

УДК 330.4:519.8:658.12

О.А. Шумейко

Моделювання перспективного розвитку локомотивного парку залізничного транспорту

Запропоновано алгоритм моделювання перспективного розвитку локомотивного парку залізничного транспорту України за критерієм мінімізації експлуатаційних витрат з урахуванням концепції вартості грошей у часі, методом послідовного аналізу варіантів.

Ключові слова: залізниця, локомотивний парк, оновлення фондів, інвестиції.

This article suggests an algorithm modeling perspective of the locomotive fleet of railway transport of Ukraine by the criterion of minimizing maintenance costs in the light of the value of money in time, the method of sequential analysis of alternatives.

Keywords: railway transport, locomotive fleet, update of funds, investment

Вступ. Одним з найбільш витратних господарств Укрзалізниці є локомотивне господарство на його частку у 2007-2008 рр. припало 33,4% загальних середньорічних витрат. В умовах дефіциту коштів головною задачею управління розвитком локомотивного господарства є зниження витрат.

Локомотивне господарство Укрзалізниці включає в себе 68 основних та 40 обігових депо і 4 локомотиворемонтних заводи, вартість основних фондів яких становила 3 млрд. грн. Більше 80% основних фондів локомотивного господарства припадає на тяговий рухомий склад.

Чим старіший тягловий рухомий склад тим більше є витрати на його утримання. Старіння електровозу на один рік призводить до збільшення річних експлуатаційних витрат на їх утримання на 0,4-0,6%, тепловозів – на 1,2-1,4%, моторвагонних секцій та дизель-поїздів – до 1,8% [1,2].

За період 1998-2008 рр. загальні (приведені) витрати в локомотивному господарстві на ремонт на оновлення основних фондів, а також на відповідні матеріали зросли на 30%.

Вимоги до визначення об'ємів постачання та списання локомотивів повинні можуть бути сформульовані наступним чином: середня чисельність працездатних локомотивів повинна в найменшому ступіні відрізнялась від потрібної кількості в завданий інтервал часу, а відповідні економічні витрати були мінімальними.

Аналіз досліджень. Питання реформування залізничного транспорту та відтворення основних його виробничих фондів широко розглянуто у фахових наукових виданнях, наприклад [3, 4]. Основною метою цієї статті є запропонувати математичний апарат для практичного розв'язання задачі моделювання перспективного поетапного розвитку на прикладі локомотивного парку залізничного транспорту. Математичний апарат базується на методі послідовного аналізу варіантів, який був вперше сформульований В.С. Михалевичем та Н.Є.Шором [5-7].

Постановка задачі. Завдана крива D_t зростання перевезень на найближчі T років. Досліджується проміжок часу $[0, T]$, на початковий момент локомотивний парк має n типів локомотивів з різними економічними та

технічними показниками. Локомотиви $i = \overline{1, k}$ – перспективні типи локомотивів на найближчі T років, що означає допустимість їх виготовлення та придбання в рік t у кількості Z_{it} . Парк локомотивів може поповнюватись з року t локомотивами i -го типу в кількості $\Delta X_{it} \in [0, Z_{it}]$, таким чином загальна кількість локомотивів даного типу складає:

$$X_{it} = X_{it-1} + \Delta X_{it}$$

Локомотиви неперспективного типу $k + 1 \leq j \leq n$ підлягають списанню або модернізації у рік t у кількості

$$\sum_{j=k+1}^n \Delta X_{jt} \text{ локомотивів.}$$

Задача вирішується за умови, що всі локомотиви даного типу к початковому періоду часу мають однаковий пробіг.

Загальна кількість локомотивів даного неперспективного типу складає в рік t

$$X_{jt} = X_{jt-1} - \Delta X_{jt}.$$

Оновлення локомотивного парку можливе не тільки локомотивами відомих типів. Проектування нових типів локомотивів можливе лише при наявності прогнозу відносно майбутнього розвитку окремих параметрів локомотивів та рухомого складу залізниць у цілому. Однак дати точний прогноз на вельми тривалий термін складно. Тому використаємо узагальнені характеристики рухомого складу, такі як: k_t – коефіцієнт продуктивності

локомотива; α_t – коефіцієнт питомих капіталовкладень;
 β_t – собівартість перевезення 1 ткм.

Обсяг роботи, виконаний локомотивами в t -му році визначається наступною формулою:

$$L_t = k_t \sum_1^n R_m P_m X_{mt}$$

де R_m – пробіг за рік локомотиву m -го типу; P_m – продуктивність локомотиву m -го типу.

Обсяг роботи, що відноситься до року t на локомотиви нових типів, що були спроектовані в період $[0, T]$ визначається за формулою:

$$d_t = D_t - L_t.$$

На локомотиви нових типів накладається умова не зменшення обсягів роботи при переході з року $t-1$ до року t : $d_t \geq d_{t-1}$.

Інвестиції на поповнення локомотивного парку в рік t складуть:

$$I_t = \alpha_t (d_t - d_{t-1}) + \sum_1^k C_i \cdot \Delta X_{it},$$

де C_i – собівартість локомотива, що залежить від величини серії локомотивів.

Експлуатаційні витрати на утримання локомотивного парку в рік t складуть:

$$V_t = \beta_t d_t + \sum_1^n R_m B_m X_{mt},$$

де B_m – собівартість роботи локомотива.

При рішенні задачі необхідно враховувати ті зміни в часі які відбуваються з грошовими потоками капітальних вкладень та експлуатаційних витрат у часі. Ці зміни регулюються згідно з загально прийнятою концепцією вартості грошей у часі за допомогою коефіцієнту дисконтування:

$$\eta_t = \frac{1}{(1 + E)^t},$$

де E – у даному випадку виступає як коефіцієнт ефективності інвестицій, тобто норма доходності значення якої директивно визначене як доцільне по галузі або по конкретних проектах.

Таким чином, цільова функція, що підлягає мінімізації має вигляд:

$$\sum_0^T F_t \eta_t = \sum_0^T (I_t + V_t) \eta_t \rightarrow \min ,$$

при обмеженнях:

$$X_{mt} \geq 0, m = \overline{1, n},$$

$$X_{mt} - X_{mt-1} \leq Z_{it} \quad m = \overline{1, k},$$

$$X_{mt} \leq X_{mt-1} \quad m = k = 1, \dots, n,$$

$$k_t \sum_1^n R_m P_m X_{mt} \leq D_t,$$

$$d_t - d_{t-1} \geq 0.$$

Рішення цієї задачі дозволить визначити оптимальну політику планування локомотивного парку для засвоєння зростаючого обсягу перевезень та мінімізації витрат за T років.

Метод вирішення задачі. Поставлена задача є багатоваріантною задачею, яка не підлягає рішенню класичними методами математичного аналізу. Для вирішення цієї задачі пропонуємо використати схему послідовного аналізу варіантів [6,7].

Нехай відома функція багатьох векторних аргументів $x_0, x_1, \dots, x_N - F(x) = F(x_0, x_1, \dots, x_N)$, яку можливо представити у вигляді:

$$F(x) = f_N \{x_N, x_{N-1}, f_{N-1} \{x_{N-1}, \dots, f_2 [x_2, x_1, f_1 (x_1, x_0)]\}\}$$

причому функція f_{k+1} строго монотонно зростає за аргументом f_k ($k = \overline{1, N-1}$). Таку функцію будемо називати монотонно-рекурсивною. Послідовність векторів $x = \{x_0, x_1, \dots, x_N\}$ будемо називати траєкторією. Існує множина допустимих траєкторій $\{x\}$.

Задача полягає у тому, щоб з множини допустимих траєкторій, визначити таку, на якій функція $F(x)$ приймає мінімальне значення та відкинути інші варіанти.

Принцип відкидання неоптимальних варіантів полягає у наступному. Нехай існує два відрізки траєкторії x'_0, x'_1, \dots, x'_k та $x''_0, x''_1, \dots, x''_k$ при цьому

1. $x'_k = x''_k$;
2. $f_k \{x'_k, x'_{k-1}, \dots, f_1(x'_0, x'_1) \dots\} < < f_k \{x''_k, x''_{k-1}, \dots, f_1(x''_0, x''_1) \dots\}$;
3. $[x_{k+1}, \dots, x_N / x'_0, x'_1, \dots, x'_k] \supseteq \supseteq [x_{k+1}, \dots, x_N / x''_0, x''_1, \dots, x''_k]$;

Тоді жодна з траєкторій, які є продовженням відрізка $x''_0, x''_1, \dots, x''_k$, не може бути оптимальною, вони повинні бути виключені з подальшого розгляду.

Припустимо, що деяке продовження x^*_{k+1}, \dots, x^*_N відрізка $x''_0, x''_1, \dots, x''_k$ призвело до оптимального варіанту. З умови 3 випливає, що траєкторія $\{x'_0, \dots, x'_k, x^*_{k+1}, \dots, x^*_N\}$ є припустимою, а з умов 1 та 2 властивостей функції $F(x)$ випливає, що

$$\begin{aligned} F(x'_0, \dots, x'_k, x^*_{k+1}, \dots, x^*_N) < \\ < F(x''_0, \dots, x''_k, x^*_{k+1}, \dots, x^*_N) \end{aligned}$$

а це суперечить тому, що $\{x''_0, \dots, x''_k, x^*_{k+1}, \dots, x^*_N\}$ оптимальна траєкторія.

Алгоритм розв'язання задачі. Для монотонно-рекурсивної функції, якою є цільова функція $\sum_0^T F_t \eta_t$,

метод послідовного аналізу варіантів визначає природний алгоритм знаходження оптимальної траєкторії: послідовно збільшуючи k обчислюємо f_k , при виконанні умов 1-3 відрізок x''_0, \dots, x''_k виключаємо з подальшого розгляду, відповідно з розгляду виключається вся множина неоптимальних траєкторій $[x_{k+1}, \dots, x_N / x''_0, \dots, x''_k]$.

Розвиток кожної системи у часі залежить від внутрішніх властивостей системи та вибору керування. Стан системи визначається як деяка сукупність змінних параметрів, які підлягають дослідженню. В задачі, що розв'язується, такими параметрами є: кількість

локомотивів кожного з типів та обсяги роботи в році t , що відповідають кожному з типів локомотивів.

Оптимальним управлінням для даної системи будемо вважати таке, що забезпечує перехід системи в стан коли кількість локомотивів перспективних типів не убуває, а кількість локомотивів неперспективних типів не зростає. Обсяг роботи локомотивів нових типів повинен бути неспадаючою у часі функцією. Додаткова кількість локомотивів перспективних типів не повинно перевищувати величину Z_{it} .

Якщо при деякому наборі можливих управлінь в рік t в один і той же стан система може перейти декількома траєкторіями і продовження доцільного початку накриває продовження недоцільного початку, то недоцільний початок відкидається разом з продовженнями. Значення функціоналу, отримане при частково-оптимальному управлінні фіксується разом з номером відповідного минулого стану. Оскільки на кожному кроці процесу планування функціонує алгоритм відкидання неоптимальних траєкторій, у кінці проміжку дослідження можливо встановити оптимальну траєкторію.

Висновок. Оновлення локомотивного парку шляхом закупівлі нового тягового рухомого складу дає можливість у майбутньому значно зменшувати витрати на його ремонт.

Представлена модель дозволяє оптимізувати план оновлення локомотивного парку, що відповідатиме потребам залізничного транспорту, мінімізує інвестиції та поточні витрати на оновлення та забезпечує мінімальні експлуатаційні витрати.

Література

1. <http://www.ukrstat.gov.ua> – офіційний сайт Державного комітету статистики України.
2. <http://www.uz.gov.ua> – офіційний сайт Укрзалізниці
3. Макаренко М.В. Основи управління економічними процесами на залізничному транспорті України. Монографія. – К.: КУЕТТ, 2003 – 478 с.
4. Методы экономической оценки инвестиционных проектов на транспорте: Учеб.-метод. пособие / Сост. Ю.Ф.Кулаев. – К.: Транспорт України, 2001. – 182 с.
5. Михалевич В.С. Последовательные алгоритмы оптимизации и их применение. // Кибернетика. – 1965. – №1. – С.45-56.
6. Михалевич В.С. последовательные алгоритмы оптимизации и их применение. // Кибернетика. – 1965. – №2. С.85-88.
7. Михалевич В.С., Шор Н.З. Численное решение многовариантных задач по методу последовательного анализа вариантов. – М.: ЛЭММ АН СССР, 1962.