

**Волошин С.О., магістрант, Виноградов М.С., к.т.н.  
АДІ ДВНЗ „ДонНТУ”, м. Горлівка**

## **НЕОБХІДНІСТЬ КООРДИНАЦІЇ ІНТЕРВАЛІВ РУХУ АВТОБУСІВ НА СУМІСНИХ ДІЛЯНКАХ ДВОХ НЕЗАЛЕЖНИХ МІСЬКИХ МАРШРУТІВ**

*Проаналізовано методи координації роботи автобусів на міських маршрутах. На підставі аналізу виявлено, що не один з них не враховує вплив регулярності руху автобусів на сумісних ділянках, на якість обслуговування пасажирів. Обґрунтовано необхідність координації інтервалів руху автобусів двох незалежних міських маршрутів при наявності на них сумісних ділянок з метою погодження їх розкладу руху. Це дозволить поліпшити якість обслуговування пасажирів за рахунок скоординованого руху на сумісних ділянках та привести до більш рівно мірного притоку прибутків до перевізників, що в деякій мірі розв'яже проблему „перегонів за пасажирами”.*

### **Вступ**

В галузі міських перевезень завжди існував ряд проблемних питань. Одним з них є визначення шляхів оптимізації роботи автобусів на маршрутах. На сьогоднішній день ринок міських автобусних перевезень характеризується високим рівнем конкуренції, а це, окрім іншого, значно впливає на регулярність руху автобусів на сумісних ділянках. Водії, намагаючись зібрати якомога більше пасажирів, не дотримуються розкладів руху на своїх маршрутах, порушують правила безпеки руху, роблять різкі прискорення та гальмування. Все це примушує пасажирів як на зупинках, так і в рухомому складі залишатися незадоволеними якістю перевезення. Джерелом цієї проблеми є ринкові відносини, які, окрім іншого, охопили і міські пасажирські перевезення. Майже кожен маршрут обслуговується рухомим складом, що належить не одній організації, а декільком приватним підприємствам, цілком яких є отримання максимально можливих прибутків. А тому вони діють за правилом: «що не заборонено, те дозволено». І якщо на окремо взятому маршруті рух регулюється, тобто є розклад руху, згідно якого повинні пересуватися автобуси, то на сумісних ділянках маршрутів цього не відбувається. Тому актуальною є проблема координації руху автобусів на цих ділянках, так як це підвищить регулярність руху на маршрутах, а так як регулярність є складовою частиною оцінки якості транспортного обслуговування пасажирів, то і позитивно вплине на якість перевезень.

### **Аналіз методів організації роботи автобусів на міських маршрутах**

Покращення якості обслуговування пасажирів можливо виконувати за рахунок підвищення регулярності руху автобусів. Отже, необхідно дати визначення цьому поняттю. Регулярність руху рухомого складу по маршруту - це властивість слідуючих один за одним транспортних засобів прибувати в пункт, що розглядається, через рівні (задані розкладом руху) проміжки часу [3]. Для забезпечення регулярного руху на маршрутах науковцями розроблено ряд методів. Проаналізуємо ці методи для визначення їх переваг та недоліків.

Першими розглянемо методи розподілу автобусів по маршрутам [1]. При такому розподілі необхідно забезпечувати рівномірне задоволення потреб в перевезеннях пасажирів на різних маршрутах. Широкого застосування знайшов метод, при якому маршрути забезпечуються рухомим складом пропорційно середньому значенню пасажиропотоку на найбільш завантаженої ділянці маршруту. Його відрізняє простота. Проте, він не враховує показники якості обслуговування пасажирів, вплив випадкових факторів, розміри та особливості пасажиропотоків на інших (не найнавантажениших) ділянках маршрутів. В методі розподілу автобусів по маршрутах, запропонованому в роботі [2], рух автобусів і пасажиропотоки розглядаються з урахуванням випадкових факторів, а критерієм розподілу автобусів є рівність

ймовірностей відмови пасажирів в посадці на різних маршрутах. Однак надана методика призначена для розподілу по маршрутах одноманітного парку автобусів. Це обмежує застосування наданої методики задачами дослідницького характеру. Основним недоліком наданих методів з позицій проблеми, що розглядається, є те, що вони хоча і передбачають взаємодію маршрутів, не враховують вплив на якість обслуговування пасажирів регулярності руху на маршруті в цілому та на сумісних ділянках зокрема.

Наступним розглянемо метод організації групового руху рухомого складу на маршрутах [3]. Цей метод передбачає на маршрутах з інтенсивним пасажиропотоком організацію руху рухомого складу за групою системою, до різновидів якої відносять систему багатьох одиниць та автобусні поїзди - груповий рух автобусів (спарені чи строєні рейси). Система багатьох одиниць широко використовується на електротранспорті. Розвитком ідеї системи багатьох одиниць на автобусному транспорті є груповий рух автобусів. При цьому автобуси маршруту формуються в групи з двох, трьох одиниць, кожна з яких керується своїм водієм. Робота кожної групи автобусів проводиться за єдиним розкладом руху. Метою організації групового руху автобусів є підвищення пропускної здатності зупиночних пунктів та перевізної спроможності автобусного маршруту у випадках, коли звичайний режим руху призводить до зниження ефективності роботи і якості обслуговування пасажирів. Тобто у даному методі вже приділено увагу необхідності підвищення регулярності руху на маршруті, однак рух на сумісних ділянках знов залишається поза увагою.

У роботі [3] також запропоновано методику вибору і забезпечення умов ув'язки розкладів руху автобусів, яка передбачає наступне. Для підвищення рівномірності руху рухомого складу на сумісній ділянці маршрутною мережі розклади руху на маршрутах погоджуються. Погодження виконується шляхом рівномірного розподілу в часі моментів прибуття виходів різних маршрутів на зупиночні пункти в межах сумісної ділянки маршрутною мережі. При цьому маршрутний розклад (чи його частина) може здвигатись у часі в межах інтервалу ( $\pm I$ ) від початкових моментів. Розклади руху погоджуються при виконанні умов: інтервали руху на погоджувальних маршрутах рівні чи кратні меншому з них, різниця часу оборотного рейсу на сумісних маршрутах рівна чи кратна меншому з інтервалів руху. При цьому методика не враховує вплив регулярності руху на сумісних ділянках на якість обслуговування пасажирів на зупиночних пунктах цих ділянок та інтереси перевізників стосовно отримання прибутків.

Отже, одні методи організації роботи автобусів на маршрутах розглядають маршрут як окрему існуючу систему, на роботу якої не впливають інші маршрути. І це справедливо для маршрутів, що не мають сумісних ділянок. Ті ж методи, що враховують вплив цього фактора, в першу чергу приділяють увагу не проблемам якості обслуговування пасажирів, а проблемам організації дорожнього руху. Тобто вони призначені для великих міст з перевантаженою вулично-дорожньою мережею і покликані у першу чергу розвантажити зупиночні пункти сумісних ділянок від великої кількості одиниць рухомого складу. Тому надана робота спрямована розглянути сумісні ділянки маршрутів, як джерело поліпшення якості обслуговування пасажирів за рахунок підвищення регулярності руху на них.

### *Мета роботи*

Метою роботи є обґрунтування необхідності і можливості координації інтервалів руху автобусів на сумісних ділянках двох незалежних міських маршрутів

### *Основний розділ*

Для досягнення поставленої мети, необхідно, по-перше, визначитися з критеріями, за якими буде оцінюватися регулярність руху на маршрутах та її вплив на якість транспортного обслуговування пасажирів. По-друге, розробити математичну модель, яка відображатиме процеси руху автобусів на сумісних ділянках та визначатиме час очікування пасажирами посадки на зупинках цих ділянок. По-третє, розробити модель, яка відображатиме процес пі-

дходів пасажирів на зупиночні пункти сумісних ділянок. І врешті-решт об'єднати останні дві моделі в таку, яка зображуватиме час очікування пасажирями посадки на кожному з зупиночних пунктів сумісних ділянок. Ця модель дозволить визначити зупиночні пункти сумісних ділянок, на яких необхідно виконувати координацію руху.

Для забезпечення скоординованого руху на сумісних ділянках маршрутів необхідно розглядати ці ділянки маршрутів як окремо існуючий маршрут. Однак у першу чергу потрібно визначитися з критеріями, які б дозволили таке сприйняття цих ділянок. Таким критерієм може бути сумарне зниження часу чекання пасажирями автобусів на обох маршрутах. Для кожного з маршрутів час чекання визначається як [1] :

$$\overline{T_{оч}} = \frac{I}{2} + \frac{\overline{\sigma^2}}{2I}, \quad (1)$$

де  $I$  – інтервал руху автобусів на маршруті;

$\sigma$  – середнє квадратичне відхилення від розкладу руху по маршруту, хв. Ця величина використовується для оцінки регулярності руху і визначається за формулою

$$\overline{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_i^2}{n}}, \quad (2)$$

де  $\Delta P_i$  – відхилення від моменту прибуття на зупиночний пункт, передбаченого розкладом руху, хв.;

$n$  – число спостережень.

Введемо поняття „ефективний інтервал руху”  $I_{ef}$  [1]. Під ним будемо розуміти такий інтервал, який при регулярному русі автобусів на маршруті забезпечив би такий самий час чекання, як і плановий інтервал при нерегулярному русі. Тоді, розглядаючи час чекання без урахування відмов пасажирям в посадці (оскільки вони не впливають, як витікає з визначення, на ефективний інтервал), можемо записати, що

$$\overline{T_{оч}} = \frac{I}{2} + \frac{\overline{\sigma^2}}{2I} = 0,5(I + \frac{\overline{\sigma^2}}{I}) = 0,5\overline{I_{ef}}, \quad \text{звідси} \quad (3)$$

$$\overline{I_{ef}} = I + \frac{\overline{\sigma^2}}{I}, \quad (4)$$

де  $\overline{I_{ef}}$  – середній ефективний інтервал руху автобусів на маршруті, хв.

В реальних умовах експлуатації з огляду на те, що кількість автобусів та їх місткість величини визначені, а пасажиропотоки на маршруті підвладні випадковим коливанням, може підвищитися рівень необхідності в перевезеннях, виходячи з яких були визначені кількість та місткість. Тому, як наслідок можемо отримати відмови пасажирям в посадці в автобуси через їх переповнення. У цьому випадку потрібно ввести поправку, яка враховує ймовірність відмови пасажирям в посадці. Тоді формула (2) прийме наступний вигляд [1]:

$$\overline{T_{оч}} = \frac{\overline{I_{ef}}}{2} + \overline{P_{відм}} \overline{I_{ef}} = \overline{I_{ef}} (0,5 + \overline{P_{відм}}). \quad (5)$$

Ця величина є реальною для конкретного маршруту і суттєвих важелів впливу на неї не існує. Однак час чекання на сумісних ділянках маршрутів для пасажирів, яким не важливо яким номером маршруту користуватися (додатковий пасажиропотік), величина яку є можливість поліпшити, оскільки інтервал руху автобусів на цих ділянках не скоординова-

ний, відповідно „ $\sigma$ ” (середньо квадратичне відхилення від можливого скоординованого інтервалу руху на цих ділянках) набуває неприпустимо великих значень.

Отже, необхідно визначити інтервал, який би при його наявності між рухомим складом двох маршрутів, дозволив би назвати рух на сумісних ділянках скоординованим. Для цього визначимо техніко-експлуатаційні показники роботи „сумісного маршруту”.

Довжину „сумісного маршруту” можна визначити як різницю між довжиною цілого маршруту і протяжністю несумісних ділянок:

$$L_{см} = L_m - \sum_{i=1}^n l_i, \quad (6)$$

де  $l_i$  – протяжність  $i$ -тої несумісної ділянки, км;

$n$  – кількість несумісних ділянок.

Час руху на сумісних ділянках буде дорівнювати:

$$T_{см} = \frac{L_{см}}{V_m} + \frac{n_{сз} t_{нз}}{60}, \text{ год}, \quad (7)$$

де  $V_m$  – технічна швидкість, км/год;

$n_{сз}$  – кількість сумісних зупинок;

$t_{нз}$  – час простою на проміжних зупинках, хв.

Кількість автобусів кожного маршруту на сумісному маршруті можна визначити таким чином:

$$\frac{T_{об}}{A_m} = \frac{T_{см}}{A_{см i}}, \text{ звідки}$$

$$A_{см i} = \frac{T_{см} A_m}{T_{об}}, \quad (8)$$

де  $A_{см i}$  – кількість автобусів  $i$ -того маршруту на сумісних ділянках, од.

Тоді загальна кількість автобусів на сумісному маршруті буде:

$$A_{см} = \sum_{i=1}^2 A_{см i}. \quad (9)$$

Отже, користуючись даними, що отримали з розрахунків за вищезазначеними формулами, знайдемо оптимальний інтервал руху для суміжного маршруту. Він буде дорівнювати:

$$I_{см} = \frac{T_{см}}{A_{см}}. \quad (10)$$

Таким чином, отримали величину відхилення від якої повинне бути мінімальним для забезпечення як найкращої якості обслуговування пасажирів на сумісних ділянках.

З огляду на формулу (4) середній інтервал руху автобусів для сумісного маршруту прийме значення:

$$\overline{I_{cm}} = I_{cm} + \frac{\sigma_{cm}^2}{I_{cm}}. \quad (11)$$

Але при всій схожості і формул (4) та (11) ми не можемо назвати останній інтервал ефективним оскільки середнє квадратичне відхилення в даному випадку може перевищувати сам інтервал суміжного маршруту, а отже є необхідність для координації.

Час очікування пасажиром посадки на суміжному маршруті буде дорівнювати:

$$\overline{T_{оч см}} = 0,5(I_{cm} + \frac{\sigma_{cm}^2}{I_{cm}}). \quad (12)$$

Оскільки при зменшенні  $\sigma_{cm}$ ,  $\sigma_1$  та  $\sigma_2$  будуть збільшуватися, то можемо сказати, що  $T_{оч1}$  та  $T_{оч2}$  відносно  $T_{оч3}$  знаходяться в зворотно-пропорційній залежності, тобто чим менше  $T_{оч1}$  та  $T_{оч2}$ , тим більше  $T_{оч3}$ . Отже задача зводиться до того, щоб знайти показник, який би вказував, якому зі значень на тій чи іншій зупинці сумісного маршруту віддати перевагу. Таким показником можемо назвати частоту підходу пасажирів на зупиночні пункти суміжних ділянок, а точніше її розподіл на три групи: пасажиропотік першого маршруту, пасажиропотік другого маршруту та додатковий пасажиропотік.

Для кожного зупиночного пункту маршруту існує, як відомо, своя частота підходу пасажирів  $\lambda$  (кількість пасажирів, що прийшли на зупинку в одиницю часу), яка змінюється протягом доби. Ця величина є ймовірною і описується законом Пуассона [ ].

Згідно з максимальним значенням цієї величини визначається кількість необхідних одиниць рухомого складу на маршруті протягом доби. Максимальне значення цієї величини приймається для попередження відмови пасажирів в посадці.

На сумісних ділянках маршрутів  $\lambda$  кожного з маршрутів розглядається як окрема величина. Тоді як насправді ці величини є залежними, оскільки частина пасажирів, яку відносять до користувачів конкретного маршруту при вивченні пасажиропотоків, не є таким, тому як не вбачають різниці між маршрутами при рівності інших факторів, що можуть вплинути на їх вибір, таких як тариф, комфортабельність рухомого складу, швидкість пересування. Тобто можна записати наступне рівняння, яке б відображувало надану думку:

$$\lambda_1 + \lambda_2 = (\lambda_1 - a_1) + (\lambda_2 - a_2) + (a_1 + a_2), \quad (13)$$

де  $\lambda_1$  та  $\lambda_2$  – частота підходу пасажирів, що користуються послугами відповідно першого та другого маршрутів, *пас/хв.*;

$a_1$  та  $a_2$  – частота підходу пасажирів, що користуються послугами „сумісного маршруту” від загальної частоти підходу пасажирів.

На кожному зупиночному пункті „сумісного маршруту” є три групи пасажирів:

- пасажирів, що очікують на перший маршрут;
- пасажирів, що очікують на другий маршрут;
- пасажирів, що очікують будь-який з двох маршрутів.

Для забезпечення як найліпшого обслуговування пасажирів на зупинці потрібно зменшити їх перебування на ній, тобто зменшити сумарні пасажиро-хвилини очікування потрібного автобусу.

Математично надану думку можна зобразити наступним чином:

$$\sum_{i=1}^n T_{оч i} \lambda_i \rightarrow \min. \quad (14)$$

Якщо цей вираз розглядати з позиції виразу (12), то ми отримуємо наступне:

$$T_{оч\ 1}\lambda_1 + T_{оч\ 2}\lambda_2 = T_{оч\ 1}(\lambda_1 - a_1) + T_{оч\ 2}(\lambda_2 - a_2) + T_{оч\ см}(a_1 + a_2). \quad (15)$$

З формули (15) видно, що можливо скоротити кількість пасажиро-хвилин на зупинці за рахунок зменшення часу очікування пасажирів суміжного маршруту рухомого складу.

Отже, отримана модель показує, що є можливість поліпшення якості транспортного обслуговування пасажирів за рахунок підвищення регулярності руху на сумісних ділянках шляхом координації інтервалів між одиницями рухомого складу двох маршрутів, що проходять через такі ділянки. Подальші дослідження у цьому напрямку мають включати розробку методики корегування розкладів руху на сумісних ділянках маршрутів, яка дозволить скоординувати рух на цих ділянках і підвищити якість обслуговування пасажирів.

### **Висновки**

Проаналізовано методи координації роботи автобусів на міських маршрутах, на підставі яких виявлено, що не один з них не враховує вплив регулярності руху автобусів на сумісних ділянках на якість обслуговування пасажирів. Обґрунтовано необхідність координації інтервалів руху автобусів двох незалежних міських маршрутів при наявності на них сумісних ділянок з метою погодження їх розкладу руху. Це дозволить поліпшити якість обслуговування пасажирів за рахунок скоординованого руху на сумісних ділянках та привести до більш рівномірного притоку прибутків до перевізників, що в деякій мірі розв'яже проблему „перегонів за пасажирами“.

### **Список літератури**

1. Антошвили М.Е., Либерман С.Ю., Спирин И.В. Оптимизация городских автобусных перевозок. – М.: Транспорт, 1985. – 102 с.
2. Антошвили М.Е., Варелопуло Г.А., Хрущев М.В. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ. – М.: Транспорт, 1974. – 104 с.
3. Спирин И.В. Перевозки пассажиров городским пассажирским транспортом. – Москва: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 407с.

Стаття надійшла до редакції 03.04.08  
© Волошин С.О., Виноградов М.С., 2008