутника найбільшої ширини – це буде вертикальна пряма L_2 , і отримаємо II рівень виділення прямокутних областей без перешкод.

Виділяємо рівні до тих пір, поки пряма L_n не співпаде із правою границею ортогональної багатозв'язної даної спочатку області.

Отримаємо n рівнів прямокутних областей, розділених вертикальними прямими $L_i, i = 1, n$.

Розглянемо області, отримані на кожному рівні $W^{(1)}, W^{(2)}, \dots, W^{(n)}$; вони є багатозв'язними і ортогональними. Зауважимо, що в них після виділення прямокутників без перешкод залишилися клітини, які можуть як належати перешкодам, так і не належати. Таким чином, клітини, які не належать перешкодам, так само можна об'єднати у прямокутники.

Позначимо MOO_1 багатозв'язну ортогональну область, яка належить I рівню і включає в себе всі клітини I рівня, що не об'єднані у прямокутники без перешкод.

Аналогічно, введемо позначення MOO_2 для II рівня і т.д., MOO_n для n -го рівня.

Для областей $MOO_1, MOO_2, \dots, MOO_n$ застосуємо метод виділення прямокутних областей без перешкод за допомогою розгляду матриці, що відповідає розбиттю даної області, який описаний із самого початку статті для даної багатозв'язної ортогональної області MOO . Тобто тепер будемо спочатку розглядати MOO_1 як вихідну область, в якій потрібно виділити прямокутні області без перешкод, і проходити всі кроки з початку методу, потім MOO_2 і т.д. і MOO_n .

Робота алгоритму описаного методу триває до того моменту, поки не залишиться порожніх клітин, не задіяних у жодній виділеній прямокутній області без перешкод, навіть якщо прямокутна область буде складатися з однієї клітини.

Висновки

Організація управління пасажирським автомобільним транспортом має важливе соціально-економічне значення для забезпечення життєдіяльності малих та великих міст. Для розвитку автобусного транспорту одними з перспективних напрямів є підвищення якості транспортного обслуговування населення, забезпечення планової регулярності руху міських автобусів.

Побудова математичних моделей процесів, які відображають рух пасажирського транспорту, дає можливість найбільш точно створювати розклади роботи автотранспорту на маршруті та керувати режимами праці водіїв автобусів.

У даній роботі створено алгоритми вирішення завдань управління та диспетчеризації функціонування рухомого складу маршрутних пасажирських перевезень. Вони спрямовані на створення програмного забезпечення, що значно прискорить та оптимізує процеси керування роботою транспортних систем.

Література

1. Jansen L.N. Minimizing Passenger Transfer Times in Public Transport Timetables / L.N. Jansen, M.B. Pedersen, O.A. Nielsen // 7th Conference of the Hong Kong Society for Transportation Studies: Transportation in the information age. – 2002. – P. 229–239.
2. Варелопуло Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте / Г.А. Варелопуло. – М.: Транспорт, 1990. – 208 с.
3. Вдовиченко В.О. Аналіз дестабілізуючих чинників внутрішньої сталості міського громадського пасажирського транспорту / В.О. Вдовиченко // Technology audit and production reserves. – 2017. – №1(2). – С. 23–30.
4. Гудков В.А. Пассажи́рские автомоби́льные перевозки: учебник для вузов под ред. В.А. Гудкова. / В.А. Гудков Л.Б. Миротин, А.В. Вельможин, С.А. Ширяев. – М.: Горячая линия - Телеком, 2006. – 448 с.
5. Ceder, A. Public Transit Planning and Operation: Theory, Modeling and Practice. / A. Ceder. - Elsevier, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK. – 2007. – 345 p.
6. Левковець П.Р. Удосконалення логістичного управління перевезень пасажирів / П.Р. Левковець, М.М. Мороз, Р.В. Кобилецький// Віс-

ник КДПУ імені Михайла Остроградського. – 2007. – Вип. 6 (47) – Частина 1. – С. 113–115.

7. Горбачов П.Ф. Моделювання попиту на перевезення населення малих міст маршрутним пасажирським транспортом: монографія / П.Ф. Горбачов, Є.В. Любий. – Харків: ХНАДУ, 2014. – 134 с.
8. Козачок Л.М. Моделювання руху пасажирського транспорту для побудови розкладу роботи на маршруті за допомогою алгоритмізації управління / Л.М. Козачок // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. – 2016. – № 9. – С. 70–74.

References

1. Jansen, L.N., Pedersen, M.B. & Nielsen, O.A. (2002). Minimizing Passenger Transfer Times in Public Transport Timetables. 7th Conference of the Hong Kong Society for Transportation Studies: Transportation in the information age, 229–239.
2. Varelopulo, G.A. (1990). Organizaciya dvizheniya i perezovok na gorodskom passazhirskom transporte [The organization of movement and traffic on urban passenger transport]. – Moscow: Transport [in Russian].
3. Vdovichenko, V.O. (2017). Analiz destabilizuyuchikh chinnikov vnutrishnyoi stalosti miskogo gromadskogo pasagirskogo transport [Analysis of destabilizing factors of internal sustainability of urban public passenger transport]. - Technology audit and production reserves, 1(2), 23-30 [in Ukrainian].
4. Gudkov, V.A., Mirotin, L.B., Velmozhin, A.V. & Shiryayev, S.A. (2006). Passazhirskie avtomobilnie perezovki. [Passenger road transport]. – Moscow: Telekom [in Russian].
5. Ceder, A. (2007). Public Transit Planning and Operation: Theory, Modeling and Practice. Elsevier, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.
6. Levkovec, P.R. (2007). Udoshkonalennya logistichnogo upravlinnya perevezen passagiriv [Logistic management of the carriage of passengers]. – Kyiv: Vestnik KDPU, 6(47),113-115 [in Ukrainian].
7. Gorbachov, P.F., Lyubiy, E.V. (2014). Modelyuvannya popitu na perevezennya naseleण्या malikh mist marshrutnim passazhirskim transportom: monographia. [Modeling the demand for transportation of the population of small towns by route passenger transport: monograph]. – Kharkov: KhNADU [in Ukrainian].
8. Kozachok, L.M. (2016). Modelyuvannya rukhu passazhirskogo transport dlya pobudovi rozkladu roboti na marshruti za dopomogoyu algoritimizacii upravlinnya [Modeling of the movement of passenger transport to build a schedule of work on the route using the control algorithmization]. – Kharkov: Avtomobile and electronics. Modern technologies. 9,70-74 [in Ukrainian].

Горбачов Петро Федорович, д.т.н., проф.,
Харківський національний автомобільно-
дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого,
25, Харків, 61002, Україна,
gorbachov.pf@gmail.com

Козачок Лариса Миколаївна, ст. викладач,
Харківський національний автомобільно-
дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого,
25, Харків, 61002, Україна,
larisak2010@ukr.net

Horbachov P.F., DSci, Kharkiv National
Automobile and Highway University

Kozachok L.M., Asst. Professor, Kharkiv
National Automobile and Highway University

**MATHEMATICAL MODELLING AND
ALGORITHMIZATION OF THE PROCESSES
OF RATIONAL ORGANIZATION OF BUS
DRIVER'S WORK EN ROUTE WHEN
PLANNING PASSENGER TRANSPORTATION**

***Abstract.** The main activities for creating the modern level of organization public route transport in the cities of Ukraine are the development of rational route schemes, determining the number of rolling stock on a route, scheduling vehicles for the route and organizing drivers' work. This article highlights the features, roles and tasks of management in passenger transport and, in particular, management dispatching, which is aimed at implementing the optimal functioning of the passenger transport route to meet the needs of the population and ensure transport safety. For planning the rational organization of work of buses and work of drivers, the grapho-analytical method has been recognized. With this method, a schedule of buses for the route is constructed by the hour of the day, the driver's work modes on the route are modes indicated on the diagram schedule with a set of cells that are unit squares with sides equal to a unit time interval and a unit segment relative to the number of*

buses operating on the route. Such cells are combined into rectangles corresponding to the bus driver's work modes. Further, for the organization of drivers' work and vehicles operation on urban routes, it is necessary to present the area of bus release diagrams in each hour of the day in the form of a set of rectangles that correspond to certain conditions and reflect the work modes of personnel and operational modes of the rolling stock.

Algorithms for partitioning a given orthogonal area, corresponding to a diagram of the operation of vehicles on a route into rectangles, are created in this scientific work after recording a mathematical formulation of the problem. Thus, the paper presents the mathematical formulation of the problem of scheduling vehicles and organizing driver work. In the course of the research, algorithms for solving the assigned task of dispatching the work of rolling stock and the rational organization of driver work have been created.

***Key words:** mathematical model, construction of the algorithm, transport system, scheduling, organization of work on the route.*

***Аннотация.** В данной статье представлена математическая постановка задачи составления расписаний движения транспортных средств на маршруте и организации труда водителей, для решения которой необходимо область диаграммы выпуска автобусов в каждый час суток представить в виде совокупности прямоугольников, соответствующих определенным условиям и отображающих режимы работы персонала и подвижного состава на маршруте при осуществлении пассажирских перевозок населения города. В ходе исследований созданы рациональные алгоритмы решения поставленной задачи диспетчеризации пассажирских перевозок.*

***Ключевые слова:** математическая модель, построение алгоритма, транспортная система, календарное планирование, организация работы на маршруте.*