

І. В. ЖУКОВИЦЬКИЙ, В. В. СКАЛОЗУБ, О. В. ВЕТРОВА (ДІТ),
О. Л. ЗІНЕНКО (ДП Придніпровська залізниця)

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ І ЛОКОМОТИВНИХ БРИГАД

Запропоновано методи для створення удосконаленої автоматизованої системи оптимального керування роботою локомотивного парку. Описаний метод моделювання оперативного планування роботи локомотивів і локомотивних бригад ґрунтується на застосуванні багатокритерійних нечітких моделей задачі про оптимальне призначення.

Предложены методы для создания усовершенствованной автоматизированной системы оптимального управления работой локомотивного парка. Описанный метод моделирования оперативного планирования работы локомотивов и локомотивных бригад основан на использовании многокритериальных нечетких моделей задачи об оптимальном назначении.

In the paper the methods for construction of improved automated system of optimum management of locomotive depot operation have been offered. The described method of modeling the operative planning of work of the locomotives and locomotive brigades is based on the use of fuzzy multi-criteria models of the optimum assignment problem.

Забезпечення ефективного експлуатаційного і економічного управління процесами вантажних залізничних перевезень передбачає комплексне вирішення складних логістичних, організаційно-технічних та інших задач, а також побудову моделей керування перевізним процесом і інфраструктурою залізничного транспорту.

Основним завданням залізничного транспорту завжди було забезпечення зростаючих обсягів перевезень із мінімальними витратами. Оперативне планування і керівництво перевезеннями є найбільш складними елементами керування перевізним процесом. Пошукам науково обґрунтованих методів реалізації оперативних планів в частині експлуатації локомотивів і організації роботи локомотивних бригад присвячено досить багато робіт сучасних вчених. Це перш за все зумовлено тим, що значну частку витратної складової бюджету залізниці становлять витрати на експлуатацію локомотивів, а саме – до 28 %. Значну частину (50 %) складають витрати на паливно-енергетичні ресурси.

Оперативне планування поїзної і вантажної роботи залізниці

Оперативне планування поїзної роботи залізниці має бути спрямованим на забезпечення:

- безперешкодного просування вагонопотоків і виконання розмірів руху поїздів і норм передачі вагонів по стикових пунктах залізниці та її дирекцій, передбачених місячними технічними нормами, на основі чіткої взаємодії диспетчерських ділянок, розпорядчих станцій і особливо стикових пунктів дирекцій і сусідніх залізниць;

- передачі і розвозу місцевого вантажу і порожніх вагонів під навантаження між дирекціями і на сусідні залізниці;

- виконання установлених для залізниці показників використання рухомого складу [1; 2].

Оперативне планування вантажної роботи повинно бути спрямовано на забезпечення:

- виконання місячного плану відправлення вантажів по всій номенклатурі;

- своєчасного вивантаження вагонів і створення ресурсів навантаження для залізниці і для виконання регульовальних завдань Укрзалізниці [1; 2].

Розробляючи добовий план в службі перевезень, начальник оперативно-розпорядчого відділу (або його заступник) приймають доповіді старших диспетчерів дирекцій про намічені показники добових планів і вносять корективи і доповнення у відповідності з оперативними завданнями Укрзалізниці і керівництва залізниці.

План передачі поїздів і вагонів визначається на підставі даних про наявність і приймання з сусідніх залізниць навантажених й порожніх вагонів і свого навантаження для передачі через кожний стиковий пункт з урахуванням нормативів графіка руху поїздів; даних про фактичне поїзне положення і розташування локомотивів, а також на підставі прогнозу передачі, отриманого з ІСЦ.

План передачі місцевих вагонів з дирекції на дирекцію і на сусідню залізницю визначається на підставі даних про час на приймання і передбачуване навантаження по кожному стиковому пункту з урахуванням нормативів графіка руху поїздів, плану формування, фактичного їх розташування.

З метою організації збору і просування місцевого вантажу на кожній дирекції повинні видаватися завдання диспетчерському апарату [2].

Визначення у змінно-добовому плані залізниці потрібного парку локомотивів і локомотивних бригад. Норми експлуатованого парку локомотивів для забезпечення запланованих розмірів руху встановлюються за коефіцієнтом потреби на пару поїздів по кожній поїздоділянці і підсумовуються в цілому по залізниці.

Завдання на пересилку локомотивів і локомотивних бригад резервом встановлюються виходячи із їх фактичної наявності і установлюваної непарності руху в планованому періоді. Час пересилки зазначається в змінному завданні залізниці.

Для своєчасної постановки локомотивів в різні види планових ремонтів в добовому плані встановлюється кількість локомотивів, направлених в ремонт.

Начальники локомотивних депо завчасно телефонограмою (телеграмою) передають начальникам служби перевезень і локомотивного господарства (при роботі на подовжених тягових плечах) і начальникам відділів перевезень (при роботі локомотивів в межах дирекцій) графік постановки локомотивів в ремонт.

Контроль за своєчасним поверненням локомотивів в депо приписки для постановки в ремонт здійснюють чергові і помічники начальника оперативно-розпорядчого відділу по використанню локомотивів і локомотивні диспетчери дирекції [1; 2].

Порядок затвердження і передачі змінно-добового плану залізниці. Затверджений керівництвом залізниці добовий план не пізніше 15 год передпланової доби за встановленою Укрзалізницею структурою передається через ІСЦ в Головний обчислювальний центр (ПОЦ) для формування зведеного добового плану роботи залізниць з наступною передачею його в Головне управління перевезень на розгляд і затвердження, а потім у формі оперативного наказу направляється на дирекції для виконання [1; 2].

На основі добового плану і з врахуванням стану, що склався на залізниці, начальник оперативно-розпорядчого відділу служби перевезень встановлює план-завдання для кожної зміни і доводить його працівникам перед початком чергування. Схема диспетчерського управління перевізним процесом подана на рис. 1.

При автоматизованій системі складання добового плану доповіді дирекцій передаються в ІСЦ за погодженою структурою. ІСЦ на базі доповідей і машинних прогнозів до 12 год формує і передає в службу перевезень проект добового плану.

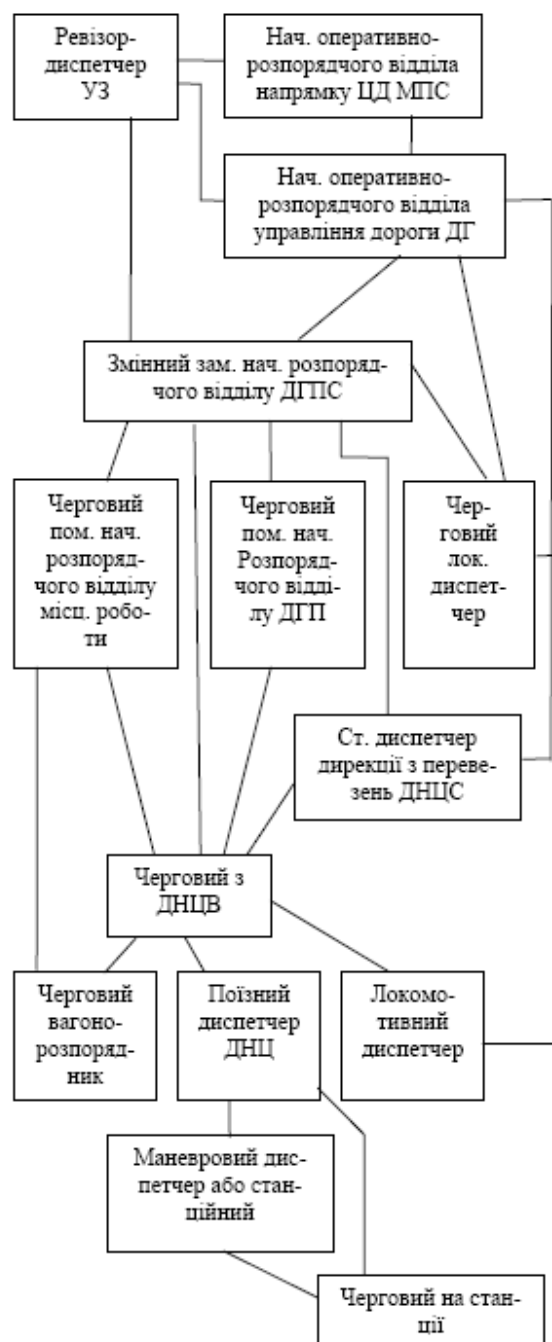


Рис. 1. Схема диспетчерського управління перевізним процесом

Постановка задачі автоматизації оперативного планування роботи локомотивів

Управління експлуатацією локомотивів є елементом оперативного планування і управління всією поїздною роботою і направлене на вибір оптимального рішення задач по забезпеченню виконання планів перевезень, передачі поїздів і вагонів, технічних норм використання рухомого складу, ритмічності та безперервності і безпеки руху поїздів.

Відповідно до плану поїзної роботи визначається потреба в локомотивах і локомотивних бригадах. У добових і змінних планах передбачається:

- рівночисельний обмін локомотивами по стиках дирекцій перевезень;
- забезпечення повертання локомотивів у депо приписки для виконання технічного обслуговування і поточних ремонтів за суворого дотримання норм по пробігу;
- відставлення локомотивів до резерву залізниці і введення до експлуатації згідно з розмірами руху.

Для організації раціонального використання локомотивів, аналізу показників їх роботи в службі перевезень і на дирекціях працюють локомотивні диспетчери. До їх обов'язків відносяться: регулювання локомотивним парком за рахунок оперативного резерву; контроль за своєчасним поверненням локомотива в депо для проходження техоглядів, поточних ремонтів і екіпірування; забезпечення дії положень щодо часу роботи і відпочинку локомотивних бригад.

На сьогодні побудовано інформаційну модель роботи локомотивного парку в інтегрованій базі даних автоматизованої системи управління вантажними перевезеннями.

Складна задача забезпечення виконання змінного і добового плану вирішується складним системним об'єктом – оперативною зміною під керівництвом оперативно-розпорядчого відділу управління залізниці. Диспетчерська зміна приймає рішення в умовах великої психологічної напруги. Від досвіду і інтуїції сучасного дільничного, локомотивного диспетчера повністю залежить ефективність використання рухомого складу і ресурсів. При цьому необхідно пам'ятати, що вирішення задачі підв'язки локомотивів до поїздів згідно з 2–4-годинним прогнозом сьогодні значно складніше, ніж в умовах роботи за часів планового господарства, коли доля сталого ядра потягів складала до 75 % графіка руху. Тому в сучасних умовах все гостріше постає питання побудови якісної системи підтримки прийняття рішень як для полегшення прийняття правильних рішень під час вибору з множини ефективних альтернатив, так і для навчання молодих диспетчерів на базі знань, що містить накопичений досвід оперативного регулювання і дозволяє застосування статистично-ситуативних підходів до прийняття оперативних рішень.

З вищенаведеного очевидно, що задача практичного вдосконалення оперативного планування поїзної роботи, в т. ч. і використання

локомотивів і локомотивних бригад, потребує створення системи математичних моделей оцінки змінних властивостей поїздопотоку, одиниць локомотивного парку, формалізації технологій прийняття рішень диспетчерською зміною.

Модель задачі

про призначення локомотивів поїздам

Задача призначення поїздам локомотивів є однією з важливих задач оперативного планування роботи локомотивного парку. Побудова математичної моделі такої задачі ускладнюється необхідністю враховувати різноманітні економічні, організаційні, часові та інші чинники невизначеності. Проблему оптимального призначення m локомотивів для n поїздів наведено у вигляді двокритерійної задачі оптимального планування в умовах невизначеності. Цільові функції визначають з одного боку, економічну оцінку призначення i -го локомотива для j -го поїзда, з іншого боку, ефективність використання локомотива для поїзда (оцінку відповідності поїзда локомотиву).

Побудова математичної моделі. Розглядається така постановка задачі. На початок періоду планування маємо m локомотивів (виконавців) та n поїздів (завдань). Вартості призначення i -го локомотива j -му поїзду – нечіткі трикутні величини $\{\tilde{c}_{ij}\}_{m \times n}$.

Вартість призначення складається з витрат на доставку локомотива до місця призначення, якщо він знаходиться в іншому місці дислокації, витрат на обслуговування локомотивом відповідного поїзда та ін.

Оцінюючи ефективність призначень, будемо враховувати ряд чинників, що характеризують індивідуальні особливості виконавців: стан локомотива, відповідність локомотива поїзду та інші. Систему пріоритетів, що відповідає інтересам виконавців, оцінюють нечіткі трикутні величини $\{\tilde{d}_{ij}\}_{m \times n}$.

Функції належності величин $\{\tilde{c}_{ij}\}_{m \times n}$ та $\{\tilde{d}_{ij}\}_{m \times n}$ мають вигляд

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x - a_{ij}}{b_{ij} - a_{ij}}, & \text{якщо } a_{ij} \leq x \leq b_{ij}; \\ \frac{f_{ij} - x}{f_{ij} - b_{ij}}, & \text{якщо } b_{ij} < x \leq f_{ij}; \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases} \quad (1)$$

при $i = \overline{1, m}$ $j = \overline{1, n}$.

Розв'язком задачі є матриця

$$\{x_{ij}\}_{m \times n},$$

де

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-й локомотив} \\ & \text{призначений } j\text{-му поїзду;} \\ 0, & \text{в іншому разі.} \end{cases}$$

Задача оптимального планування роботи локомотивного парку на кожному етапі має такий вигляд:

$$\left(\begin{array}{l} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} x_{ij}; \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{d}_{ij} x_{ij}, \end{array} \right) \rightarrow \min \quad (2)$$

$$x_{ij} = 0 \vee 1 \quad \forall i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}; \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall j = \overline{1, n}; \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq 1 \quad \forall i = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Крім обмежень (3)–(5) на розв'язки задачі накладається обмеження щодо забезпечення своєчасних техоглядів одиниць локомотивного парку. Позначимо час, що залишився i -му локомотиву до технічного огляду, через τ_i , $i = \overline{1, m}$, а час, необхідний на обслуговування j -го поїзда, через t_j , $j = \overline{1, n}$ (сюди внесено і час на повернення до депо). До задачі (2)–(5) додається обмеження:

$$x_{ij} (t_j - \tau_i) \leq 0 \quad \forall i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Модель (2)–(6) є двокритерійною задачею нечіткого лінійного програмування (НЧЛП).

Задача НЧЛП може не мати розв'язків, якщо множина допустимих розв'язків порожня (обмеження задачі несумісні). В іншому разі, оптимальний розв'язок задачі НЧЛП може бути детермінованим або нечітким, тобто нечіткою підмножиною множини допустимих планів.

Задачі НЧЛП у загальному випадку не мають універсальних аналітичних методів знаходження детермінованого оптимального розв'язку або побудови функції належності нечіткого розв'язку, розв'язання задач НЧЛП зводиться до розв'язання ряду задач лінійного програмування (ЛП). Для цього вводяться дискретні α – рівні.

Якщо план x_0 є оптимальним розв'язком вихідної задачі на множині рівня α , то можна вважати, що число α є ступенем належності плану x_0 нечіткій множині розв'язків вихідної задачі. Вихідна задача НЧЛП наведена у вигляді сукупності звичайних задач ЛП, які розв'язуються для різних α – рівнів множини допустимих розв'язків. Перебравши таким чином різні значення α , отримаємо функцію належності нечіткого розв'язку [3].

Але окремі моделі задач НЧЛП можуть бути розв'язані аналітично. До таких моделей належить задача ЛП з нечіткими коефіцієнтами цільової функції (функції належності яких є кусково-лінійними) та чіткими обмеженнями:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} x_{ij} \rightarrow \min; \\ x_{ij} \in X \quad i = \overline{1, m} \quad j = \overline{1, n}; \\ x_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, m} \quad j = \overline{1, n}, \end{cases} \quad (7)$$

де $X \subset R^n$ – замкнений, опуклий многогранник. Якщо коефіцієнти цільової функції задачі (7) є нечіткими трикутними величинами, функції належності яких мають вигляд (1), то задача (7) має такі основні властивості:

1. Кількість різних детермінованих оптимальних розв'язків, якщо вона скінченна, не перевищує трьох майже для всіх наборів коефіцієнтів цільової функції. Під набором розуміються коефіцієнти, що відповідають рівним значенням функцій належності вхідних даних. Можливий випадок, коли такий детермінований оптимальний розв'язок є єдиним, і на нього не впливає нечіткість вхідних даних.

2. Всі детерміновані оптимальні розв'язки (якщо їх більше, ніж один) утворюють послідовність суміжних вершин множини допустимих розв'язків задачі. Для будь-якої пари суміжних вершин існує таке значення функцій належності вхідних даних, що при відповідних йому значеннях коефіцієнтів оптимальним розв'язком є весь відрізок, який з'єднує зазначені вершини.

3. Існує і притому тільки один α -зрів ($0 \leq \alpha < 1$), такий, що для всіх коефіцієнтів цільової функції, які мають значення функцій належності більші за α , задача має один детермінований оптимальний розв'язок.

У роботі отримано формулу для аналітичного обчислення значення зазначеного рівня α :

$$\alpha_{ab} = \frac{1}{1 + M_{ab}}, \quad (8)$$

де

$$M_{ab} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} (x_{ij}^a - x_{ij}^b)}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} (x_{ij}^b - x_{ij}^a)}, \quad (9)$$

де $(x_{ij}^a)_{m \times n}$ та $(x_{ij}^b)_{m \times n}$ – оптимальні детерміновані розв’язки задачі (7) за умов

$$(\tilde{c}_{ij})_{m \times n} = (a_{ij})_{m \times n} \quad \text{та} \quad (\tilde{c}_{ij})_{m \times n} = (b_{ij})_{m \times n}$$

відповідно.

Таким чином, якщо коефіцієнти \tilde{c}_{ij} цільової функції задачі (7) – нечіткі трикутні величини з функціями належності (1), то для розв’язання задачі (7) існує метод, що вимагає розв’язання лише трьох детермінованих задач про призначення. Зазначений метод дозволяє одержати залежність нечіткого оптимального розв’язку від значень функцій належності нечітких даних та побудувати нечітку функцію цілі.

Обмеження у задачах про призначення завжди детерміновані, недетермінованими можуть бути тільки коефіцієнти цільових функцій. Отже, до задачі про призначення у нечіткій постановці можна застосувати зазначений метод.

Для багатокритерійної задачі про призначення множину ефективних (оптимальних за Парето) розв’язків або її підмножину, можна виділити за допомогою лінійної згортки цільових функцій, тобто розв’язати задачу з цільовою функцією:

$$\gamma \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} x_{ij} + (1-\gamma) \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{d}_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (10)$$

та обмеженнями (3)–(6) для декількох значень $\gamma \in [0;1]$. Оптимальні нечіткі розв’язки отриманих задач (10), (3)–(6) є ефективними розв’язками задачі (2)–(6).

Отже, для розв’язання задачі (2)–(6) пропонується такий алгоритм:

1. Визначаємо крок

$$\Delta\gamma = \frac{1}{k}, \quad k \in N.$$

2. $\gamma = 0$.

3. Розв’язуємо задачу НЧЛП (10), (2)–(6) для поточного значення γ .

4. Збільшуємо γ на $\Delta\gamma$.

5. Якщо $\gamma > 1$, то переходимо на п. 6, інакше – переходимо на п. 3.

6. Серед оптимальних призначень, знайдених під час роботи алгоритму, відкидаємо такі, що повторюються, та залишаємо усі різні плани. Знайдені оптимальні плани надаємо людині, що приймає рішення (локомотивному диспетчеру), для подальшого вибору із них одного призначення.

Якщо надати локомотивному диспетчеру для остаточного вибору лише ефективні призначення, то планування буде здійснюватися простіше та економічно більш ефективно. Задача (2)–(6) у системі підтримки прийняття рішень розглядається як базова, що розв’язується на послідовних кроках керування локомотивним парком.

Висновки

У роботі запропоновано методи для створення удосконаленої автоматизованої системи для оптимального управління роботою локомотивного парку. Її відмінність полягає у застосуванні нечітких моделей для прогнозування характеристик поїздопотоків та для підв’язки локомотивів до поїздів.

Запропоновані моделі і методи можуть бути застосовані для підвищення ефективності роботи диспетчерського апарату.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України – ЦД0058, затверджена 31.08.2005 № 507.
2. Інструкція з оперативного планування поїзної і вантажної роботи на залізницях України – ЦД0052, затверджена 15.12.2004 № 969-ЦЗ.
3. Згуровский М. З. Интегрированные системы оптимального управления и проектирования. К.: Вища шк., 1990. – С. 151–186.
4. Алексеев О. Г. Комплексное применение методов дискретной оптимизации. М.: Наука, 1987. – 248 с.
5. Барсегян А. А. Методы и модели анализа данных: OLAP и DataMining / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.

Надійшла до редколегії 27.07.07.