

## ВСТАНОВЛЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ УСУНЕННЯ ОБМЕЖЕНЬ ШВИДКОСТІ, ЗУМОВЛЕНИХ СТАНОМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

Запропоновано методику щодо встановлення раціональної послідовності усунення обмежень швидкості руху поїздів.

Предложена методика для установления рациональной последовательности устранения ограничений скорости движения поездов.

The technique for establishment of rational sequence of elimination of restrictions on train traffic speed is offered.

### Постановка задачі

Колійне господарство є однією з найважливіших галузей матеріально-технічної бази залізничного транспорту, в якій зосереджено понад 50 % вартості усіх основних фондів залізниць. На ремонт та утримання технічних засобів колійного господарства приходить понад 20 % експлуатаційних витрат. Витрати матеріалів на модернізацію в колійному господарстві складають понад 50 % від відповідних витрат усіх господарств залізниць [1]. Таким чином, колійне господарство залізниць є найбільш капітало-, трудо- та матеріаломісткою галуззю залізничного транспорту. Підвищення ефективності та якості перевезень вантажів і пасажирів найбільшою мірою залежить від конструкції верхньої будови колії та її технічного стану.

Планомірне зростання та постійне вдосконалення технічного оснащення колії та споруд, їх технічне обслуговування забезпечують покращення експлуатаційних та економічних по-

казників і, як результат, підвищують ефективність та конкурентоспроможність процесу перевезень. В останні роки в колійному господарстві відбуваються зміни, які спрямовані на підвищення якості ремонтів колії і швидкості руху поїздів, забезпечення безпеки руху та зниження експлуатаційних витрат. Проблема обмеження швидкості руху поїздів безпосередньо пов'язана з цими питаннями. До того ж, в сучасних умовах обмеженого фінансування питання раціонального розподілення коштів набуває особливої гостроти. Так, на рис. 1 наведено діаграму, яка характеризує зміни кількості кілометрів колії, які потребували модернізації з 2002 по 2007 роки. З діаграми видно, що кількість прострочених кілометрів весь час перевищує кількість кілометрів, на яких виконано модернізацію. А тому питання раціонального розподілення коштів на виконання ремонтно-колійних робіт є актуальним.



Рис. 1. Динаміка зміни кількості кілометрів колії, які потребували модернізації по роках

### Методика дослідження

За даними Придніпровської залізниці було виконано ряд досліджень [2 – 4], використання результатів яких дозволяють визначати послідовність усунення обмежень швидкості руху поїздів при обмежених капітальних вкладеннях. Проведені дослідження показали, що, по-перше, найбільш раціональним є розподілення напрямків на перегони або на групи декількох перегонів, на кожному з яких діють обмеження та які розташовані послідовно. По-друге, необхідно мати достовірну вихідну інформацію про дослідні ділянки: довжина, розміри руху, маси поїздів, вантажонапруженість, характеристики

плану і профілю, значення тягово-енергетичних показників до виникнення обмежень швидкості, характеристики обмежень та ін. Тоді за методикою, викладеною у роботах [1 – 3], можна визначити зростання експлуатаційних витрат на ділянках обмеження швидкості та на наступному етапі встановити черговість усунення діючих обмежень.

На Придніпровській залізниці було виділено 27 дослідних ділянок з діючими обмеженнями швидкості, для яких, користуючись методикою [2 – 4], було визначено витрати, які зведено в табл. 1.

Таблиця 1

Показники, що характеризують ефективність зняття обмежень швидкості

| НОМЕР ДОСЛІДНОЇ ДІЛЯНКИ | $KV(E)$ , тис. грн | $Z_1(E)$ , тис. грн | $Z_2(E)$ , тис. грн |
|-------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| 1                       | 234                | 1109                | 8068                |
| 2                       | 880                | 3190                | 12339               |
| 3                       | 1036               | 6702                | 4507                |
| 4                       | 210                | 3607                | 6161                |
| 5                       | 234                | 5408                | 3081                |
| 6                       | 234                | 1423                | 701                 |
| 7                       | 5229               | 1423                | 17167               |
| 8                       | 5480               | 833                 | 5458                |
| 9                       | 219                | 995                 | 7228                |
| 10                      | 105                | 995                 | 910                 |
| 11                      | 219                | 995                 | 2241                |
| 12                      | 146                | 995                 | 744                 |
| 13                      | 110                | 995                 | 10420               |
| 14                      | 5334               | 3526                | 8286                |
| 15                      | 578                | 6734                | 11909               |
| 16                      | 2873               | 1352                | 2416                |
| 17                      | 2740               | 867                 | 4168                |
| 18                      | 1370               | 1646                | 21922               |
| 19                      | 1370               | 823                 | 5029                |
| 20                      | 1370               | 2359                | 25079               |
| 21                      | 11                 | 823                 | 1372                |
| 22                      | 11                 | 512                 | 968                 |
| 23                      | 6782               | 4115                | 3300                |
| 24                      | 5229               | 4392                | 1231                |
| 25                      | 840                | 4381                | 1985                |
| 26                      | 5229               | 5871                | 4435                |
| 27                      | 370                | 6379                | 10536               |

Для визначення найефективніших ділянок було вирішено задачу векторної оптимізації. Послідовність розв'язання такої задачі наведено у роботах [5 – 7].

Розглянемо множину дослідних ділянок  $E \in \mathfrak{A}(\Omega)$  (див. табл. 1), кожна з яких оцінюється за допомогою трьох показників: необхідних капітальних вкладень на усунення діючих обмежень ( $KV(E)$ ), економічної ефективності від зняття обмежень, яка складається з таких частин: скорочення поїздо-годин ( $Z_1(E)$ ), зниження витрат паливо-енергетичних ресурсів та зниження витрат на поточне утримання залізничної колії ( $Z_2(E)$ ). При виборі найкращого варіанту показники  $Z_1(E)$  і  $Z_2(E)$  бажано отримати якомога більшими, а  $KV(E)$  обмежується певним значенням  $KV_{\max}$ , тобто:

$$\begin{pmatrix} Z_1(E) \\ Z_2(E) \end{pmatrix} \rightarrow \max, \quad (1)$$

при цьому

$$KV \leq KV_{\max}. \quad (2)$$

Якщо на множині дослідних ділянок виконується умова

$$\begin{aligned} Z_1(E_i) &\leq Z_1(E_j); \\ Z_2(E_i) &\leq Z_2(E_j); \\ i &\neq j, \quad i = 1, 27, \end{aligned} \quad (3)$$

то тоді всі ділянки порівнянні між собою за Парето. Така умова, наприклад, виконується, якщо порівнювати показники дослідних ділянок № 4 та 15 або № 14 та 15 і т.д. (див. табл. 1).

Згідно з визначеннями [5 – 6], дві ділянки  $E_1$  та  $E_2 \in \mathfrak{A}(\Omega)$  називають непорівнянними, якщо серед множини (3) є хоча б одна строга протилежна нерівність. У табл. 1 така протилежна нерівність характерна, наприклад, для дослідних ділянок № 15 та № 18. Виходячи з умови (1), надамо оцінку множині  $E \in \mathfrak{A}(\Omega)$  за допомогою вектору  $Z(E)$ . Задача відбору за правилом (3) і є задачею векторної оптимізації [5 – 6]. Користуючись визначеннями [5 – 6], множину  $\varepsilon \in \mathfrak{A}(\Omega)$  назвемо рішенням задачі векторної оптимізації (3), якщо будь-які дві ділянки  $E_1$  та  $E_2$  з  $\varepsilon$  є непорівнянними.

На непорівнянні варіанти накладемо обмеження типу:

$$\forall E \in \varepsilon \rightarrow E \in D(\Omega) \subseteq \mathfrak{A}(\Omega) \quad (4)$$

де  $D(\Omega) = KV_{\max}$  – набір допустимих множин з  $\mathfrak{A}(\Omega)$ .

Обмеження, що накладено на дослідні варіанти, передбачає можливість встановлювати допустимі значення капітальних вкладень, з урахуванням яких визначаються непорівнянні варіанти.

Співвідношення (4) будемо розглядати як ще одне правило відбору, і тоді дана задача векторної оптимізації буде мати два критерії (правила відбору) – (3) та (4). У даному випадку задача векторної оптимізації є двокритеріальною.

Використання запропонованої моделі векторної оптимізації дозволяє відсіювати неефективні варіанти. На рис. 2 схематично показано, яким чином обираються варіанти. Наприклад, бажано отримати деяку максимальну економію за показниками  $Z_{1(\max)}$  і  $Z_{2(\max)}$ , з рис. 2 видно, що для цього необхідні певні максимальні капітальні вкладення  $KV_{\max}$ . Якщо ж замість необхідних максимальних вкладень  $KV_{\max}$  маємо обмежені  $KV_0$ , то при розподіленні їх ми отримаємо відповідну економію  $Z_{1(0)}$  та  $Z_{2(0)}$  і т.д.

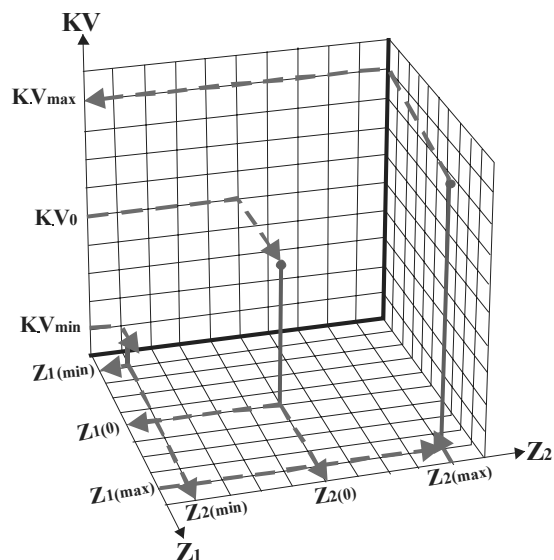


Рис. 2. Приклад вибору найкращого варіанту

### Аналіз отриманих результатів

Для розв'язання даної задачі векторної оптимізації було розроблено відповідне програмне забезпечення за допомогою пакету Maple, яке дозволяє обирати непорівнюванні варіанти взагалі та з урахуванням рівня обмеження капітальних вкладень. Детальна послідовність ро-

боти у програмі наведена на рис. 3. Спочатку вводяться вихідні дані: кількість ділянок з діючими обмеженнями швидкості, витрати на додаткові поїздо-години, паливо-енергетичні ресурси та поточне утримання колії і в останню чергу – капітальні вкладення для усунення обмежень швидкості по кожній з дослідних ділянок.

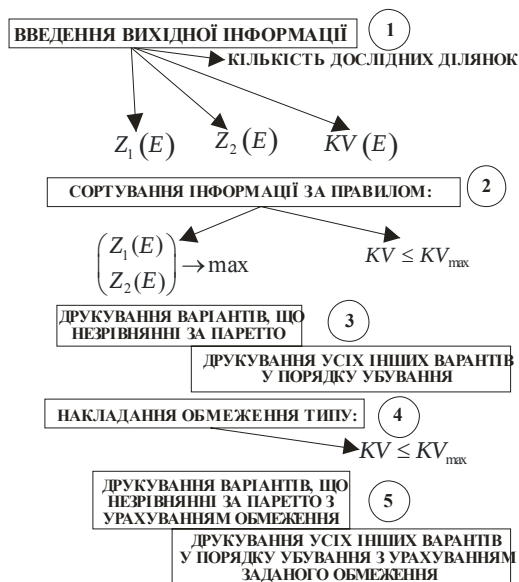


Рис. 3. Алгоритм встановлення раціональної послідовності усунення обмежень швидкості

При розв'язанні задачі капітальні вкладення на усунення обмежень швидкості вважалися обмеженими і перебір виконувався з урахуванням максимально допустимого значення  $KV_0$ . Наприклад, залізниця у поточному місяці може виділити усього 1,5 млн грн для виконання ремонтно-колійних робіт на ділянках з діючими обмеженнями швидкості. З урахуванням такого обмеження фінансових ресурсів пропонується два найефективніших варіанти.

$$1. Z_1, Z_2, KV$$

$$6734, 11909, 578$$

$$3190, 12339, 880$$

$$2. Z_1, Z_2, KV$$

$$2359, 25079, 1370$$

Перший з обраних варіантів передбачає усунення обмежень швидкості, які діють на дослідних ділянках № 15 і № 2. Другий варіант передбачає, у першу чергу, усунення обмежень на дослідній ділянці № 20. Так, у першому випадку при витратах 1,458 млн грн економія складе 34,172 млн грн за рік. А у другому випадку при капітальних витратах 1,370 млн грн економія 27,438 млн грн. Отже, більш ефективним є перший варіант. Таким чином, можна задавати будь-які обмеження за капітальними вкладеннями та отримувати інші варіанти ділянок з діючими попередженнями, на яких виконання ремонтно-колійних робіт необхідне у першу чергу.

## Висновок

Отримані результати спрощують задачу при розподіленні коштів залізниці на ремонтно-колійні роботи. При цьому досягається найбільш раціональне розподілення фінансових ресурсів при усуненні обмежень швидкості руху на ділянках з погіршеним станом залізничної колії.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Экономика железнодорожного транспорта [Текст]: учебник для студентов вузов / под ред. Б. М. Липидуса, Н. П. Терешинной, М. Ф. Трихункова. – М.: УМК МПС России, 2001. – 600 с.
2. Курган, М. Б. Економічна ефективність від усунення обмежень швидкості руху поїздів, що зумовлені простроченням ремонтів [Текст] / М. Б. Курган, О. С. Маркова // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007 – Вип. 19. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 84-87.
3. Чернишова, О. С. Зниження експлуатаційних витрат при відміні попереджень з обмеження швидкості руху поїздів [Текст] / О. С. Чернишова // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 20. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 78-81.
4. Курган, М. Б. Вплив пропущеного тоннажу та плану лінії на витрати при поточному утриманні колії [Текст] / М. Б. Курган, О. С. Чернишова // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 24. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 88-90.
5. Босов, А. А. Підвищення ефективності роботи транспортної системи на основі структурного аналізу [Текст]: монографія / А. А. Босов, Н. А. Мухіна, Б. П. Піх. – Д., 2005. – 200 с.
6. Босов, А. А. Функции множества и их применение [Текст]: учеб. пособие / А. А. Босов. – Днепропетр. Изд. дом «Андрей», 2007. – 182 с.
7. Волгин, Л. Н. Принцип согласованного оптимума [Текст] / Л. Н. Волгин. – М.: Сов. радио, 1977. – 144 с.

Надійшла до редколегії 25.12.2008.