

УДК 625.42

## УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ПАСАЖИРОПЕРЕВЕЗЕНЬ НА МЕТРОПОЛІТЕНІ

**І.Г. Міренський, професор, д.т.н., ХНАДУ, А.М. Сосіпатров, ст. викладач,  
Харківський національний університет міського господарства**

***Анотація.** Розглядаються пасажироперевезення на метрополітені та негативне явище нерівномірності користування різними вагонами состава. На основі виявлених закономірностей запропоновано ряд заходів, спрямованих на зменшення потреби в рухомому складі, пробігу вагонів і витрат енергії у поєднанні з підвищенням культури обслуговування пасажирів.*

***Ключові слова:** метрополітен, пасажироперевезення, нерівномірність пасажиропотоку, наповнення рухомого складу.*

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПАССАЖИРОПЕРЕВОЗОК НА МЕТРОПОЛИТЕНЕ

**И.Г. Миренский, профессор, д.т.н., ХНАДУ, А.М. Сосипатров, ст. преподаватель,  
Харьковский национальный университет городского хозяйства**

***Аннотация.** Рассматриваются пассажироперевозки на метрополитене и негативное явление неравномерности пользования разными вагонами состава. На основе выявленных закономерностей предложен ряд мероприятий по уменьшению потребности в подвижном составе, пробега вагонов и расхода энергии в сочетании с повышением культуры обслуживания пассажиров.*

***Ключевые слова:** метрополитен, пассажироперевозки, неравномерность пассажиропотока, наполнение подвижного состава.*

## IMPROVEMENT OF UNDERGROUND PUBLIC CONVEYANCE SERVICE

**I. Mirenskiy, Professor, Doctor of Technical Science, KhNAHU,  
A. Sosipatrov, senior lecturer, Kharkiv National University of Municipal Economy**

***Abstract.** The underground public conveyance service and the negative phenomenon of unevenness of usage of different train carriages train have been considered. The measures necessary to reduce the need for the rolling stock, run of carriages as well as power expenditure on the basis of the revealed regularities in combination with increase of service culture are offered.*

***Key words:** underground, passenger service, unevenness of passenger stream, increase of rolling stock quantity.*

### Вступ

Своєчасний розвиток метрополітену підносить міське середовище на якісно новий щабель. Велика провізна здатність дозволяє цьому швидкісному рейковому транспорту прийняти на себе основне навантаження за напрямками перевезень з найбільш концентрованими пасажиропотоками. Завдяки високій швидкості сполучення метрополітен

виступає об'єднувальною основою для міських територій, немовби «зшиваючи» окремі, часто надмірно віддалені периферійні райони з центром міста і між собою. В сучасних умовах метрополітен є практично єдиним видом міського громадського транспорту з майже абсолютно регулярним рухом, чим гарантується витримування прогнозованої кожним пасажиром тривалості своєї поїздки. Метрополітен розвантажує проїзну частину

вулиць від інтенсивних потоків наземного транспорту, зменшуючи їхній негативний вплив на довкілля. Підвищення комфортабельності швидкісного громадського транспорту може розглядатися як реальна альтернатива загрозовому зростанню рівня автомобілізації населення в містах. Крім того, наявність станції метрополітену значно підвищує привабливість міського району як для проживання в ньому, так і для здійснення капітальних інвестицій на його території. Багато найбільших міст не змогли б функціонувати як цілісний організм у своєму теперішньому вигляді без цього виду транспорту. В Україні до такої категорії міст належать Київ і Харків. Важливим для розвитку Дніпропетровська стало створення тут підземки.

Досвід функціонування метрополітенів указує на існування негативного явища нерівномірності наповнення різних вагонів майже на всіх лініях, у тому числі в години пік [1, 2]. У Московському метрополітені на «пікових» перегонах величина коефіцієнта нерівномірності наповнення вагонів состава змінюється від 1,10 до 1,55, а в Харківському – від 1,22 до 1,52. Пошук засобів зниження цих коефіцієнтів нерівномірності пасажиропотоків є важливою науковою і практичною задачею.

При проектуванні метрополітенів і організації перевезень потрібно враховувати закономірності розподілення пасажирів уздовж состава (РПУС) [3]. Але більшість відомих закономірностей такого роду, на жаль, не описано математично [4]. Крім того, ефективність застосування у діючих метрополітенах відомих прийомів досягнення більшої рівномірності РПУС залежить від місцевих умов. Недостатня вивченість питання пояснюється відсутністю доступних методів отримання достовірних даних про пасажиропотоки в потрібному обсязі, що перешкоджає вирішенню практичних задач аналізу і зменшення згаданої їх нерівномірності. Таке становище, з огляду на необхідність розвитку транспортної науки, є підтвердженням актуальності та доцільності дослідження закономірностей РПУС, вивчення його якісної та кількісної сторін. Треба доповнити пристосування до нерівномірності РПУС ефективним керуванням нею, що можливо лише при знанні закономірностей пасажиропотоків.

## Аналіз публікацій

Пошуку шляхів покращення процесу перевезення пасажирів у метрополітені присвячено багато робіт. Генеральною тенденцією удосконалення систем перевезення пасажирів у метрополітенах різних країн світу є підвищення безпеки і рентабельності.

Відомі закономірності нерівномірного наповнення вагонів состава в метрополітені. Як зауважують А. Артинов і В. Скалецький, «закономірності розподілення пасажирів по вагонах поїзда займають вельми важливе місце в організації перевезень на метрополітені», а недостатня їх вивченість «пояснюється, головним чином, відсутністю простих і дешевих методів обстеження пасажиропотоків» [3].

Для метрополітенів є характерною наявність непродуктивної складової в їх роботі. Йдеться про надлишок пасажирських місць, які надаються транспортним підприємством для здійснення перевезень у певний час, у певному напрямку, у певному вагоні. Це відбувається, коли задовольняється в повному обсязі попит населення на перевезення в години пік у найбільш напружених напрямках у найбільш наповненому вагоні. Настільки повне задоволення попиту на перевезення має передбачатися при проектуванні метрополітену у спосіб, коли враховуються фундаментальні, системні закономірності пасажиропотоків, що проявляються в їхній часовій і просторовій нерівномірності. Однак такий підхід до забезпечення пасажироперевезень у повному обсязі та з потрібним рівнем комфорту вимагає здійснення резервування потужності транспортної системи загалом і окремих її елементів, внаслідок чого фактична провізна здатність багатьох перегонів виявляється значно меншою, ніж теоретична (за умови рівномірного РПУС), а також породжує інші негативні наслідки. Нерівномірне наповнення вагонів состава спостерігається навіть у години пік у найбільш напружених напрямках перевезень (надалі – умови максимальних перевезень). Тому доводиться штучно збільшувати кількість составів на лінії, щоб чисельність пасажирів у найбільш наповненому вагоні знизилася до запланованої. Це призводить до збільшення пробігу составів і сумарної по лінії витрати електроенергії на рух. Ціна таких відмінностей у користуванні різними ва-

гонами та дверима состава зростає саме в умовах максимальних перевезень, оскільки вже в цьому напруженому режимі роботи швидкісної транспортної системи заздалегідь планується недовантаженість частини вагонів состава.

Крім того, через нерівномірність наповнення різних вагонів состава суттєво різняться режими роботи ходових частин рухомого складу (РС). Тому, як зазначають М. Закс і А. Зінов'єв, оцінка режимів, несучої здатності та довговічності елементів конструкції вагонів має ґрунтуватися на даних щодо фактичної їх навантаженості. При роботі РС протягом багатьох років це потрібно враховувати, визначаючи сили, які діють на вагон [5].

З 1948 р. почали досліджуватися причини вибору пасажирями того чи іншого вагона состава в метрополітені [6]. До того часу при обстеженнях пасажиропотоків застосовували методи (в тому числі й талонний), які не давали можливості розкрити картину РПУС. І тільки з 1959 р. для збирання, обробки й аналізу цих даних почав застосовуватися адекватний інструментарій, розроблений І. Якушкіним [7]. Мова йде про повагонний метод вибіркового візуального обстеження пасажиропотоків у метрополітені. За його допомогою було виявлено деякі особливості картини наповнення різних вагонів состава на перегонах.

Відомі підходи до керування розподіленням пасажирів уздовж состава. Значна частина відомих практичних рекомендацій щодо врахування і мінімізації нерівномірності пасажиропотоків, пов'язаної з РПУС у метрополітені, зводиться до безпосереднього обмеження навантаження «пікового» вагона. Розмірковуючи так, деякі автори заходять настільки далеко, що пропонують здійснювати «...розподілення пасажирів на платформах з використанням стаціонарних і переносних бар'єрів...» [8]. Такий підхід аж ніяк не гарантує ефективного використання резервів процесу перевезення. Одне лише розвантаження «піків» ще не дозволяє з'ясувати, як буде перерозподілене згадане навантаження, а також де і коли спостерігатиметься після того найбільша його величина.

В порядку розроблення методів керування розподіленням пасажирів уздовж состава

І. Якушкіним було запропоновано ідею раціонального розташування сигнального знака зупинки першого вагона состава на станціях [9]. Однак цей прийом є ефективним лише протягом обмеженого в часі початкового періоду функціонування лінії на тих станціях, де довжина платформи розрахована на перспективне число вагонів у составі та суттєво (на довжину одного або кількох вагонів) перевищує фактичну довжину состава. Тобто це можна реалізувати там, де є значна свобода вибору позиції зупинки состава відносно платформи для здійснення пасажирообміну. В результаті розвитку метрополітену деякі його лінії поступово подовжуються настільки, що збільшені пасажиропотоки в умовах вичерпання пропускної здатності можна освоїти лише шляхом приєднання до состава додаткових вагонів. Через останню обставину можливість застосування згаданого методу зниження нерівномірності РПУС із часом зводиться практично нанівець. Крім того, суперечливість цього процесу полягає в тому, що саме збільшення довжини состава може призвести до подальшого загострення становища з нерівномірним РПУС [10], а можливості переміщення сигнального знака зупинки першого вагона при цьому виявляються вже вичерпаними. До того ж поширені тепер у метрополітенах системи автоведення з жорсткими програмами гальмування, які реалізуються завдяки підлоговим пристроям, не передбачають зупинки состава на станції в будь-якій позиції [11]. В багатьох метрополітенах світу для подальшого збільшення числа вагонів состава проектується або здійснюється подовження платформ (Лондон, Париж, Москва, Лісабон). При цьому для досягнення більш рівномірного РПУС передбачаються такі додаткові заходи:

- розосередження виходів зі станції уздовж платформи за рахунок влаштування в різних її точках (а не лише в торцях) одразу кількох таких виходів (Париж, Сан-Франциско, Вашингтон, Токіо, Лондон) [12];
- раціональне розташування зупиночних пунктів наземного транспорту відносно виходів із платформи [13];
- створення можливості вільного наскрізного переходу пасажирів з одного вагона состава до іншого, як на вітчизняних залізничних приміських лініях, так і у новітньому РС деяких метрополітенів за кордоном, де передбачено широкі міжвагонні переходи.

Р. Любарський запропонував керувати наповненням різних вагонів состава за рахунок удосконалення системи інформування пасажирів під час користування метрополітеном. Це може бути реалізовано, зокрема, при застосуванні табло, які мали б розміщуватися над кожними дверима состава із зовнішнього боку, де по прибуттю состава на станцію з'являлися б повідомлення для пасажирів щодо недовантаження або переповнення цього вагона [14]. А. Артинов і В. Скалецький пропонують сповіщати пасажирів заздалегідь про повагонне наповнення состава, що прибуває, для надання можливості вибору вагона з найбільш сприятливими умовами проїзду. Цю інформацію можна буде отримати від вагових датчиків після закінчення пасажиробміну на попередній станції та має бути відображено за допомогою табло. Втілення цієї ідеї дало б можливість, на думку згаданих дослідників, значно поліпшити умови проїзду пасажирів і збільшити провізну здатність ліній [3].

Для досягнення більшої рівномірності у користуванні вагонами состава І. Якушкіним доведено необхідність ще при проектуванні метрополітену приділяти особливу увагу узгодженню роботи різних станцій певної лінії у формуванні «внеску» кожної станції до картини розподілення пасажирів по вагонах состава, у процесі чого підвищується роль багатоваріантного аналізу розпланування станцій [4]. Тобто при розробленні розпланувальних вирішень станцій рекомендовано передбачати розташування виходів на різних станціях тієї самої лінії метрополітену напроти місць зупинки різних вагонів состава з урахуванням середньої дальності поїздки в межах цієї лінії. Якщо від самого початку проектування і будівництва цю вимогу з якихось причин не задоволено, то для виправлення становища цим же автором запропоновано на станціях у місцях найменшої висадки пасажирів із состава споруджувати вертикальні пасажирські ліфти як додаткові виходи зі станцій.

#### Мета і постановка задачі

Метою дослідження є пошук можливостей удосконалення організації пасажироперевезень на метрополітені завдяки виявленню закономірностей пасажиропотоків, які проявляються в нерівномірному розподіленні пасажирів уздовж состава, на станціях. Пот-

рібно виявити та математично описати зв'язок між коефіцієнтом нерівномірності наповнення вагонів состава і чисельністю пасажирів у його найменш наповненому вагоні на прикладах Харківського і Московського метрополітенів; сформулювати практичні рекомендації, спрямовані на зменшення потреби в РС і його пробігу, отримання економії електроенергії за рахунок зменшення згаданої нерівномірності пасажиропотоків; розробити порядок розрахунку зниження потреби в РС у результаті досягнення більш рівномірного наповнення вагонів состава.

#### Нерівномірність наповнення вагонів состава. Керування розподіленням пасажирів уздовж состава

Нерівномірність наповнення вагонів состава на певному перегоні прийнято оцінювати відповідним коефіцієнтом:

$$K_{\text{нап.ваг}} = \frac{m_{\text{max}}}{m_{\text{сеп}}}, \quad (1)$$

де  $m_{\text{max}}$  – максимальне наповнення вагона, пас./вагон;  $m_{\text{сеп}}$  – середнє поміж усіх вагонів состава наповнення вагона, пас./вагон.

Із застосуванням сучасних методів математичної статистики одержано кореляційні рівняння степеневого типу, що відображають зв'язок між коефіцієнтом нерівномірності наповнення вагонів состава і чисельністю пасажирів у його найменш наповненому вагоні  $m_{\text{min}}$ . Зокрема для Харківського метрополітену при роботі п'ятивагонних составів рівняння регресії має вигляд

$$K_{\text{нап.ваг}} = 3,06m_{\text{min}}^{-0,204}, \quad (2)$$

а для Московського метрополітену (Фільовська лінія), за умов використання шестивагонних составів

$$K_{\text{нап.ваг}} = 4,01m_{\text{min}}^{-0,287}. \quad (3)$$

Одержані математичні залежності відповідають вимозі, що середня квадратична похибка рівняння регресії має бути меншою, ніж середнє квадратичне відхилення результативної ознаки  $K_{\text{нап.ваг}}$  (табл. 1).

Таблиця 1 Оцінка тісноти зв'язку  
та одержаних рівнянь регресії

| Назва показника                                      | Лінії метрополітену |        |
|--|---------------------|--------|
|  | Харків              | Москва |
| Емпіричне кореляційне відношення                     | 0,769               | 0,763  |
| Середня квадратична похибка рівняння регресії        | 0,16                | 0,16   |
| Середнє квадратичне відхилення результативної ознаки | 0,26                | 0,27   |

Аналіз наведених значень показників дозволив дійти певних висновків. Отже, навіть у різних умовах роботи Харківського і Московського метрополітенів (наявні відмінності в пасажирському навантаженні, розмірах руху поїздів, числі вагонів у составі), а також для різного часу доби, в тому числі в ранкові та вечірні години пік, при врахуванні періодів спаду пасажиропотоків спостерігається сталий, схожий за характером зв'язок між коефіцієнтом нерівномірності наповнення вагонів состава і чисельністю пасажирів у його найменш наповненому вагоні. Цей факт свідчить про існування закономірності пасажиропотоків у метрополітені, врахування якої є корисним і потрібним для вдосконалення процесу перевезення. Одержані кореляційні залежності описано функціями, кожна з яких монотонно убуває зі значним нахилом, принаймні в межах значень факторних ознак, які покладено в основу розрахунків рівнянь. Це дає можливість керувати величиною згаданого коефіцієнта в усьому діапазоні відповідної факторної ознаки, а отже, і РПУС на перегонах лінії.

Відповідно до формул (2) і (3) позбутися високої нерівномірності наповнення вагонів состава можна шляхом збільшення чисельності пасажирів у його найменш наповненому вагоні. Ефективне керування РПУС, що передбачає його трансформацію в бік більшої рівномірності, є можливим за умови концентрації зусиль на цілеспрямованому стимулюванні зацікавленості пасажирів у користуванні лише одним, найменш популярним вагоном. Саме він може прийняти додатково більше пасажирів за будь-який інший (із дотриманням норм наповнення), що свідчить про високий потенціал зменшення нерівномірності РПУС за рахунок більш ефективного використання місткості цього вагона.

Від боротьби з надмірною популярністю «пикового» вагона состава (однак за збереження особливої уваги до нього) видається за доцільне перейти до підвищення привабливості того вагона, котрим пасажири користуються найменше, бо заохочувальні заходи виявляються більш дієвими, ніж будь-які бар'єри і заборони. Взагалі в арсеналі прийомів раціональної організації пасажирських перевезень, поряд із запобіганням виникненню «пиків» будь-якої природи, має посісти належне місце прагнення до заповнення «западин» у відповідних діаграмах пасажиропотоків. Яскравим прикладом реалізації такої стратегії є диференційована ціна (за періодами доби, днями тижня, ділянками транспортної мережі тощо) як регулятивний заохочувальний засіб, спрямований і на зменшення нерівномірності пасажиропотоків.

Оскільки основним мотивом при виборі пасажирами того чи іншого вагона состава є економія часу при користуванні ним, то повернути їхню увагу до потрібного вагона можна завдяки компенсуванню порівняно більших витрат часу, пов'язаних із поїздкою в малопривабливому вагоні. Цьому якнайкраще відповідає організація попутного обслуговування пасажирів, тобто надання додаткових послуг та інформації, створення більших зручностей: 1) на станції – в місці очікування пасажирами прибуття найменш наповненого вагона состава; 2) усередині найменш наповненого вагона состава. Йдеться про той вагон состава, котрий є найменш популярним на найбільш навантаженій ділянці лінії.

В рамках першого напрямку організації попутного обслуговування пасажирів бажано було б на початковій та одній-двох наступних станціях лінії біля місця зупинки найменш наповненого вагона сконцентрувати, наприклад, додаткові лави, пристрої для чищення взуття, дисплеї інформаційних систем. Це сприятиме підвищенню й загальної культури обслуговування пасажирів, а отже, – поверненню їх до метрополітену взагалі. Мається на увазі саме початкова станція лінії та кілька подібних до неї за характером пасажиропотоків станцій, послідовно розташованих після неї за напрямком руху. Це запобігає небажаному перерозподіленню пасажирів поміж вагонами состава іншого напрямку руху при реалізації запропонованих заходів.

Другий напрям організації попутного обслуговування пасажирів для досягнення більшої рівномірності їх розподілення по вагонах состава полягає у створенні більших зручностей саме всередині найменш наповненого вагона, наприклад, застосування цифрових мультимедійних систем для інформування і розважання пасажирів у дорозі.

Згадані прийоми попутного обслуговування пасажирів і розміщення в майбутньому відповідних технічних засобів мають бути підпорядковані провідній ідеї досягнення більшої рівномірності РПУС.

Крім того, нами запропоновано в рамках системи оплати проїзду за технологією безконтактних смарт-карт передбачити можливість надання знижки при користуванні найменш наповненим вагоном состава. Для кожного напрямку руху це буде свій певний вагон, але визначитися з його вибором треба на тривалий час, щоб пасажири змогли звикнути до цієї новації і картина їх розподілення по вагонах состава змогла би стабілізуватися. При цьому на кабіні машиніста має бути розміщено змінний трафарет із номером вагона, в якому пасажири отримуватимуть знижку оплати проїзду. Бажано було б, щоб на стіні тунелю біля місця зупинки згаданого вагона містився яскравий напис, на зразок: «Зупинка вагона, в якому надається знижка». Проілюструвати це можна прикладом. Для досягнення більшої рівномірності РПУС у Московському метрополітені на стіні станції «Комсомольська» Сокольницької лінії в напрямку руху до центру міста, біля місця зупинки першого вагона встановлено таблицю з написом: «На посадку проходите в середні вагони».

Таким чином, надання обґрунтованої знижки оплати проїзду дозволить досягти більшої рівномірності РПУС, а отже, – зменшити потребу в РС, пробіг вагонів і витрати електроенергії на тягу поїздів.

Розкриємо суть методики розрахунку зниження потреби в РС в результаті вжиття запропонованих заходів зі зменшення нерівномірності користування різними вагонами состава. Для оцінки зниження потреби у РС у кожну годину роботи певної лінії треба спочатку визначити, скількох пасажирів може додатково гарантовано прийняти найменш наповнений вагон состава на «піковому» пе-

регоні. Щоб визначити цю додаткову чисельність пасажирів, від величини максимального на цій лінії наповнення вагона в розрахункову годину необхідно відняти значення наповнення іншого вагона, а саме – найменш наповненого на тому ж перегоні, але величина його наповнення береться найбільша поміж усіх перегонів того ж самого напрямку руху. Остання вимога пояснюється неприпустимістю перевантаження в майбутньому на інших перегонах того вагона, що досі характеризувався найменшим наповненням. Далі обчислюється нова (збільшена) чисельність пасажирів, яких може перевозити увесь состав.

Після того оцінюється середнє наповнення вагона на «піковому» перегоні, виходячи зі збільшеної чисельності пасажирів состава. Тоді можна обчислити нову (зменшену) величину коефіцієнта нерівномірності наповнення вагонів состава  $K'_{\text{нап.ваг}}$  на «піковому» перегоні. При його розрахунку використовується вихідне значення наповнення «пікового» вагона, яке умовно розглядається як допустима норма. Умовність полягає в тому, що ми виходимо з обов'язкової коректності визначення розмірів руху поїздів (із дотриманням нормативів наповнення) на практиці.

Далі треба розрахувати величину відносного зменшення (у відсотках) коефіцієнта нерівномірності наповнення вагонів состава  $\delta_{K_{\text{нап.ваг}}}$

$$\delta_{K_{\text{нап.ваг}}} = \frac{K_{\text{нап.ваг}} - K'_{\text{нап.ваг}}}{K_{\text{нап.ваг}}} 100, \quad (4)$$

де  $K_{\text{нап.ваг}}$ ,  $K'_{\text{нап.ваг}}$  – вихідне і зменшене значення коефіцієнта нерівномірності наповнення вагонів состава.

В результаті перетворень формулу (4) можна записати у вигляді

$$\delta_{K_{\text{нап.ваг}}} = (1 - I_k) 100, \quad (5)$$

де  $I_k$  – індекс коефіцієнта нерівномірності наповнення вагонів состава.

Індекс  $I_k$  показує, яку частку від вихідної величини  $K_{\text{нап.ваг}}$  становить нове (зменшене) його значення  $K'_{\text{нап.ваг}}$ . Можна припустити, що саме в такому співвідношенні знижується потреба у РС. Це пояснюється відомою пря-

мою пропорційною залежністю між останнім показником і величиною коефіцієнта нерівномірності наповнення вагонів состава

$$M = \frac{T_{\text{об}} P_{\text{max}}}{m_{\text{max}} n} K_{\text{нап.ваг}}, \quad (6)$$

де  $M$  – число составів, які мають здійснювати перевезення;  $T_{\text{об}}$  – тривалість повного обороту состава на лінії в розрахунковий період часу, год;  $P_{\text{max}}$  – пасажиропотік на перегоні, де спостерігається максимальне на лінії наповнення вагона в розрахунковий період часу, пас./год;  $m_{\text{max}}$  – середнє за розрахунковий період наповнення максимально навантаженого на цій лінії вагона в складах на тому перегоні, де це наповнення спостерігається, пас./вагон;  $n$  – число вагонів состава;  $K_{\text{нап.ваг}}$  – коефіцієнт нерівномірності наповнення вагонів состава на «піковому» перегоні.

Отже, індекс коефіцієнта нерівномірності наповнення вагонів состава ( $I_K$ ) чисельно дорівнює відношенню нового (зменшеного) числа составів ( $M'$ ), що достатньо залишити на лінії після реалізації запропонованих заходів, до вихідного їх числа ( $M$ )

$$I_K = \frac{M'}{M}. \quad (7)$$

Використовуючи формулу (7), можна розрахувати зменшене число составів ( $M'$ ), які мають здійснювати перевезення. Однак величина потреби у РС може бути виражена лише цілим числом. Тому розраховане зменшене число составів округляють у бік збільшення (для гарантованого здійснення перевезень). Але цілочисельність кількості РС призводить до того, що зниження потреби в ньому залежить не лише від вихідної картини нерівномірності РПУС на «піковому» перегоні (виражається індексом  $I_K$ ), а й від початкового числа составів, які здійснюють перевезення в певну годину на лінії. Чим більшою є остання величина, тим легше знайти обґрунтовану можливість вивільнення хоча б одного состава із процесу перевезення. Проте при цьому можна досягти зменшення сумарного пробігу составів, а отже, отримати економію електроенергії, що витрачається на рух, незалежно від вихідного числа составів на лінії, за рахунок упрощення для кожної години раціонального інтервалу між поїздами. Це пояснюється тим, що останню величину в метрополітені пла-

нують із точністю не до хвилини (як на наземному транспорті), а до секунди. Відсутність потреби в округленні інтервалу між поїздами до цілого числа хвилин дозволяє вести мову про квазібезперервність згаданої величини. Її можна розглядати в рамках цієї задачі як неперервну навіть тоді, коли її виражено не у хвилинах, а в секундах. Отже, йдеться про перехід від цілочисельної кількості РС до неперервної величини інтервалу між поїздами. Тому зменшення нерівномірності користування різними вагонами состава і пов'язане з ним зниження наповнення «пікового» вагона дозволяють дуже плавно і точно збільшити інтервали між поїздами (привести ресурси, які залучаються до основного технологічного процесу, у відповідність до поточних потреб у перевезеннях).

Величина інтервалу між поїздами ( $i$ ) пов'язана з  $K_{\text{нап.ваг}}$  відомою обернено пропорційною залежністю

$$i = \frac{m_{\text{max}} n}{P_{\text{max}}} \cdot \frac{1}{K_{\text{нап.ваг}}}. \quad (8)$$

Оцінити збільшену величину інтервалу між поїздами, яка приймається завдяки зменшенню коефіцієнта нерівномірності наповнення вагонів состава за інших рівних умов, з огляду на формулу (8), можна таким чином

$$i' = \frac{K_{\text{нап.ваг}}}{K'_{\text{нап.ваг}}} i, \quad (9)$$

де  $i'$ ,  $i$  – збільшена і вихідна величина інтервалу між поїздами, с.

Далі обов'язково перевіряється здатність здійснити за збільшених інтервалів між поїздами перевезення на іншому (менш навантаженому) напрямку лінії, на якому  $K_{\text{нап.ваг}}$  можна вважати незмінним. Для цього треба знайти нове (збільшене в результаті зростання інтервалів між поїздами) значення максимального наповнення вагона на менш навантаженому напрямку

$$m'_{\text{м.н}} = \frac{i'}{i} m_{\text{м.н}}, \quad (10)$$

де  $m'_{\text{м.н}}$ ,  $m_{\text{м.н}}$  – збільшена і вихідна величина максимального наповнення вагона на менш навантаженому напрямку, пас./вагон.

Знайдене значення ( $m'_{\text{м.н}}$ ) треба порівняти з наповненням «пікового» вагона ( $m_{\text{макс}}$ ) на більш навантаженому напрямку. При цьому має виконуватися нерівність  $m'_{\text{м.н}} \leq m_{\text{макс}}$ . Якщо ж вона порушується, то виникає потреба у вжитті заходів, спрямованих на зменшення нерівномірності наповнення вагонів состава в обох напрямках лінії. Тоді було б дуже бажаним приділити особливу увагу узгодженню (між зустрічними напрямками руху) відповідних дій.

Треба зазначити, що для розрахунку інтервалу між поїздами у вихідні та святкові дні вираз (8) може бути лише орієнтиром. Остаточне ж рішення приймається з урахуванням максимально допустимої величини інтервалу. Те ж саме стосується перевезень і в будні дні на лініях, добудова яких до проектної довжини очікується в майбутньому, а тому нині тут спостерігаються незначні для метрополітену пасажиропотоки (наприклад, перша пускова ділянка у Дніпропетровську). При цьому немає великої потреби у зниженні нерівномірності наповнення вагонів состава. Зменшення пробігу вагонів дозволяє отримати економію електроенергії на рух за рахунок скорочення роботи вагонів у частині тонно-км тари.

### Висновки

Таким чином, виявлені закономірності нерівномірного РПУС покладено в основу запропонованих заходів, реалізація яких дозволить удосконалити процес перевезення в метрополітені, а саме: знизити потребу у РС, його пробіг і відчутно зменшити енергоспоживання в поєднанні з підвищенням культури обслуговування пасажирів. Перспективи подальших досліджень полягають у виявленні та кількісному описанні впливу на нерівномірність РПУС у метрополітені таких характеристик процесу перевезення: а) число вагонів у составі; б) довжина посадкової частини платформи та в) величина інтервалу між поїздами (особливо за малих значень).

### Література

1. Якушкин И. «Пики в пиках»: неотложные задачи улучшения метрополитенного сообщения: ч. 1 / И. Якушкин // Метрострой. – 1987. – № 4. – С. 21–22.
2. Якушкин И. «Пики в пиках»: неотложные задачи улучшения метрополитенного сообщения: ч. 2 / И. Якушкин // Метрострой. – 1987. – № 6. – С. 23–24.
3. Артынов А.П. Автоматизация процессов планирования и управления транспортными системами / А.П. Артынов, В.В. Скалецкий. – М.: Наука, 1981. – 280 с.
4. Якушкин И.М. Пассажирские перевозки на метрополитенах / И.М. Якушкин. – М.: Транспорт, 1982. – 175 с.
5. Закс М. Эксплуатационная нагруженность вагонов / М. Закс, А. Зиновьев // Метрострой. – 1974. – № 4. – С. 26–27.
6. Исаевич И.И. Влияние неравномерности повагонного распределения пассажиров на провозную способность метрополитена / И.И. Исаевич, С.Н. Большакова // Реконструкция – Санкт-Петербург – 2005 г. : матер. 3-го Междунар. симп. – С.Пб. – 1995. – Ч. 3. – С. 37–46.
7. Якушкин И. Оперативный метод обследования пассажирских потоков метрополитена / И. Якушкин // Метрострой. – 1960. – № 4. – С. 25.
8. Якушкин И.М. Влияние пассажирообмена станций на пропускную и провозную способность линий метрополитена / И.М. Якушкин // Вопросы организации работы и развития транспортных узлов : тр. ИКТП. – 1970. – Вып. 17. – С. 253–278.
9. Якушкин И.М. Рациональная организация пассажирских перевозок на метрополитене / И.М. Якушкин. – М.: Стройиздат, 1965. – 100 с.
10. Rüger S. Betriebstechnologie städtischer öffentlicher personenverkehr / S. Rüger. – Berlin: Transpress VEB, 1977. – 208 с.
11. Якушкин И. В поисках резервов / И. Якушкин // Метрострой. – 1990. – № 3. – С. 27–30.
12. Сооружения, устройства и подвижной состав метрополитена / А.С. Бакулин, К.И. Кудринская, П.А. Кун и др. – М.: Транспорт, 1979. – 240 с.
13. Артынов А.П. Пригородные пассажирские перевозки / А.П. Артынов, Н.У. Дмитриев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1985. – 160 с.
14. Любарский Р. Комфортность поездки в вагонах метрополитена / Р. Любарский // Метрострой. – 1983. – № 7. – С. 25–26.

Рецензент: П.Ф. Горбачов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 25 квітня 2013 р.