

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ В АВТОМОБИЛЕ-  
СТРОЕНИИ И ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ**

УДК 656.072; 656.015; 519,12.176

**МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ДЛЯ ПОБУДОВИ  
РОЗКЛАДУ РОБОТИ НА МАРШРУТІ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМІЗАЦІЇ  
УПРАВЛІННЯ**

**Л. М. Козачок, ст. викладач ХНАДУ**

***Анотація.** У даній статті дана математична постановка задачі дослідження пасажиропотоку на деякому автобусному маршруті для визначення оптимальних режимів роботи водіїв транспортних засобів.*

***Ключові слова:** транспортні системи, теорія розкладів, календарне планування, оптимізація витрат.*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ  
ПОСТРОЕНИЯ РАСПИСАНИЯ РАБОТЫ НА МАРШРУТЕ С ПОМОЩЬЮ  
АЛГОРИТМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ**

**Л. Н. Козачок, ст. преподаватель ХНАДУ**

***Аннотация.** В данной статье дана математическая постановка задачи исследования пассажиропотока на некотором автобусном маршруте для определения оптимальных режимов работы водителей транспортных средств.*

***Ключевые слова:** транспортные системы, теория расписаний, календарное планирование, оптимизация расходов.*

**MODELING TRAFFIC PASSENGER TRANSPORT FOR BUILDING TIMETABLE  
ON THE ROUTE THROUGH CONTROL ALGORITHMIZATION**

**L. N. Kozachok, senior lecturer, HNAHU**

***Abstract.** The mathematical formulation of the passenger traffic of the study at a bus route is given in this article for the determination the optimal functioning of a vehicle driver.*

***Key words:** transportation systems, scheduling theory, scheduling, cost optimization.*

**Вступ**

Однією з провідних технологій перевезень пасажирів є маршрутна технологія, сутність якої полягає в організації руху складу автотранспортного підприємства по незмінному шляху прямування у вигляді послідовності повторюваних циклів транспортування – рейсів. Основні принципи маршрутної тех-

нології:

- визначеність маршруту і стабільність його траси;
- регулярність руху транспортних засобів за маршрутом і переважна організація руху за розкладом;
- збіг інтересів пасажирів, що користуються маршрутом, виражений у відповідності пасажирських кореспонденцій трасі маршруту;

- попереднє, до початку руху, оформлення маршрутної документації та облаштування маршруту;

- контроль за роботою транспортних засобів на маршруті та здійснення диспетчерського управління.

Потреба в рухомому складі встановлюється, виходячи з необхідності призначення на кожен маршрут такої кількості автобусів певної пасажиромісткості, яка забезпечує мінімум витрат перевізника за умови освоєння пасажиропотоку з дотриманням нормативних вимог до якості транспортного обслуговування. Розподіл автобусів – необхідний етап в переході від пасажиропотоку до числа автобусів на маршруті. Обидва зазначені завдання мають загальну інформаційно-методичну основу.

### Аналіз публікацій

Роботи багатьох вчених-транспортників присвячені проблемам розвитку систем організації автомобільних перевезень і управління на транспорті. Питання вдосконалення технологічних процесів організації та управління перевезеннями розглядалися провідними вітчизняними і зарубіжними вченими, такими як Л.Л. Афанасьєв, М.Я. Блінкен, С.А. Ваксман, Г.А. Варелопуло, В.М. Власов, В.А. Гудков, Г.А. Гуревич, В.Д. Герамі, А.Х. Зільберталь, В.І. Коноплянка, В.А. Корчагін, Е.А. Кравченко, В.М. Курганов, О.Н. Ларін, Л.Б. Миротин, А.Ю. Михайлов, І.В. Спірін, П.Ф. Горбачьов і багатьма іншими.

Традиційні методи організації і планування транспортної роботи, описані в роботах М.Є. Антошвілі, М.Д. Блатнова, Л.А. Бронштейна, Г.А. Варелопуло, Г.Я. Волошина, В.Л. Геронімус, А.П. Кожина, В.Н. Лівшиця, В.А. Максимова, С.А. Панова, Е.Ф. Тихомирова, М.П. Улицького, А.С. Шульмана і ін. У своїй основі, зазначені методи були розроблені до «ери автомобілізації», а також багато в чому відбивали існуючий на той момент рівень розвитку техніки та інформаційних технологій. Розвиток методів технологічного забезпечення автоматизованих систем диспетчерсько управління, включаючи автоматизований розрахунок розкладів маршрутизації транспорту і формування бази даних електронних паспортів маршрутів, виконано в роботах Гуревича Г.А., Фінько Є.В., Ісмаїлова А.Р.

Але технологічне забезпечення процесів диспетчерського управління не містить планової інформації для будь-якої точки маршруту в даний момент часу, так як робота автоматизованих систем диспетчерського управління заснована на дискретному контролі за рухом транспортних засобів на маршруті.

### Ціль та постановка задачі

Вихідною інформацією для раціональної організації праці водіїв автобусів є відкоригована діаграма випуску ефективної кількості автобусів за годинами доби, вона будується у прямокутній системі координат. По осі абсцис відкладається час роботи автобусів на маршруті, а по осі ординат – обчисленні значення необхідної кількості автобусів  $A_m$  різної місткості за годинами доби, ці значення повинні бути зкориговані з урахуванням встановленого рівня якості обслуговування пасажирів, інтервалу руху на маршруті, місткості автобусів тощо.

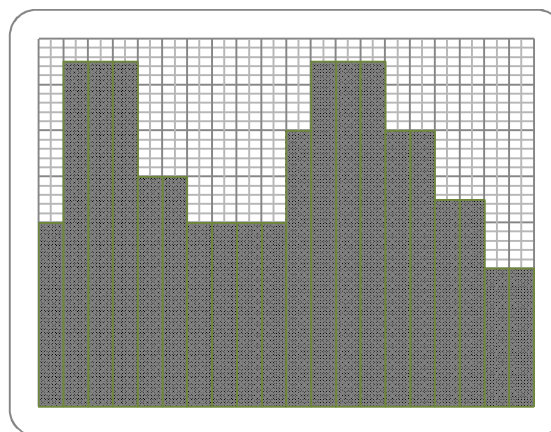


Рис. 1. Діаграма випуску автобусів у кожен годину доби

Для планування оптимальної організації роботи автобусів та праці водіїв набув визнання графоаналітичний метод. Метою графоаналітичного методу є визначення мінімально необхідного набору режимів роботи автобусів і водіїв на маршруті при досягненні найменших загальних витрат (машино-годин) з урахуванням обмежень, що визначають нормативи (тривалість змін водіїв, надання обідніх перерв, змінність тощо).

На першому етапі графоаналітичного методу визначають:

- лінію «максимум», відповідну макси-

мальній кількості випущених автобусів  $A_{max}$ ,

- зони обідніх перерв  $B1$  і  $B2$ , рівні

$$B1 (B2) = A_{max} (0,5 \dots 2)$$

Визначення оптимального часу відпочинку водіїв та відстою автобусів виконується графічно. Час відпочинку надають після закінчення годин пік. Набір фонду часу на відпочинок водіїв ранкових змін слід проводити не пізніше 4 (5) годин після виходу останнього автобуса, а для водіїв вечірніх змін не пізніше, ніж через 4 (5) годин після заступництва водія на зміну.

На другому етапі визначається загальна кількість машино-змін:

$$\sum MC = (\sum AЧ + \sum t_{нул}) / (T_{см} - t_{п.з.}),$$

де  $\sum t_{нул}$  - сумарний нульовий пробіг всіх автобусів протягом доби, що визначається за формулою:

$$\sum t_{нул} = (l_{нул} / V_T) * A_{max},$$

$T_{см}$  - норматив тривалості робочої зміни водія,

$t_{п.з.}$  - підготовчо-заклучний час.

Класифікація автобусів по змінності визначається за виразом:

$$\Delta A_m = \sum MC - 2 * A_{max},$$

де  $\Delta A_m$  - кількість автобусів, тривалість роботи яких відрізняється від тривалості роботи автобусів з двозмінним режимом роботи.

Якщо  $\Delta A_m > 0$  - це значення відповідає кількості автобусів, що мають тризмінний режим роботи:

$\Delta A_m < 0$  - по абсолютній величині це значення відповідає кількості автобусів, що мають однозмінний режим роботи;

$\Delta A_m = 0$  - всі автобуси мають двозмінний режим роботи.

#### **Розбиття багатозв'язної ортогональної області, розташованої під епюрою пасажиропотоку на прямокутники**

Задана деяка область, що складається з набору довільних прямокутників – багатозв'язний

ортогональний полігон.

Опишемо навколо нього 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'язного, тобто усередині них не можуть розміщуватися інші предмети, то лінії всередині них фіктивні, і як саме буде проводитися розбиття всередині перешкод не має значення. У результаті математична постановка задачі може бути записана наступним чином.

Дана прямокутна 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 нижньої і бічною сторонами області. Положення кожної перешкоди  $p_j$  задається координатами  $(\alpha_p; \beta_p)$  його лівого нижнього кута. Розміщення перешкод в області є допустимим, тобто виконуються наступні умови:

1. Ребра перешкод паралельні ребрам області:

$$(d_{\alpha}^p = l_p) \wedge (d_{\beta}^p = w_p), \forall p_j, j = \overline{1, m},$$

де  $d_{\alpha}^p, d_{\beta}^p$  - проекції перешкоди на осі координат  $Ox$  і  $Oy$ .

2. Взаємне неперетинання перешкод:

$$\forall p_1, p_2 \\ ((\alpha_{p_1} \geq \alpha_{p_2} + l_{p_2}) \vee (\alpha_{p_2} \geq \alpha_{p_1} + l_{p_1})) \vee \\ \vee ((\beta_{p_1} \geq \beta_{p_2} + w_{p_2}) \vee (\beta_{p_2} \geq \beta_{p_1} + w_{p_1}))$$

3. Неперетинання перешкодами зовнішніх границь області:

$$\forall p : (\alpha_p \geq 0) \wedge (\beta_p \geq 0) \wedge \\ \wedge (\alpha_p + l_p \leq L) \wedge (\beta_p + w_p \leq W)$$

Потрібно знайти множину  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$  мінімальної потужності, що складається з прямокутників  $P_i = \langle x_i, y_i, \omega_i, \lambda_i \rangle$ , де  $(x_i, y_i)$  - координати нижнього лівого кута

прямокутника,  $\omega_i$  – його ширина, а  $\lambda_i$  – довжина, що задовольняють наступним умовам:

1. Ребра прямокутників паралельні ребрам області:

$$(d_x^i = \lambda_i) \wedge (d_y^i = \omega_i), i = \overline{1, n}$$

де  $d_x^i, d_y^i$  – проєкції  $i$ -го прямокутника на осі координат  $Ox$  і  $Oy$ .

2. Взаємне неперекриття прямокутників:

$$\begin{aligned} & ((x_i \geq x_j + \lambda_j) \vee (x_j \geq x_i + \lambda_i)) \vee \\ & \vee ((y_i \geq y_j + \omega_j) \vee (y_j \geq y_i + \omega_i)) \\ & \forall i \neq j; i, j = \overline{1, n} \end{aligned}$$

3. Неперетинання прямокутниками граней області:

$$\begin{aligned} & (x_i \geq 0) \wedge (y_i \geq 0) \wedge (x_i + \lambda_i \leq L) \wedge \\ & \wedge (y_i + \omega_i \leq W), \\ & \forall i = \overline{1, n} \end{aligned}$$

4. Неперетинання прямокутників з перешкодами:

$$\begin{aligned} & \forall i, p: i = \overline{1, n}, p = \overline{1, m} \\ & ((x_i \geq \alpha_p + l_p) \vee (\alpha_p \geq x_i + \lambda_i)) \vee \\ & \vee ((y_i \geq \beta_p + w_p) \vee (\beta_p \geq y_i + \omega_i)) \end{aligned}$$

5. Умова поділу.

Для будь-якого прямокутника  $P$  з розмірами  $(\omega, \lambda)$ ,  $\omega \neq \omega_i, \lambda \neq \lambda_i, \forall i = \overline{1, m}$  виконується умова поділу на два прямокутника  $P'(\omega', \lambda'), P''(\omega'', \lambda'')$  таких, що

$$\begin{aligned} & ((\omega' = \omega'' = \omega) \wedge (\lambda' + \lambda'' = \lambda)) \vee \\ & \vee ((\lambda' = \lambda'' = \lambda) \wedge (\omega' + \omega'' = \omega)) \end{aligned}$$

та якщо  $P_i \in P' \Rightarrow P_i \notin P''$

і якщо  $P_i \in P'' \Rightarrow P_i \notin P'$ .

6. Прямокутники повинні повністю покривати ортогональну область:

$$\sum_{i=1}^n \omega_i \lambda_i = W \cdot L - \sum_{p=1}^m w_p l_p.$$

Наступним кроком роботи з областю буде подання даної многосвязної ортогональної області у вигляді матриці, яка описує її гео-

метричні властивості.

Проведемо розбиття многосвязної ортогональної області за допомогою побудови горизонтальних і вертикальних прямих. В результаті цього розбиття отримаємо сітку, яку можна використовувати для складання матриці, відповідної до нашої області. Для цього кожному осередку сітки можна поставити у відповідність певний елемент створюваної матриці. Таким чином, ортогональна область буде представлена у вигляді матриці, кожен елемент якої відповідає осередку сітки розбиття даної ортогональної області та розмір якої буде визначено наступним чином: кількість рядків відповідає кількості осередків сітки розбиття по горизонталі, а кількість стовпців відповідає кількості осередків сітки розбиття по вертикалі.

Подовжуючи грані перешкод проведемо наскрізні прямі та визначимо точки перетину вертикальних ліній с віссю  $Ox$ , як значення  $x_1, x_2, \dots, x_{2m}$ , а точки перетину горизонтальних ліній з віссю  $Oy$  відповідно  $y_1, y_2, \dots, y_{2m}$ , ці значення будуть складати множину  $X$  та  $Y$ . Далі до множини  $X$  додамо значення  $0$  та  $L$ , а до множини  $Y$  –  $0$  та  $W$ .

Упорядкуємо елементи множин  $X$  та  $Y$  по зростанню їх значень та видалимо однакові елементи, таким чином, отримаємо множину  $\Phi'$  та  $\Psi'$  з елементів множин  $X$  та  $Y$  відповідно, при цьому позначимо  $r$  – кількість елементів множини  $\Phi'$  та  $s$  – кількість елементів множини  $\Psi'$ .

У результаті ортогональна область виявиться покритою сіткою, що складається з осередків, кожний з яких або належить многокутнику, що є перешкодою, або належить всій ортогональній області, але при цьому не належить жодній перешкоді, назвемо його порожнім. Кількість осередків буде  $r-1$  по горизонталі і  $s-1$  по вертикалі. Осередки будуть різної ширини і різної висоти, але покривають весь прямокутник, описаний навколо ортогональної області і складають теж такий же прямокутник.

Позначимо кожен осередок отриманої сітки  $a_{\mu\nu}$ , де  $\mu = \overline{1, r-1}, \nu = \overline{1, s-1}$ . При цьому  $a_{\mu\nu} = 0$ , якщо прямокутник з параметрами  $x = \varphi_\mu; y = \psi_\nu; l = \varphi_{\mu+1} - \varphi_\mu; w = \psi_{\nu+1} - \psi_\nu$  є пустим простором та  $a_{\mu\nu} = 1$ , якщо цей пря-

мокутник є перешкодою.

У результаті наша ортогональна область з перешкодами може бути представлена у вигляді матриці такого вигляду

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

елементами якої будуть нулі та одиниці.

### Література

1. Андреев А.Ф., Зубарева В.Д., Саркисов А.С. Оценка эффективности и рисков инновационных проектов: Учебное пособие. - М.: МАКС Пресс, 2007. - 240 с.
2. Антонова Г.М. Цвиркун А.Д. Оптимизационно-имитационное моделирование для решения проблем оптимизации сложных производственных систем // Проблемы управления. - 2005 - №5 - С. 19-27.
3. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. - М.: Наука, 1965. - 346 с.
4. Белов В. В., Воробьев Е. М., Шаталов В. Е. Теория графов. - М.: Высш. школа, 1976. - 392с.
5. Данциг Дж. Линейное программирование, его применения и обобщения. - М.: Прогресс, 1966. - 379 с.
6. Ермольев Ю.М. Методы стохастического программирования. - М.: Наука, 1976. - 240 с.
7. Кремер Н.Ш., Прутко Б.А., Тришин И.М., Фридман М.Н. Исследование операций в экономике: учеб. пособие. - М.: Юрайт, 2010. - 430с.
8. Кристофер М. Логистика и управление цепочками поставок / пер. с англ. под общ. ред. В.С. Лукинського. - СПб.: Питер, 2005. - 316с.
9. Крылова О.В. Об оптимизационно-имитационном подходе к выбору транспортных схем доставки грузов в отдаленные и труднодоступные регионы строительства объектов нефтегазовой отрасли / Крылова О.В., Степин Ю.П. // Сборник докладов шестой всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2013). Том 2. – Казань: Изд-во «ФЭН» Академии наук РТ. - 2013. - С. 318-322.
10. Лубенцова В.С. Математические модели и методы в логистике.: учеб. пособ. - Самара.: Самар. гос. техн. ун-т., 2008. - 157 с.: ил.
11. Степин Ю.П. Об одном подходе к моделированию и оптимизации функционирования нефтегазовых производственных систем.// Изв. ВУЗов - М.:Нефть и газ, - 1998. - №2 - С.30-32.
12. Aven T., Vinnem J.E. Risk Management: With applications from the offshore petroleum industry. – Springer, 2007. - P.211.

Рецензент: В.М. Колодяжний, д.ф.-м.н., профессор ХНАДУ.

Стаття поступила в редакцію 27 липня 2016 р.