

Предварительные расчеты показывают, что внедрение этих мероприятий позволит сократить расход электроэнергии на 8-10% и продлить межремонтный пробег на 15-20%.

Получено 15.01.2002

УДК 625.42

І.Г.МІРЕНСЬКИЙ, д-р техн. наук, А.М.СОСПАТРОВ

Харківська державна академія міського господарства

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В МЕТРОПОЛІТЕНІ І НЕРІВНОМІРНІСТЬ НАПОВНЕННЯ ВАГОНІВ ПОЇЗДА

Розглядаються можливості енергозбереження при здійсненні перевезень на метрополітені за рахунок зменшення небажаної нерівномірності розміщення пасажирів по різних вагонах.

Однією з передумов сталого розвитку міст є стабільна робота масового пасажирського транспорту як елемента інфраструктури, а для найбільших міст ще треба окремо говорити про швидкісний транспорт, зокрема, метрополітен. Наявність станції метро підвищує привабливість району як для проживання в ньому, так і для здійснення тут капіталовкладень. Велика провізна спроможність дозволяє цьому виду транспорту прийняти основне навантаження за напрямками з концентрованими пасажиропотоками. Завдяки високій швидкості метрополітен є інтегруючим началом для міських територій. Цей вид транспорту дає можливість розвантажити проїзні частини багатьох вулиць. Підвищення комфортабельності швидкісного масового транспорту розглядається як альтернатива зростанню рівня автомобілізації.

Ефективна робота міського господарства, як і всіх галузей економіки, при підвищенні вартості й обмеженнях на споживання енергоресурсів можлива тільки при раціональному їх витрачанні. Щодо енергозбереження в метрополітені, то досвід експлуатації тут показав недостатню вивченість можливості зниження витрат електроенергії на рух за рахунок досягнення більш рівномірного пасажирського наповнення різних вагонів поїзда, що аж ніяк не відповідає величині пов'язаних з цим резервів. Спостерігається надмірне наповнення одних вагонів і недовантаженість інших у кожному поїзді на всіх лініях навіть у години "пік" за найбільш напруженими напрямками. Це негативне явище пояснюється тим, що багато пасажирів віддають перевагу в користуванні тому вагону, який зупиняється на станції висадки найближче до виходу з неї. Пасажири економлять час, використовуючи чекання поїзда для наближення до місця "зупинки" потрібних дверей. Економія часу є настільки важливою, що пасажири нехтують комфор-

том. Причини виникнення цієї нерівномірності закладені ще на етапі проектування. Вони зумовлені неузгодженістю роботи станцій у формуванні “внеску” кожної з них до картини розміщення пасажирів по вагонах поїзда на лінії. При проектуванні станцій слід уникати рішень, що передбачали б зупинення того ж вагона напроти виходів одразу на кількох станціях тієї ж лінії [1]. Нерівномірність наповнення вагонів поїзда на перегоні оцінюють коефіцієнтом

$$K_{\text{нап.ваг}} = m_{\text{макс}} / m_{\text{сер}},$$

де $m_{\text{макс}}$, $m_{\text{сер}}$ – максимальне і середнє наповнення вагона, пас./вагон.

У Харківському метрополітені $K_{\text{нап.ваг}}$ змінюється від 1,03 до 2,38 при середньому значенні 1,42. Високі значення свідчать про неповне використання рухомого складу, надмірну витрату електроенергії на рух і, значить, про великі резерви, а також потребу в їх виявленні та використанні.

Виконані дослідження дозволили математично виразити вплив нерівномірності наповнення вагонів поїзда на енергоспоживання під час руху. Це зробити зручніше, звернувшись до останнього показника в перерахунку на виконання 1 пас.-км:

$$\begin{aligned} Z &= \frac{B}{Al_{\text{сер}}} = \frac{(nq_{\text{T}}W + q_{\text{пас}}Al_{\text{сер}})Y}{Al_{\text{сер}}} = \left(\frac{nq_{\text{T}}W}{Al_{\text{сер}}}M + q_{\text{пас}} \right) Y = \\ &= \left(\frac{nq_{\text{T}}tv_{\text{об}}}{Al_{\text{сер}}} \cdot \frac{T_{\text{об}}P_{\text{макс}}}{m_{\text{макс}}n} K_{\text{нап.ваг}} + q_{\text{пас}} \right) Y. \end{aligned} \quad (1)$$

Тут Z – витрата електроенергії на рух для виконання 1 пас.-км, Вт·год/пас.-км; B – витрата електроенергії на рух, Вт·год; $Al_{\text{сер}}$ – робота з перевезення пасажирів, пас.-км; n – число вагонів поїзда; q_{T} – маса тари, т; W – загальний пробіг составів за даний період на лінії, поїздок-км ($W = wM$); w – середній пробіг одного поїзда за розрахунковий період на лінії, км; M – потреба у поїздах; $q_{\text{пас}}$ – середня маса пасажирів, т; Y – питома витрата електроенергії на рух, Вт·год/т-км брутто; t – розрахунковий період, год; $v_{\text{об}}$ – швидкість повного обороту состава на лінії в розрахунковий період, км/год; $T_{\text{об}}$ – тривалість повного обороту поїзда в даний період, год; $P_{\text{макс}}$ – пасажиропотік на перегоні з максимальним на даній лінії наповнення вагона в розрахунковий період, пас./год; $m_{\text{макс}}$ – середнє за даний період наповнення максимально навантаженого на даній лінії вагона в поїздах на тому перегоні, де це наповнення спостерігається, пас./вагон.

Після перегрупування формулу (1) можна подати у вигляді

$$\begin{aligned}
 Z &= \left(\frac{nq_T t v_{об} T_{об}}{A_{сер}} \cdot \frac{P_{макс}}{m_{макс} n} K_{нап.ваг} + q_{пас} \right) Y = \\
 &= \left(\frac{nq_T t R}{A_{сер}} \cdot \frac{1}{i_{K=1,00}} K_{нап.ваг} + q_{пас} \right) Y = \\
 &= \left(\frac{q_T t R P_{макс}}{A_{сер} m_{макс}} K_{нап.ваг} + q_{пас} \right) Y \text{ при } \rho \square [\rho], i \square [i], Y = \text{const.} \quad (2)
 \end{aligned}$$

де R – рейс (відстань повного обороту поїзда на лінії), км; $i_{K=1,00}$ – інтервал між поїздами, який був би при $K_{нап.ваг} = 1,00$, хв; $\rho, [\rho]$ – фактична і допустима величина коефіцієнта заповнення вільної площі салону вагона, пас./м²; $i, [i]$ – фактична й максимальна величина інтервалу між поїздами, хв.

Формула (2), яку нами виведено з використанням відомих співвідношень [2], виражає функціональну залежність витрати електроенергії на рух для виконання 1 пас.-км від коефіцієнта нерівномірності наповнення вагонів поїзда. Залежність являє собою лінійну функцію, що зростає. Перевагою формули (2) є перехід від змінюваних протягом доби величин швидкості й тривалості повного обороту поїзда до постійної, а тому зручнішої величини відстані повного обороту. Для ліній Харківського метрополітену можна навести відповідні залежності. Наприклад, щодо періоду часу з 11.00 до 12.00, використовуючи формулу (2), для Холодногорсько-Заводської лінії отримано (рисунок):

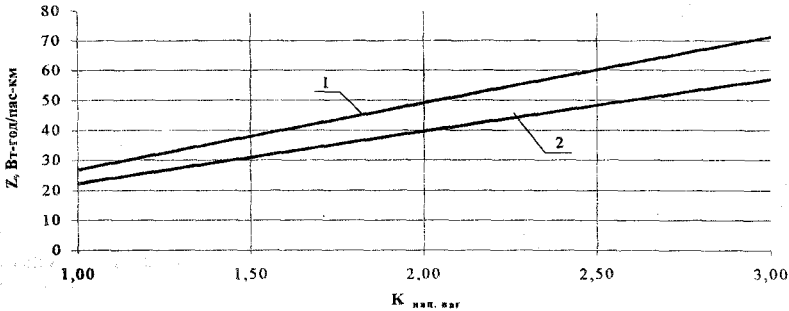
$$Z = \left(\frac{32,8 \cdot 1 \cdot 34,52 \cdot 8984}{169476,68 \cdot 174} K_{нап.ваг} + 0,07 \right) 64,6 = 4,5 + 22,3 K_{нап.ваг};$$

для Салтівської лінії

$$Z = 4,9 + 17,3 K_{нап.ваг}.$$

Ці дані спостережень вказують на існування оберненої залежності між $K_{нап.ваг}$ і чисельністю пасажирів у найменш наповненому вагоні [3]. Це свідчить про можливість зменшення згаданого виду нерівномірності пасажиропотоків на діючих лініях організаційними способами: шляхом привернення пасажирів до того вагона, яким вони користуються найменше. Саме цей вагон може прийняти додатково пасажирів більше, ніж будь-який (з дотриманням норм наповнення). Оскільки вирішальним фактором при виборі пасажирями того чи іншого вагона є час, що заощаджується при користуванні ним, то привернути їхню увагу до потрібного вагона можна завдяки компенсуванню порівняно

більших витрат часу, пов'язаних з поїздкою у малопривабливому вагоні. Цьому якнайкраще відповідає організація попутного обслуговування пасажирів, тобто надання додаткових послуг та інформації, створення більших зручностей у найменш наповненому вагоні поїзда і на станції в місці чекання пасажирами його прибуття [3].



Залежність витрати електроенергії на рух для виконання 1 пас.-км від нерівномірності наповнення вагонів поїзда (м.Харків, 22.10.97, 11.00-12.00):
1 – Холодногорсько-Заводська лінія; 2 – Салтівська лінія.

Розглянемо обчислення економії електроенергії в результаті зменшення нерівномірності користування вагонами поїзда. Економія зв'язана з можливістю збільшення інтервалів між поїздами за рахунок повнішого використання місткості найменш наповнених вагонів із забезпеченням тих же умов поїздки в інших вагонах. Для оцінки економії електроенергії в кожну годину треба спочатку визначити, скільки пасажирів може додатково прийняти найменш наповнений вагон поїзда $\Delta m_{\text{мін}}$. Зокрема, на Холодногорсько-Заводській лінії у більш навантаженому напрямку "Пролетарська" - "Холодна Гора" таким вагоном є четвертий як найменш популярний на "піковому" перегоні "Радянська" - "Центральний ринок". Далі обчислюємо збільшену чисельність пасажирів, яких може перевозити увесь поїзд. Після цього оцінюємо середнє наповнення вагона $m'_{\text{сер}}$, виходячи із збільшеної чисельності пасажирів поїзда. Тоді можна обчислити зменшене значення коефіцієнта нерівномірності наповнення вагонів поїзда $K'_{\text{нап.ваг}}$. Рациональний для даної години інтервал (і) між поїздами пов'язаний з $K_{\text{нап.ваг}}$ обернено пропорційною залежністю [2]:

$$i = \frac{m_{\text{макс}} \cdot n}{P_{\text{макс}}} \cdot \frac{1}{K_{\text{нап.ваг}}} \quad (3)$$

Оцінити збільшену величину інтервалу між поїздами при змен-

шенні $K_{\text{нап.ваг}}$ та за інших рівних умов (див. формулу (3)) можна таким чином:

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

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

Далі перевіряємо спроможність здійснити при збільшених інтервалах між поїздами перевезення на менш навантаженому напрямку лінії, на якому $K_{\text{нап.ваг}}$ можна вважати незмінним. Після цього можна розрахувати (див. формулу (2)) зниження витрати електроенергії на рух для виконання 1 пас.-км (ΔZ) і в абсолютному вираженні (ΔB). Щодо Салтівської лінії, то в напрямку "Історичний музей" - "Героїв Праці" вагоном, до якого варто привертати увагу пасажирів, є третій як найменш популярний з усіх п'яти на "піковому" перегоні "Пушкінська" - "Київська", а в напрямку "Героїв Праці" - "Історичний музей" це буде четвертий вагон, що є найменш наповнюваним на "піковому" перегоні "Київська" - "Пушкінська". У таблиці наведено результати розрахунків для годин, в які проводилися спостереження.

Дані щодо економії електроенергії (м.Харків, 22.10.1997)

Показник	Лінія			
	Холодногорсько-Заводська		Салтівська	
	11.00-12.00	12.00-13.00	11.00-12.00	12.00-13.00
$m_{\text{макс}}$, пас./вагон	174	153	190	192
$m_{\text{сер}}$, пас./вагон	135	126	140	138
$m'_{\text{сер}}$, пас./вагон	147	135	151	145
$\Delta m_{\text{мін}}$, пас./вагон	60	44	56	38
$K_{\text{нап.ваг}}$	1,29	1,22	1,36	1,39
$K'_{\text{нап.ваг}}$	1,19	1,14	1,26	1,32
i , с	270	270	270	270
i' , с	293	289	291	284
Δi , с	23	19	21	14
δi , %	8,4	7,0	7,9	5,3
Z , Вт-год/пас.-км	33,3	32,1	28,4	28,9
Z' , Вт-год/пас.-км	31,0	30,3	26,6	27,7
B , кВт-год	5 638	5 691	3 904	3 886
B' , кВт-год	5 260	5 370	3 666	3 723
ΔB , кВт-год	378	321	238	163
δB , %	6,7	5,6	6,1	4,2

У цілому для ліній Харківського метрополітену (будні дні) очікується річна економія близько 2 318 тис. кВт-год електроенергії.

Використання виявлених закономірностей розміщення пасажирів у поїзді дозволить відчутно зменшити енергоспоживання в поєднанні з підвищенням культури обслуговування.

1. Якушкин И.М. Пассажи́рские перевозки на метрополитенах. – М.: Транспорт, 1982. – 175 с.

2. Методические указания по расчету технико-экономических показателей городского электрического транспорта – трамвая, троллейбуса и метрополитена / Сост. Л.А. Исаев. – Харьков, 1996. – 30 с.

3. Мірєнський І.Г., Сосіпатров А.М. Удосконалення організації перевезень пасажирів на метрополітені // Вестник Национального технического университета "ХПИ". Вып. 14. – Харьков, 2001. – С.30–37.

Отримано 18.01.2002

УДК 338.244:004.85

Л.И.НЕФЕДОВ, д-р техн. наук, Е.Г.СТОПЧЕНКО,
Г.И.СТОПЧЕНКО, канд. техн. наук, Н.М.ЗОЛОТОВА
Харьковская государственная академия городского хозяйства

МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ РАЗВИТИЕМ ГОРОДСКИХ СИСТЕМ

Рассматриваются основные этапы процесса управления развитием городских систем. Сформированы модели принятия многокритериальных решений.

Задачи управления развитием городскими системами (ГС), как правило, относятся к слабоструктурированным и характеризуются неопределенностью исходной информации, наличием неопределенности в описании объектов управления многофакторностью и многокритериальностью принимаемых решений. Эти особенности резко ограничивают возможности методов оптимизации и их использование связано со значительными упрощениями реальных ситуаций принятия решений.

Решение задач управления развитием предполагает исследование ГС с целью получения данных, необходимых для составления целостной картины материальных процессов, информационных потоков и процессов принятия решений. Изменение цели, состояния внешней среды, ухудшение свойств элементов ГС вызывает необходимость адаптации системы путем изменения ее свойств, состава и структуры для более эффективного протекания управляемых процессов. В общем случае модель ГС представляется следующим образом:

$$\Sigma = \langle T, X, Y, S(A, W(A), R(A))\theta, L, \varphi_1, \varphi_2 \rangle,$$

где T – множество моментов времени; X – множество входов; Y – множество показателей функционирования системы; S – множество состоя-