

3. Овечников Е.В., Фишельсон М.А. Городской транспорт. – М.: Высш. шк., 1976. – 382 с.
4. Доля В.К. Методы организации перевозок пассажиров в городах. – Харьков: Основа, 1992. – 144 с.
5. Артынов А.П. и др. Автоматизация управления транспортными системами. – М.: Наука, 1984. – 272 с.
6. Резер С.М. Управление транспортом за рубежом. – М.: Наука, 1994.

Получено 10.01.2002

УДК 621.333

В.Х.ДАЛЕКА, канд. техн. наук

Харківська державна академія міського господарства

### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СПОЖИВАННЯ РЕСУРСІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Розглядається питання розробки математичної моделі перетворення попиту на транспортні послуги до транспортної роботи та витрат ресурсів і отримання доходів. Запропоновано вибір стратегії господарської діяльності підприємств транспорту проводити на основі розв'язання мінімаксної задачі.

На сьогодні виконано багато досліджень з оптимізації показників конструкції технічних засобів, розробки прийомів оптимальної організації експлуатації, створення оптимальних систем технічної експлуатації [1-3]. Але як у цих дослідженнях, так і в практиці планування діяльності підприємств міського електротранспорту завжди виходять, навіть без спеціальних нагадувань, з принципу усталеності балансу взаємодій складових, що розглядаються. Інакше кажучи, досі не враховувалися ситуації, коли видатки на експлуатацію, навіть оптимізовані, не перекриваються відповідними надходженнями, коли втрата технічного ресурсу основних фондів не може бути компенсована амортизаційними відрахуваннями тощо. Тому розглядувана тут модель перетворення попиту на транспортні послуги до транспортної роботи та витрат ресурсів не є всеохоплюючою і, таким чином, виступає складовою частиною більш загальної моделі.

З найбільш загальних позицій функціонування міського електротранспорту є процесом життєдіяльності об'єкта, в якому відбувається перетворення ресурсів, потрібних для виконання призначення цього об'єкта. При цьому ресурсом вважається, незалежно від його природи, все, що має відношення до діяльності об'єкта, змінюється в часі відповідно до призначення об'єкта і може бути виміряне загальною одиницею (звичайно у грошовій формі). Ресурси у вигляді дотацій від міського бюджету і отриманих доходів від перевезень надходять ззовні до об'єкта, створюються самим об'єктом і споживаються у вигляді транс-

портної роботи навколишнім середовищем у процесі задоволення потреб населення у транспортних послугах. Ресурси у вигляді фонду робочого часу споживаються при здійсненні транспортної роботи. Збільшення імовірності відмов рухомого складу означає некомпенсовану втрату його технічного ресурсу тощо.

Перетворення ресурсів відбувається як у навколишньому середовищі (З), коли отриманому ресурсу відповідає формування можливості ресурсозабезпечення об'єкта, так і в межах самого об'єкта (В), коли потреби на продукування результату діяльності відповідають можливості об'єкта. Стосовно експлуатації міського електротранспорту це означає, що задоволення попиту населення на пасажироперевезення повинно супроводжуватись відповідними витратами, а забезпеченню необхідних обсягів транспортної роботи мають відповідати організаційні та технічні можливості підприємства. Таким чином усталена, тобто при взаємній відповідності ресурсів експлуатація міського електротранспорту означає дотримання умови (знак  $\div$  означає відповідність):

$$\begin{cases} \Pi_{\text{ТР}}^{(B)} \div M_{\text{Е}}^{(B)}, \\ \Pi_{\text{ТР}}^{(B)} \div M_{\text{Ф}}^{(3)}, \\ \Pi_{\text{ТП}}^{(3)} \div M_{\text{Ф}}^{(3)}, \\ \Pi_{\text{ТП}}^{(3)} \div M_{\text{Е}}^{(B)}, \end{cases}$$

де символами  $\Pi$  і  $M$  позначені потреби й можливості, нижні індекси ТР, Е, Ф і ТП означають відповідно транспортну роботу, експлуатаційні спроможності підприємства, необхідні кошти на потрібний обсяг транспортних послуг як показник задоволення потреб міського населення.

Очевидно, що коли споживання ресурсу об'єктом дорівнює споживанню навколишнім середовищем, процес є нейтральним; якщо продукування ресурсу від об'єкта менше притоку ресурсу ззовні, то маємо збитковий процес. Для експлуатації міського електротранспорту поняття “збитковість” означає деградацію підприємства і незадоволений попит на транспортні послуги, поняття “прибутковість” – це розвиток підприємства та підвищення якості транспортного обслуговування. Таким чином, баланси ресурсів  $R$  можуть створювати різні комбінації:

$$\left\{ \begin{array}{l} [R(M_{\Phi}^{(3)}) - R(\Pi_{TR}^{(B)})] \rightarrow \begin{cases} \leq 0, & \text{- деградація;} \\ = 0, & \text{- стабільність;} \\ \geq 0, & \text{- розвиток;} \end{cases} \\ \\ [R(M_E^{(B)}) - R(\Pi_{TP}^{(3)})] \rightarrow \begin{cases} \leq 0, & \text{- незадоволений попит;} \\ = 0, & \text{- задоволення попиту;} \\ \geq 0, & \text{- підвищення якості} \end{cases} \end{array} \right.$$

транспортного обслуговування.

Цими комбінаціями вичерпуються всі можливі ситуації, що можуть складатися у сфері транспортного обслуговування. Якщо, наприклад, підприємство попередньо знаходилося у стабільному стані і задовольняло попит на перевезення, то поступове зменшення попиту внаслідок появи альтернативних перевізників обумовить, з одного боку, підвищення якості транспортного обслуговування, а з другого – через відповідне зменшення доходів при тих же обсягах транспортної роботи та збереженні незмінною дотації може означати початок деградації. Очевидно, що за допомогою цієї моделі можна формувати стратегію змін у господарській діяльності підприємства відповідно до того чи іншого балансу ресурсів.

Узагальнено експлуатація міського електротранспорту означає витрату певних ресурсів, потрібних для виконання запланованих обсягів транспортної роботи відповідно до попиту на пасажироперевезення з боку міського населення. Середня за годину вартість задоволення попиту на транспортні послуги визначається потрібною кількістю  $N_{\text{потр.}}$  одиниць в русі, яка повинна забезпечити частоту руху  $f_{\text{потр.}}$ , що при вартості робіт  $Z_{\text{т.с.}}$  з підтримання на належному рівні технічного стану на одну вагоно(машино)-годину потребує годинних витрат  $N_{\text{потр.}}$   $Z_{\text{т.с.}}$ . При цьому враховується також частка витрат  $\Delta Z_{\text{потр.}}$ , що йде на утримання інфраструктури (колійне господарство, споруди, інженерні мережі, електрогосподарство і т.п.) та інші невиробничі потреби, і частка амортизаційних відрахувань, що припадає на одну вагоно(машино)-годину в русі. Частка вартості задоволення попиту, що йде на оплату робочого часу водіїв, визначається потрібною кількістю  $N_{\text{потр.}}$  одиниць в русі (з урахуванням роботи іншого лінійного персоналу за допомогою коефіцієнта  $k_{\text{л.п.}}$ ) та середньозваженої годинної ставки  $C_{\text{сз.}}$ .

Годинна вартість електроенергії, що повинна бути витрачена на задоволення попиту, визначається добутком питомих витрат енергії а

на перевезену  $N_{\text{потр.}}$  одиницями масу, що для кожної одиниці складається з середньої маси тари  $M_{\text{т.с.}}$  і маси пасажирів при середньому наповненні  $H_c$  та розрахунковій масі одного пасажирів  $0,07$  т при діючому тарифі. Відстань, на яку пересувається маса протягом години, дорівнює експлуатаційній швидкості  $V_e$ . Таким чином, потрібні ресурси для задоволення попиту населення на пасажироперевезення визначаються формулою

$$R(\Pi_{\text{ТП}}^{(3)}) = N_{\text{потр.}} [3_{\text{т.с.}} + c(1 + k_{\text{л.п.}}) + aV_e(M_{\text{т.с.}} + 0,07H_c)_T] + \Delta Z.$$

Ресурси, що відповідають можливостям експлуатації, за своїм складом такі ж, але відносяться до фактичної, яку спроможне забезпечити підприємство, кількості одиниць в русі  $N_{\text{факт.}}$ . Фактичне наповнення  $H_{\text{ф}}$  і фактичний випуск одиниць на лінію визначаються імовірністю безвідмовної роботи  $P$ , яку можна досягти при даному стані підприємства, а відмови з цієї кількості потребують додаткових витрат ресурсів, що є добутком імовірності відмов з технічної несправності  $(1-P)$  і витрат на компенсацію однієї відмови  $\Delta Z_{\text{д.}}$ . У той же час має місце зменшення витрат енергії, тому

$$R(M_E^{(B)}) = N_{\text{факт.}} [3_{\text{т.с.}} + c(1 + k_{\text{л.п.}}) + PaV_e(M_{\text{т.с.}} + 0,07H_{\text{ф}})_T + (1-P)\Delta Z_{\text{д.}}] + \Delta Z.$$

Обсяг ресурсів, що планується для виконання певної транспортної роботи виходячи зі спроможностей підприємства, очевидно, не враховує економію енергії при відмовах з технічної несправності, але передбачає витрати на непланові ремонти, що знаходять втілення у розрахунковій імовірності  $P_p$ :

$$R(\Pi_{\text{ТР}}^{(B)}) = N_{\text{план.}} [3_{\text{т.с.}} + c(1 + k_{\text{л.п.}}) + aV_e(M_{\text{т.с.}} + 0,07H_{\text{пл.}})_T + (1-P_p)\Delta Z_{\text{д.}}] + \Delta Z.$$

Можливості надходження ресурсів для здійснення перевезень, приведені до однієї години з середньодобової тривалості перебування рухомих одиниць в русі  $t_{\text{сд}}$ , визначаються обсягом дотацій  $D_1$ , що припадають на добу з  $n$  діб місяця та добового доходу від перевезень  $D_2$ :

$$R(V_{\text{Ф}}^{(3)}) = \frac{1}{t_{\text{сд}}} \left( \frac{D_1}{n} + D_2 \right).$$

Коли проаналізувати зв'язки між складовими, що входять до вираження ресурсів, то слід зробити висновок про відсутність можливості отримання глобального екстремуму, тобто можливості сформулювати набір оптимальних показників, які забезпечували б максимум критерію досконалості експлуатації. Крім того, неможливість реального досягнення цього критерію, навіть якщо він був би сформульований, ви-

значається неможливістю підприємства варіювати обсягом дотацій. Таким чином задача створення критерію досконалості експлуатації, на основі якої можна розробляти стратегію господарської діяльності, замінюється розв'язанням мінімаксної задачі. Суть її полягає у досягненні мінімальної різниці між ресурсами, потрібними для задоволення попиту, і ресурсами, які може надати експлуатація, при максимумі різниці між ресурсами, які надходять ззовні, і потрібними для здійснення транспортної роботи, виходячи з можливостей підприємства:

$$\begin{cases} \left[ R(\Pi_{\text{П}}^{(3)}) - R(M_{\text{Е}}^{(B)}) \right] \rightarrow \min, \\ \left[ R(\Pi_{\text{ТР}}^{(B)}) - R(M_{\text{Ф}}^{(3)}) \right] \rightarrow \max. \end{cases}$$

На жаль, транспортні підприємства України в умовах економічної кризи, що супроводжується істотним зменшенням дотацій від міських бюджетів і доходів через необхідність безоплатного перевезення пільгового контингенту, продовжують користуватися старою методикою планування транспортної роботи та експлуатаційних витрат, пасивно сприймаючи поступове скорочення парку рухомого складу внаслідок неможливості заміни повністю амортизованих одиниць. Отже, по всіх підприємствах на сьогодні маємо стан деградації при незадоволеному попиті на транспортне обслуговування.

Оскільки обсяги ресурсів є функціями різних складових, що повторюються, для будь-якої складової  $x$ , на яку бажано впливати для удосконалення експлуатаційних показників, може виступати аргументом

$$E = \min \max \{D_1(x), D_2(x)\}, D_1 \equiv R(\Pi_{\text{П}}^{(3)}) - R(M_{\text{Е}}^{(B)}), D_2 \equiv R(\Pi_{\text{ТР}}^{(B)}) - R(M_{\text{Ф}}^{(3)}).$$

Під  $x$  слід розуміти будь-які показники експлуатації, які поодиноці або в сукупності з іншими безпосередньо або опосередковано можуть змінювати  $D_1$  і  $D_2$  – кількості одиниць в русі, наповнення і т.п., тобто

$$x = \{a, N, H, D, \dots\}.$$

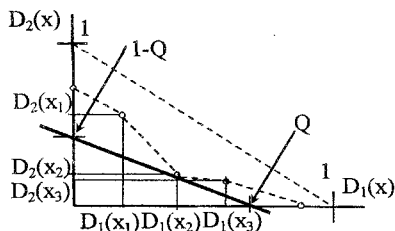
Таким чином, удосконалення експлуатації при заданих умовах збитковості полягає в реалізації попередньо оціненої за методом мінімаксу ефективності змін тих чи інших показників. При цьому для зручності значення  $D_1$ ,  $D_2$  слід приводити до відносних, щоб зміни  $D$  були в межах  $\{0,1\}$ .

Оскільки будь-який показник  $x$  можна змінювати тільки дискретно, значення  $D_1$ ,  $D_2$  можуть трактуватися як координати точок певної ламаної відповідно до значень  $x$ , поданих на рисунку. Умовою достаточності мінімаксу утвореної таким чином функції, як це виходить з тео-

рії оптимальних рішень, є дотик ламаної з побудованим в тих же координатах обмежувальним відрізком. При статистичному трактуванні задачі кутовий коефіцієнт обмежувального відрізка визначається умовною імовірністю  $\Pr(D_1)$  досягнення мінімуму і

$\Pr(D_2)=1-\Pr(D_1)$  досягнення максимуму.

Очевидно, що ті чи інші заходи з ресурсозбереження по різному можуть впливати на  $D_1$ ,  $D_2$ , збільшуючи чи зменшуючи їх, тому при детермінованих змінах замість умовних імовірностей введемо показник прийнятності  $Q$  згідно з таблицею



Показник прийнятності	$D_1$	$D_2$
0	Абсолютно неприйнятне	Абсолютно прийнятне
$0 \leq Q \leq 1$	Прийнятне	Прийнятне
1	Абсолютно прийнятне	Абсолютно неприйнятне

Таким чином, необхідність і прийнятність впровадження тих чи інших заходів, яким відповідають зміни показників  $x$ , з урахуванням потреб населення та можливостей підприємства оцінюється ступенем наближення ламаної до відрізка  $Q-(1-Q)$  і в місці дотику відповідне значення  $x$  є оптимальним, що забезпечує мінімум розбіжності між потребою населення і можливостями підприємства при максимумі різниці між потрібними й наданими ресурсами. Це твердження базується на основі теорії опуклих множин, за якою крайня точка опуклої множини, що має дотик до відрізка прямої, яка з'єднує дві точки з простору оптимальних рішень, є оптимальною. При цьому значення  $D_1$ ,  $D_2$  для зручності повинно масштабувати таким чином, щоб при граничних значеннях  $x$  вони дорівнювали або нулю, або одиниці. У цьому разі вибір оптимального або близького до оптимального значення  $x$  можна здійснити графічно.

Наведений рисунок ілюструє методику визначення прийнятності зміни певного показника експлуатації, що уособлюється величиною  $x$ . Виконавши розрахунки потрібних і можливих ресурсів при різних значеннях  $x$  (це може бути, наприклад, кілька (на рисунку три) значень експлуатаційної швидкості, або три значення питомого енергоспоживання тощо), отримуємо  $D_1$ ,  $D_2$  і відкладемо відповідні точки, одна з яких є крайньою опуклої множини в двовимірному просторі. Оптима-

льним значенням буде  $x_2$ , оскільки при цьому є дотик відрізка, що відповідає узгодженій прийнятності  $Q$ .

Оскільки впровадження ресурсозберігаючої стратегії так чи інакше торкається процесу пасажироперевезення, були досліджені основні залежності руху пасажирів за маршрутною системою. Маршрутна система міського електричного транспорту є сукупністю пунктів, де відбувається пасажирообмін, з'єднаних між собою зв'язками, на яких відбувається перевезення, так що на  $j$ -му відрізку пересувається  $N_j$  пасажирів, а також ті, які зайшли на попередніх  $i=0, 1, 2, \dots, j-1$  пунктах (зупинках) за винятком тих, які вийшли на  $q=1, 2, \dots, j$  зупинках. Отже, кожна з  $\langle k \rangle$  рухомих одиниць, що рухається на певному відтинку маршрутної системи, має наповненість  $V^{\langle k \rangle}$ :

$$V^{\langle k \rangle} = (N_j^{\langle k \rangle} + \sum_{i=0}^{j-1} N_i^{\langle k \rangle} - \sum_{q=1}^j M_q^{\langle k \rangle}).$$

У будь-який момент  $t$  на  $j$ -му відрізку (приналежному до  $j$ -ї зупинки) маємо  $n(t)$  рухомих одиниць, які розташовані відносно пунктів (зупинок) на різних відстанях і мають різне спрямування, що відповідає так званому маршрутному принципу організації руху. Отже, процес експлуатації відбувається на подвійній мережі, тобто на мережі із зв'язками, де рух відбувається в різні сторони. Прибуття пасажирів ззовні на зупинки характеризується інтенсивністю  $\lambda_j$ , яка є функцією часу. Інтенсивність прибуття пасажирів ззовні повинна узгоджуватися з попитом на транспортні послуги тим, що частота надходжень рухомих одиниць  $f_j$  з наявністю вільних місць (як різниці між припустимим наповненням  $V_{\max}^{\langle k \rangle}$  та фактичним  $V_{j,j-1}^{\langle k \rangle}$ ) відповідає інтенсивності надходжень пасажирів

$$\lambda_j \leq (V_{\max}^{\langle k \rangle} - V_{j,j-1}^{\langle k \rangle}) \cdot f_j.$$

Отже функцією часу повинен бути обсяг місць, що надається транспортом, тобто кількість  $n$  одиниць, що одночасно перебувають в русі, теж повинна бути функцією  $n_j = n(\lambda_j)$ . Залежно від виду функції  $\lambda(t)$  кількість  $n_j(\lambda_j)$  змінюється шляхом відправлення зайвих одиниць в депо при зменшенні  $I_j$  та подачі додаткових одиниць при зростанні  $\lambda_j$ .

І.Тонкаль В.Е., Новосельцев А.В., Денисюк С.П., Жуйков В.Я. и др. Баланс энергий в электрических цепях. - К.: Наукова думка, 1992. - 312 с.

2. Кузнецов Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.

3. Далека В.Х. Ресурсоемкость транспортных услуг // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.27. – К.: Техніка, 2001.– С.248-252

Отримано 01.03.2002

УДК 621.331

Е.І.КАРПУШИН, канд. техн. наук

*Харківська державна академія міського господарства*

### **ЗАСТОСУВАННЯ КАЛІБРУВАЛЬНОЇ ШКАЛИ Т.СААТІ ПРИ ОЦІНЦІ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ З ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА МІСЬКОМУ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТІ**

Викладена процедура прийняття рішень за результатами експертних оцінок пріоритетності заходів з енергозбереження при експлуатації міського електротранспорту.

Командно-адміністративна модель господарювання підприємств міського електротранспорту була спрямована на виконання заданих валових показників під виділені ресурси, тому енергозбереження об'єктивно суперечило інтересам цих підприємств, оскільки недобір запланованих лімітів електроенергії загрожував скороченням дотацій. Зменшення дотування і наближення ціни на електроенергію до світової обумовило тяжке фінансове становище підприємств, тому передумовою подальшого існування міського електротранспорту є широке впровадження заходів з енергозбереження при його експлуатації.

Показником досконалості експлуатаційного енергоспоживання під час виконання  $m$  типами рухомих одиниць на  $q$  маршрутах транспортної роботи  $N_{qm}$  при частці  $k_e$  доходу  $D$ , що йде на сплату за обсяг  $Q$  спожитої електроенергії, і при заданому тарифі на електроенергію  $t_e$  є максимум функціоналу

$$I = (k_e \cdot D - t_e \cdot Q) \rightarrow \max; \quad Q_q = e_{qm} \cdot N_{qm}; \quad Q = \sum_q Q_q.$$

$$I(e) = \max_{e \in \Omega} I(e^*),$$

$$\Omega = \left\{ e: e \in R^s; \quad g_q(e) = 0; \quad q = 1, 2, \dots; \quad e_j \geq 0; \quad j = 1, 2, \dots, s. \right\}$$

У математичній постановці це означає співпадання локального (для будь-якої складової залежності витрат енергії від відповідних чинників) і глобального  $I(e^*)$  максимумів на припустимій множині варіацій факторів  $\Omega$ , що належать до простору  $R^s$ , де  $s$  – кількість кла-