

УДК 656.212.5

*Д-р техн. наук, професор О.М. Огар,  
асист. Л.А. Страна,  
Л.В. Бригіна*

## **РОЗРОБКА ПРОЦЕДУРИ РОЗРАХУНКУ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЗДОВЖНЬОГО ПРОФІЛЮ СПУСКНОЇ ЧАСТИНИ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК**

**Вступ.** На ефективність експлуатації сортувальних гірок впливають такі фактори, як якість їх конструкції і управління процесами у сортувальному комплексі, технічний стан колійного розвитку, гіркових локомотивів і гальмових засобів, надійність функціонування пристроїв гіркової автоматики, технологія сортувального процесу, що застосовується. Основними напрямками підвищення вказаної ефективності перш за все є оновлення гіркової техніки, впровадження ресурсозберігаючих технологій і конструкцій, систем підтримки прийняття рішень, програм-тренажерів для підвищення професійного рівня гіркових операторів.

**Актуальність.** Обрис поздовжнього профілю є однією з основних характеристик конструкції сортувального пристрою. Традиційний тип поздовжнього профілю (зі швидким переходом від крутого першого елемента до пологого елемента на стрілочній зоні) в першу чергу орієнтований на отримання високих

середніх швидкостей з метою мінімізації тривалості розпуску составів. В сучасних умовах поряд із задачею зменшення тривалості розформування составів актуальною є задача підвищення заощадження паливно-енергетичних і виробничих ресурсів. Відомо, що конструкція поздовжнього профілю здійснює суттєвий вплив на витрати вказаних ресурсів і залежить від багатьох випадкових параметрів. Таким чином, визначення раціональних конструктивних параметрів профілю гірок являє собою складну оптимізаційну задачу, яку слід кваліфікувати як задачу стохастичного програмування. Для розв'язання задач стохастичного програмування використовуються різні методи. Обґрунтування найбільш ефективного методу є окремою науково-прикладною задачею.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Дослідження конструкцій поздовжнього профілю, що проводилися у минулому сторіччі, в основному були спрямовані на підвищення переробної спроможності

сортувальних пристроїв. При цьому не враховувався ступінь використання паливно-енергетичних і виробничих ресурсів.

Серед останніх праць в галузі удосконалювання конструктивних параметрів поздовжнього профілю найбільш відомими є праці М.В. Правдіна і С.А. Бессоненка [1–5]. Запропонований ними комплексний розрахунок параметрів сортувальних гірок базується на використанні імовірнісних показників. Як критерій оптимізації обрано мінімум тривалості розформування составів. Розраховані за даним критерієм параметри не завжди можуть сприяти збереженню паливно-енергетичних і виробничих ресурсів. Нові підходи до розв'язання задачі оптимізації поздовжнього профілю спускної частини подано також в [6, 7, 8].

Недоліком вказаних підходів є відсутність врахування випадкового характеру окремих вихідних даних.

**Формулювання мети (постановка завдання).** Метою даних досліджень є підвищення ступеня обґрунтованості параметрів поздовжнього профілю сортувальних гірок шляхом вибору найбільш ефективного методу розв'язання задачі оптимізації вказаних параметрів.

**Формування процедури розрахунку раціональних конструктивних параметрів поздовжнього профілю спускної частини.** Задача розрахунку раціональних конструктивних параметрів поздовжнього профілю спускної частини по сортувальній колії  $z$  у стохастичній постановці має такий аналітичний вигляд

$$\begin{aligned}
 H_{\Gamma_z} &= (I_{1_z} \cdot l_{1_z} + I_{2_z} \cdot l_{2_z} + I_{4_z} \cdot l_{4_z} + I_{5_z} \cdot l_{5_z}) \cdot 10^{-3} + C_z \rightarrow \min, & (1) \\
 &\left\{ \begin{aligned}
 &I_{1_z} \leq 50, I_{2_z} \geq 7, 23 \leq I_{1_z} - I_{2_z} \leq 25; I_{4_z} \geq 7, 7 \leq I_{5_z} \leq 26,5; \\
 &P(h_{\omega_z}^{*PB}(I, V\theta(t), \beta(t)) \leq H_{\Gamma_z} + h_o^{PB}) \geq 0,95; \\
 &P(\delta_{PB-XB_z}^{*СТР.1}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a, P(\delta_{XB-PB_z}^{*СТР.1}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a; \\
 &P(\delta_{PB-XB_z}^{*СТР.2}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a, P(\delta_{XB-PB_z}^{*СТР.2}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a; \\
 &\dots\dots\dots \\
 &P(\delta_{PB-XB_z}^{*СТР.n}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a, P(\delta_{XB-PB_z}^{*СТР.n}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a; \\
 &P(\delta_{PB-XB_z}^{*ВП.1}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a, P(\delta_{XB-PB_z}^{*ВП.1}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a; \\
 &P(\delta_{PB-XB_z}^{*ВП.2}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a, P(\delta_{XB-PB_z}^{*ВП.2}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a; \\
 &\dots\dots\dots \\
 &P(\delta_{PB-XB_z}^{*ВП.k}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a, P(\delta_{XB-PB_z}^{*ВП.k}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a; \\
 &F(V\theta) = \frac{1}{\sigma(V\theta) \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{V\theta} \exp\left(\frac{-(V\theta - M(V\theta))^2}{2 \cdot (\sigma(V\theta))^2}\right) dV\theta; \\
 &F(\beta) = \frac{1}{\sigma(\beta) \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\beta} \exp\left(\frac{-(\beta - M(\beta))^2}{2 \cdot (\sigma(\beta))^2}\right) d\beta, & (2)
 \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

де  $C_z = (7 \cdot l_{3z} + 1,5 \cdot l_{6z} + 0,6 \cdot l_{7z}) \cdot 10^{-3}$ ;

$I_{1z}, l_{1z}, \dots, I_{7z}, l_{7z}$  – відповідно крутизна, ‰, і довжина, м, 1-го, ..., 7-го елементів поздовжнього профілю;

$h_{\omega_z}^{*PB}(I, V\theta(t), \beta(t))$  – випадкове значення витраченої енергетичної висоти розрахункового бігуна (РБ) на подолання всіх видів опору при скочуванні від вершини гірки (ВГ) до розрахункової точки (РТ) сортувальної колії  $z$ , кДж/кН;

$I = (I_{1z}, \dots, I_{7z})$ ;

$V\theta(t), \beta(t)$  – випадкова динаміка зміни відповідно швидкості, м/с, і напрямку, °, вітру при скочуванні РБ і хорошого бігуна (ХБ) з гірки. На підставі виконаних досліджень зроблено припущення про розподіл вказаних випадкових величин за нормальним законом;

$h_o^{*PB}$  – початкова енергетична висота РБ на ВГ, кДж/кН;

$\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.1}(I, V\theta(t), \beta(t)), \delta_{PB-XB_z}^{*CTP.2}(I, V\theta(t), \beta(t)), \dots, \delta_{PB-XB_z}^{*CTP.n}(I, V\theta(t), \beta(t)), \delta_{XB-PB_z}^{*CTP.1}(I, V\theta(t), \beta(t)),$

$\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.1}(I, V\theta(t), \beta(t)), \delta_{XB-PB_z}^{*CTP.2}(I, V\theta(t), \beta(t)), \dots, \delta_{XB-PB_z}^{*CTP.n}(I, V\theta(t), \beta(t)), \delta_{PB-XB_z}^{*VPI.1}(I, V\theta(t), \beta(t)),$

$\delta_{PB-XB_z}^{*VPI.2}(I, V\theta(t), \beta(t)), \dots, \delta_{PB-XB_z}^{*VPI.k}(I, V\theta(t), \beta(t)), \delta_{XB-PB_z}^{*VPI.1}(I, V\theta(t), \beta(t)),$

$\delta_{XB-PB_z}^{*VPI.2}(I, V\theta(t), \beta(t)), \dots,$

$\delta_{XB-PB_z}^{*VPI.k}(I, V\theta(t), \beta(t))$  – випадкове значення інтервалу відповідно на 1-му, 2-му, ...,  $n$ -му стрілочному переводі і 1-му, 2-му, ...,  $k$ -му вагонному уповільнювачі при скочуванні розрахункових бігунів на колію  $z$  і суміжну з нею колію у розрахункових сполученнях РБ-ХБ і ХБ-РБ, с;

$a$  – задана імовірність виконання умови інтервального регулювання;

$M(V\theta), M(\beta), \sigma(V\theta), \sigma(\beta)$  – математичні очікування та середні квадратичні відхилення відповідно швидкості, м/с, та напрямку, °, вітру.

Для розробки процедури визначення раціональних параметрів поздовжнього профілю спускної частини необхідно вихідну імовірнісну задачу перетворити в еквівалентну детерміновану. Такий підхід є основним при розв'язанні задач стохастичного програмування [9].

Дослідження розподілу ймовірностей випадкових величин, які містяться в обмеженнях-нерівностях, показали, що вказані величини підкоряються нормальному закону. У зв'язку з цим еквівалентна детермінована задача набуває такого вигляду при  $a=0,95$ :

$$H_{\Gamma_z} = (I_{1z} \cdot l_{1z} + I_{2z} \cdot l_{2z} + I_{4z} \cdot l_{4z} + I_{5z} \cdot l_{5z}) \cdot 10^{-3} + C_z \rightarrow \min, \quad (3)$$

при обмеженнях-нерівностях

$$\left\{ \begin{array}{l}
 I_{1_z} \leq 50, I_{2_z} \geq 7, 23 \leq I_{1_z} - I_{2_z} \leq 25; \\
 I_{4_z} \geq 7, 7 \leq I_{5_z} \leq 26,5; \\
 M(h_{\omega_z}^{*PB}(I)) + 1,645 \cdot \sqrt{D(h_{\omega_z}^{*PB}(I))} \leq H_{\Gamma_z} + h_o^{PB}; \\
 M(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.1}(I)) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.1}(I))} \geq 1, M(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.1}(I)) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.1}(I))} \geq 1; \\
 M(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.2}(I)) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.2}(I))} \geq 1, M(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.2}(I)) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.2}(I))} \geq 1; \\
 \dots \\
 M(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.n}(I)) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.n}(I))} \geq 1, M(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.n}(I)) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.n}(I))} \geq 1; \\
 M(\delta_{PB-XB_z}^{*VPI.1}(I)) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB_z}^{*VPI.1}(I))} \geq 1, M(\delta_{XB-PB_z}^{*VPI.1}(I)) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB_z}^{*VPI.1}(I))} \geq 1; \\
 M(\delta_{PB-XB_z}^{*VPI.2}(I)) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB_z}^{*VPI.2}(I))} \geq 1, M(\delta_{XB-PB_z}^{*VPI.2}(I)) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB_z}^{*VPI.2}(I))} \geq 1; \\
 \dots \\
 M(\delta_{PB-XB_z}^{*VPI.k}(I)) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB_z}^{*VPI.k}(I))} \geq 1, M(\delta_{XB-PB_z}^{*VPI.k}(I)) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB_z}^{*VPI.k}(I))} \geq 1.
 \end{array} \right.$$

В результаті перетворення вихідну задачу зведено до еквівалентної детермінованої задачі нелінійного програмування з обмеженнями. При виборі методу розв'язання даної задачі слід звернути увагу на те, що в обмеженнях-нерівностях такі параметри, як  $h_{\omega_z}^{*PB}(I)$ ,  $\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.1}(I)$ ,  $\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.2}(I)$ , ...,  $\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.n}(I)$ ,  $\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.1}(I)$ ,  $\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.2}(I)$ , ...,  $\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.n}(I)$ ,  $\delta_{PB-XB_z}^{*VPI.1}(I)$ ,  $\delta_{PB-XB_z}^{*VPI.2}(I)$ , ...,  $\delta_{PB-XB_z}^{*VPI.k}(I)$ ,  $\delta_{XB-PB_z}^{*VPI.1}(I)$ ,  $\delta_{XB-PB_z}^{*VPI.2}(I)$ , ...,  $\delta_{XB-PB_z}^{*VPI.k}(I)$ , залежать від крутості схилу поздовжнього профілю ( $I$ ) не в явному вигляді, що робить неможливим визначення похідних. Відомими методами розв'язання нелінійних задач з обмеженнями, які не потребують визначення похідних, є методи штрафних і бар'єрних функцій [10, 11].

Слід відзначити, що застосування вказаних методів зводить задачу мінімізації цільової функції до розв'язання

послідовності задач на безумовний екстремум, що в багатьох випадках значно спрощує процедуру знаходження оптимуму [10].

Оскільки обмеження у математичній моделі мають вигляд нестрогих нерівностей, то метод бар'єрних функцій не може бути використаним для розв'язання задачі, що розглядається. Крім того, недоліком даного методу є ускладнення пошуку екстремуму функції, якщо він досягається на межі допустимої області [10].

На відміну від методу бар'єрних функцій метод штрафних функцій:

1) застосовується у випадках, коли обмеження-нерівності є нестрогими;

2) дозволяє знайти оптимум цільової функції, що розташований в межах або на межі допустимої області [10].

На даний момент однією з найбільш вивчених штрафних функцій є функція

$$\Theta(x) = \sum_{i=1}^m 0,25 \cdot (\varphi_i(x) + |\varphi_i(x)|)^2,$$

де  $\varphi_i(x)$  – обмеження нерівності  
оптимізаційної задачі,  $\varphi_i(x) \leq 0$  ( $i = \overline{1, m}$ ).

Побудуємо штрафну функцію для  
розв'язання задачі визначення  
раціональних параметрів поздовжнього  
профілю спускної частини

$$\Theta(I) = 0,25 \cdot \left[ \begin{aligned} & \left( I_{1_z} - 50 + |I_{1_z} - 50| \right)^2 + \left( 7 - I_{2_z} + |7 - I_{2_z}| \right)^2 + \\ & + \left( I_{1_z} - I_{2_z} - 25 + |I_{1_z} - I_{2_z} - 25| \right)^2 + \left( 23 - I_{1_z} + I_{2_z} + |23 - I_{1_z} + I_{2_z}| \right)^2 + \\ & + \left( 7 - I_{4_z} + |7 - I_{4_z}| \right)^2 + \left( 7 - I_{5_z} + |7 - I_{5_z}| \right)^2 + \left( I_{5_z} - 26,5 + |I_{5_z} - 26,5| \right)^2 + \\ & + \left( M(h_{\omega_z}^{*PB}(I)) + 1,645 \cdot \sqrt{D(h_{\omega_z}^{*PB}(I))} - H_{\Gamma_z} - h_o^{PB} + \right. \\ & \left. + \left| M(h_{\omega_z}^{*PB}(I)) + 1,645 \cdot \sqrt{D(h_{\omega_z}^{*PB}(I))} - H_{\Gamma_z} - h_o^{PB} \right| \right)^2 + \\ & + \left( 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.1}(I))} - M(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.1}(I)) + \left| 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.1}(I))} - M(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.1}(I)) \right| \right)^2 + \\ & + \left( 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.1}(I))} - M(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.1}(I)) + \left| 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.1}(I))} - M(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.1}(I)) \right| \right)^2 + \\ & + \left( 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.2}(I))} - M(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.2}(I)) + \left| 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.2}(I))} - M(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.2}(I)) \right| \right)^2 + \\ & + \left( 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.2}(I))} - M(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.2}(I)) + \left| 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.2}(I))} - M(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.2}(I)) \right| \right)^2 + \dots + \\ & + \left( 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.n}(I))} - M(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.n}(I)) + \left| 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.n}(I))} - M(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.n}(I)) \right| \right)^2 + \\ & + \left( 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.n}(I))} - M(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.n}(I)) + \left| 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.n}(I))} - M(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.n}(I)) \right| \right)^2 + \\ & + \left( 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB_z}^{*VIP.1}(I))} - M(\delta_{PB-XB_z}^{*VIP.1}(I)) + \left| 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB_z}^{*VIP.1}(I))} - M(\delta_{PB-XB_z}^{*VIP.1}(I)) \right| \right)^2 + \\ & + \left( 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB_z}^{*VIP.1}(I))} - M(\delta_{XB-PB_z}^{*VIP.1}(I)) + \left| 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB_z}^{*VIP.1}(I))} - M(\delta_{XB-PB_z}^{*VIP.1}(I)) \right| \right)^2 + \\ & + \left( 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB_z}^{*VIP.2}(I))} - M(\delta_{PB-XB_z}^{*VIP.2}(I)) + \left| 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB_z}^{*VIP.2}(I))} - M(\delta_{PB-XB_z}^{*VIP.2}(I)) \right| \right)^2 + \\ & + \left( 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB_z}^{*VIP.2}(I))} - M(\delta_{XB-PB_z}^{*VIP.2}(I)) + \left| 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB_z}^{*VIP.2}(I))} - M(\delta_{XB-PB_z}^{*VIP.2}(I)) \right| \right)^2 + \dots + \\ & + \left( 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB_z}^{*VIP.k}(I))} - M(\delta_{PB-XB_z}^{*VIP.k}(I)) + \left| 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB_z}^{*VIP.k}(I))} - M(\delta_{PB-XB_z}^{*VIP.k}(I)) \right| \right)^2 + \\ & + \left( 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB_z}^{*VIP.k}(I))} - M(\delta_{XB-PB_z}^{*VIP.k}(I)) + \left| 1 + 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB_z}^{*VIP.k}(I))} - M(\delta_{XB-PB_z}^{*VIP.k}(I)) \right| \right)^2 \end{aligned} \right]$$

Зведемо задачу, що розглядається, до задачі мінімізації спеціальної функції, яка є сумою цільової (2.3) і штрафної функцій,

$$\begin{aligned} T(I, t) &= H_{\Gamma_z} + t \cdot \Theta(I) = \\ &= \left( I_{1_z} \cdot l_{1_z} + I_{2_z} \cdot l_{2_z} + I_{4_z} \cdot l_{4_z} + I_{5_z} \cdot l_{5_z} \right) \cdot 10^{-3} + C_z + t \cdot \Theta(I) \rightarrow \min, \end{aligned}$$

де  $t$  – коефіцієнт штрафу.

## Організація перевезень і управління на транспорті

Процедуру пошуку раціональних параметрів поздовжнього профілю спускної частини за методом штрафних функцій наведено на рисунку.

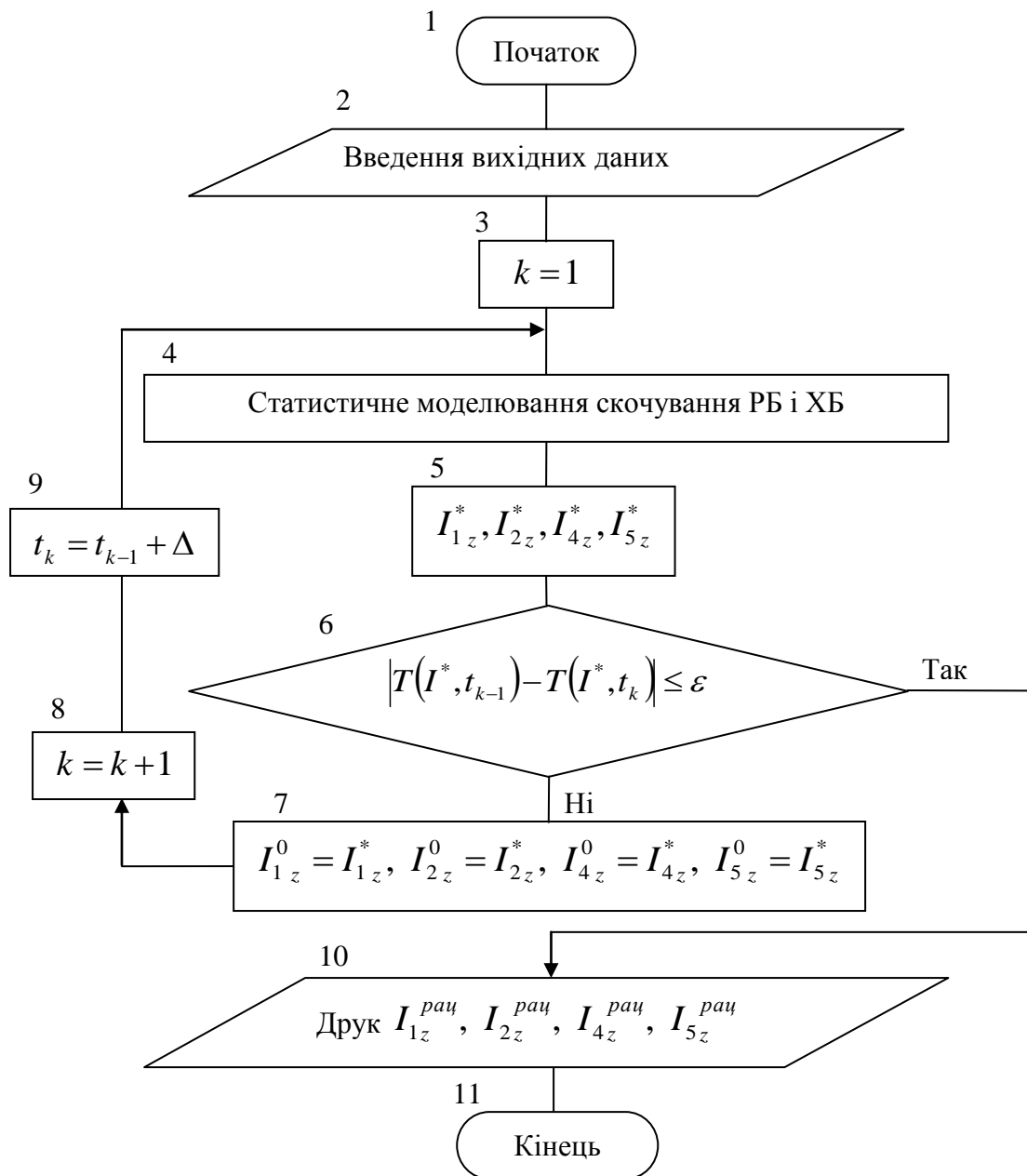


Рис. Узагальнена процедура раціоналізації конструкції поздовжнього профілю спускної частини

Вихідними даними до оптимізаційного пошуку (блок 2) є: координати характерних точок гіркової горловини; координати точок перелому поздовжнього профілю; параметри стрілочних переводів і кривих дільниць

колій; типи і технічні характеристики вагонних уповільнювачів; параметри розрахункових бігунів (тип, число осей, довжина, модель, осьова модель, вага, основний питомий опір); початкова швидкість розпуску; довжина дільниці колії

від початку стрілочної зони до розрахункової точки; математичні очікування та дисперсії швидкості та напрямку вітру; розрахункова температура зовнішнього повітря; максимально допустима швидкість виходу ХБ з паркової гальмової позиції; радіуси вертикальних кривих; додатковий питомий опір руху розрахункових бігунів від снігу та інею; початкове наближення до мінімуму цільової функції  $(I_{1z}^0, I_{2z}^0, I_{4z}^0, I_{5z}^0)$ ; коефіцієнт штрафу на першому етапі оптимізаційного пошуку  $(t_1)$ ; міра збільшення значення коефіцієнта штрафу на наступному етапі пошуку відносно попереднього етапу  $(\Delta)$ ; деяке початкове значення цільової функції, яке на порядок вище ймовірних її значень  $T(I^*, t_0)$ ; точність розв'язання оптимізаційної задачі  $(\varepsilon)$ .

У блоці 3 номеру етапу пошуку  $(k)$  присвоюється 1.

У блоці 4 здійснюється статистичне моделювання скочування розрахункових бігунів у розрахункових сполученнях при випадкових характеристиках швидкості і напрямку вітру. На підставі вказаного моделювання визначаються математичні очікування та дисперсії  $h_{\omega_z}^{*PB}(I)$  і резервів інтервалів на розділових елементах сортувальної гірки.

У блоці 5 знаходиться точка  $I^* = (I_{1z}^*, I_{2z}^*, I_{4z}^*, I_{5z}^*)$ , в якій досягається мінімум спеціальної функції  $T(I, t)$ .

Далі порівнюються мінімуми спеціальної функції, що отримані на  $(k-1)$ -му і  $k$ -му етапах оптимізації (блок 6). Якщо умова пошуку виконується, то виводяться на друк раціональні параметри поздовжнього профілю спускної частини (блок 10). Інакше здійснюється перехід на блок 7, де отримані раціональні параметри на  $k$ -му етапі оптимізації стають

початковим наближенням для  $(k+1)$ -го етапу.

Блок 8 передбачає визначення номера наступного етапу оптимізації, а блок 9 – розрахунок нового значення коефіцієнта штрафу. Далі здійснюється перехід на блок 4 і повторюється процедура оптимізації при нових початковому наближенні і коефіцієнті штрафу.

Враховуючи неможливість визначення похідних спеціальної функції  $T(I, t)$ , її мінімізацію на  $k$ -му етапі (блок 5) слід здійснювати із використанням прямих методів безумовної оптимізації. Відомими методами нульового порядку є методи прямого пошуку (метод Хука-Дживса), багатогранника, що деформується (метод Нелдера-Мида), координат, що обертаються (метод Розенброка), паралельних дотичних (метод Пауелла) та випадкового пошуку.

Метод прямого пошуку є простим у програмуванні, не вимагає знання цільової функції у явному вигляді, легко враховує обмеження на окремі змінні і складні обмеження на область пошуку. Але при наявності витягнутих, вигнутих або з гострими кутами ліній рівня цільової функції даний метод не завжди зможе забезпечити просування до точки мінімуму [12].

Методи випадкового пошуку не завжди є ефективними, але на практиці в ряді випадків виявляються корисними [11].

Методи багатогранника, що деформується, координат, що обертаються, та паралельних дотичних містять високоефективні алгоритми пошуку мінімуму цільової функції і в рівній мірі можуть бути використаними для розв'язання даної оптимізаційної задачі. Це підтверджується відповідними дослідженнями на сучасних ЕОМ, які показали, що пошук оптимуму спеціальної функції  $T(I, t)$  за кожним із вказаних методів сходиться в одну точку і майже за однаковий час.

**Висновки.** Обґрунтування застосування методу штрафних функцій для розв'язання еквівалентної детермінованої задачі нелінійного програмування з обмеженнями, що перетворена із вихідної

задачі раціоналізації конструкції поздовжнього профілю спускної частини, дозволить суттєво спростити процедуру знаходження раціональних параметрів і підвищити ступінь їх обґрунтованості.

### Список літератури

1. Правдин, Н.В. Расчет параметров сортировочной горки с учетом случайных ходовых свойств отцепов [Текст] / Н.В. Правдин, С.А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2007. – № 7. – С. 8-15.
2. Правдин, Н.В. Определение уклонов скоростных участков и тормозных позиций на спускной части сортировочной горки [Текст] / Н.В. Правдин, С.А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2008. – № 9. – С. 6-10.
3. Бессоненко, С.А. Оптимизация параметров сортировочной горки по времени расформирования составов [Текст] / С.А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2007. – № 9. – С. 30-34.
4. Бессоненко, С.А. Комплексный расчет уклонов продольного профиля спускной части и высоты сортировочной горки по вероятностным показателям [Текст] / С.А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2006. – № 7. – С. 12–19.
5. Бессоненко, С.А. Оптимизация основных параметров сортировочной горки [Текст] / С.А. Бессоненко // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: сб. науч. ст. / под общ. ред. С.А. Бессоненко, А.В. Дмитренко. – Новосибирск, 2008. – С. 4–25.
6. Огарь, А.Н. Повышение ресурсосбережения и эффективности функционирования сортировочных горок при оптимизации продольного профиля [Текст]: дисс... канд. техн. наук: 05.22.20 / А.Н. Огарь. – Харьков, 2002. – 191 с.
7. Математична модель для визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок [Текст] / І.В. Берестов, О.М. Огар, О.Б. Ахієзер, М.Ю. Куценко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2009. – №1/6(37). – С. 4-8.
8. До питання розробки методики комплексного розрахунку оптимальних конструктивних параметрів сортувальних гірок [Текст] / І.В. Берестов, О.М. Огар, О.Б. Ахієзер, М.Ю. Куценко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2009. – № 2/3(38). – С. 56-60.
9. Таха, Х. Введение в исследование операций [Текст]: в 2-х кн. / Х. Таха. – М. : Мир, 1985. – Кн. 1. – 479 с. – Кн. 2. – 496 с.
10. Кузнецов, А. В. Высшая математика: математическое программирование [Текст] / А. В. Кузнецов, В. А. Сакович, Н. И. Холод. – Минск : Высшая школа, 1994. – 286 с.
11. Химмельблау, Д. Прикладное нелинейное программирование [Текст] / Д. Химмельблау. – М. : Мир, 1975. – 534 с.
12. Трифонов, А. Г. Постановка задачи оптимизации и численные методы ее решения [Электронный ресурс] / А. Г. Трифонов. – Режим доступа : \www/ URL : [http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book\\_2/index.php](http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book_2/index.php) – Загл. с экрана.

**Ключові слова:** сортувальна гірка, конструктивні параметри, поздовжній профіль



### *Анотації*

Наведено математичну модель розрахунку раціональних параметрів поздовжнього профілю спускної частини сортувальних гірок у стохастичній постановці. Сформовано процедуру розрахунку вказаних параметрів.

Приведена математическая модель расчета рациональных параметров продольного профиля спускной части сортировочных горок в стохастической постановке. Сформирована процедура расчета указанных параметров.

The mathematical model of calculation of sorting humps drain part straight profile rational parameters in the stochastic raising is resulted. Procedure of calculation of the indicated parameters is formed.