

УДК 656.212.5

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ КОНСТРУКТИВНО – ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК

І. В. Берестов

Кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри*

О. М. ОгарКандидат технічних наук, доцент*
Контактний телефон: 8-097-323-21-70**О. Б. Ахієзер**Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра «Комп'ютерна математика та математичне
моделювання»
Національний технічний університет „Харківський політехнічний
інститут”**М. Ю. Куценко**Аспірант*
Контактний телефон: 392-41-73, 8-068-953-37-86
*Кафедра «Залізничні станції та вузли»
Українська державна академія залізничного транспорту
м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7

Розглядаються питання побудови математичної моделі для визначення оптимальних конструктивно – технологічних параметрів сортувальних гірок. Розроблена модель дозволяє реалізувати комплексний підхід при визначенні висоти та подовжнього профілю сортувальних гірок з отриманням оптимальної потрібної потужності гальмових позицій

1. Вступ

Загальновідома кон'юнктура вітчизняної економіки, яка в повній мірі зазнала негативного впливу світової економічної кризи, визначає певні пріоритети, основним лейтмотивом яких є оптимізація витрат в усіх галузях промисловості України. Саме цим і пояснюється підвищений інтерес з боку керівництва Укрзалізниці до зниження собівартості вантажних перевезень, який обґрунтований значним зменшенням їх обсягів [1].

2. Постановка проблеми

Однією зі складових, що доволі суттєво впливає на загальну собівартість перевезення, є собівартість переробки вагону на сортувальному пристрої. Як відомо, на шляху прямування від пункту відправлення до пункту призначення таких переробок вагони можуть зазнавати декілька разів. Згідно з [2], на собівартість переробки вагону впливає багато чинників, серед яких особливо варто відзначити витрати на амортизацію, запасні частини та технічне обслуговування пристроїв

регулювання швидкості відчепів, які прямо пропорційні їх вартості (на сьогодні вартість вітчизняного уповільнювача НК-114 складає 900 тис. грн. [3]) та витрати на електроенергію для регулювання швидкості руху відчепів, вартість якої для промисловості суттєво підвищилася. Отже, проблема, яка вже неодноразово висвітлювалася у роботах [4-6] щодо невідповідності енерговитрат, якими супроводжується сортувальний процес до розмірів переробки вагонів сортувальними пристроями, набуває особливої актуальності.

3. Основна частина

Згідно з [2], число та потужність гальмових позицій сортувального пристрою визначаються вимогами встановлених технологічних режимів роботи (які, насамперед, характеризуються розрахунковою швидкістю розпуску), умовами безпеки гіркових маневрів, вимогами надійності та живучості технологічної системи регулювання швидкості вагонів що проектується (з урахуванням наступної автоматизації сортувального пристрою) та залежать від висоти гірки, числа пучків та колій у пучку, структури вагонопотоків що перероблюються і т. ін.

Сумарна потрібна потужність гіркових гальмових засобів, кДж/кН, по маршруту скочування вагону (з числа ДХ) від вершини гірки до першої розділової стрілки пучка

$$N_{\text{тєч}} = k_{\text{зб}}(H_r + h_0 - h_{\omega}^{\text{ДХ}} - h_{\text{пр}}), \quad (1)$$

де H_r – висота сортувального пристрою, м;
 h_0 – питома енергія вагону, що відповідає прийнятій швидкості розпуску складу V_0 та розраховується для ДХ, кДж/кН;

$$h_0 = V_0^2 / 2 \cdot g', \quad (2)$$

$h_{\omega}^{\text{ДХ}}$ – питома енергія, що втрачається ДХ при русі (у сприятливих для скочування вагону умовах) на дільниці від вершини гірки до кінця останнього уповільнювача пучкової гальмової позиції, кДж/кН;

$$h_{\omega}^{\text{ДХ}} = 10^{-3} [(\omega_0^{\text{ДХ}} \pm \omega_{\text{св}}^{\text{ДХ}})l + V_{\text{ПГП}}^2 (0,56 \cdot n_{\text{ПГП}} + 0,23 \cdot \sum \alpha_{\text{ПГП}})], \quad (3)$$

$\omega_0^{\text{ДХ}}$ – основний питомий опір бігуна ДХ (приймається 0,5 Н/кН);

$\omega_{\text{св}}^{\text{ДХ}}$ – питомий опір від повітряного середовища та вітру руху чотиривісного вагона вагою 981 кН при попутному розрахунковому вітрі: визначається при V , що дорівнює середній величині двох перших значень швидкості у стовпці, який відповідає потужності гірки, збільшеної на 0,8 (табл. 5.2 [7]), кДж/кН. Згідно з [8], при сприятливих для скочування вагону умовах, даною величиною можна знехтувати;

l – відстань від вершини гірки до кінця П ГП, м;
 $V_{\text{ПГП}}$ – середнє значення швидкості руху ДХ на вказаній дільниці, м/с;

$n_{\text{ПГП}}, \sum \alpha_{\text{ПГП}}$ – відповідно число стрілочних переводів та сума кутів повороту на маршруті прямування вагону на легку за опором скочування колію від вершини гірки до кінця П ГП;

$h_{\text{пр}}$ – профільна висота дільниці від кінця останнього уповільнювача пучкової гальмової позиції до розрахункової точки, м;

$$h_{\text{пр}} = 10^{-3} (i_{\text{стр}} l_{\text{стр}} + i_{\text{сн}} \Delta l_{\text{сн}}), \quad (4)$$

$i_{\text{стр}}$ – крутизна уклону стрілочної зони, %;

$l_{\text{стр}}$ – відстань від кінця П ГП до граничного стовпчика стрілочного переводу, що веде на легку за опором скочування колію, м;

$i_{\text{сн}}$ – середня крутизна уклону початкової частини колій сортувального парку до розрахункової точки за проектом, %;

$\Delta l_{\text{сн}}$ – відстань від граничного стовпчика стрілочного переводу, що веде на легку за опором колію, до розрахункової точки, м;

$k_{\text{зб}}$ – коефіцієнт збільшення мінімальної розрахункової потужності гальмових позицій спускної частини гірки.

Потрібна розрахункова потужність ПГП для гірок підвищеної, великої та середньої потужності (та гірок малої потужності з двома гальмовими позиціями на спускній частині гірки) встановлюється у ході оптимізації них розрахунків за методикою, розробленої в ДПТі. У цих розрахунках висота гірки, розрахункова швидкість розпуску та оптимальна потрібна потужність паркової гальмової позиції є взаємопов'язаними величинами.

Отже, проаналізувавши вищезазначене та складові (1) можна стверджувати, що величина $N_{\text{тєч}}$ прямо пропорційна висоті гірки, оскільки інші складові (1) є або постійними для певної гіркової горловини, або також знаходяться у прямій залежності від H_r . Відомо, що

$$H_r = \sum_{j=1}^n L_j i_j, \quad (5)$$

де L_j, i_j – відповідно довжина та уклон n -ї частини профілю гірки.

Таким чином, в кінцевому випадку, величина $N_{\text{тєч}}$ залежить від величин уклонів певних частин профілю сортувального пристрою, оскільки їх довжина є постійною. Отже, для визначення оптимальної потрібної потужності гальмових позицій спускної частини сортувального пристрою, необхідно визначити оптимальні значення уклонів його елементів профілю.

Виведемо цільову функцію для визначення оптимальних значень уклонів елементів профілю.

При сприятливих умовах скочування

$$N_{\text{тєч}} = k_{\text{зб}} \left(\left(\sum_{j=1}^n L_j i_j + L_{\text{стр}} V_{\text{стр}} + \Delta L_{\text{ек}} V_{\text{ек}} \right) \cdot 10^{-3} + \frac{V_0^2}{2 \cdot g'^{\text{ДХ}}} - (\omega_0^{\text{ДХБ}} L_{\text{ВГ-СЗ}} + V_{\text{сєр(ВГ-СЗ)}}^2 (0,56 n_{\text{ВГ-СЗ}} + 0,23 \sum \alpha_{\text{ВГ-СЗ}})) \cdot 10^{-3} - (L_{\text{стр}} V_{\text{стр}} + \Delta L_{\text{ек}} V_{\text{ек}}) \cdot 10^{-3} \right) \rightarrow N_{\text{тєч}(\text{min})}, \quad (6)$$

де n – число елементів профілю спускної частини (від ВГ до початку СЗ).

Оскільки кожен елемент профілю складається з технологічних елементів, можна записати

$$V_{\text{сєр(ВГ-СЗ)}}^2 (0,56 n_{\text{ВГ-СЗ}} + 0,23 \sum \alpha_{\text{ВГ-СЗ}}) = \sum_{i=1}^m (0,56 n_i + 0,23 \sum \alpha_i) V_{\text{сєр(i)}}^2, \quad (7)$$

де m – число технологічних елементів.

Величини $V_0, g'_{ДХБ}, \omega_0^{ДХБ}, L_j, n_i, \sum \alpha_i$ для $j=1, \dots, n$ та $i=1, \dots, m$ є постійними величинами.

Нехай

$$k_{з0} = A,$$

$$\frac{V_0^2}{2 \cdot g'_{ДХБ}} - L_{ВГ-СЗ} \omega_0^{ДХБ} \cdot 10^{-3} = B,$$

$$(0,56 \cdot n_i + 0,23 \cdot \sum \alpha_i) \cdot 10^{-3} = C_i, \quad (8)$$

тоді

$$H_{тсч} = A \left(\sum_{j=1}^n L_j i_j \right) \cdot 10^{-3} + B + \sum_{i=1}^m C_i V_{сеп(i)}^2 \rightarrow H_{тсч(\min)}. \quad (9)$$

Середня швидкість скокування ДХБ на i -ому технологічному елементі

$$V_{сеп(i)} = \frac{V'_i + V_{i-1}}{2}, \quad (10)$$

де V'_i – швидкість ДХБ в кінці i -го елементу в першому наближенні (при розрахунку V'_i враховуються тільки ті питомі опори, які не залежать від середньої швидкості скокування на технологічному елементі: основне ($\omega_{0(i)}$), від снігу та інею ($\omega_{сн(i)}$) та гальмування ($\omega_{r(i)}$)), м/с.

$$V'_i = \sqrt{V_{i-1}^2 + 2 \cdot g'_{ДХБ} L_i (i_1 - \omega_{0(i)} - \omega_{сн(i)} - \omega_{r(i)}) \cdot 10^{-3}}, \quad (11)$$

де L_i, i_i – відповідно довжина та уклон i -того технологічного елементу.

Оскільки $H_{тсч}$ визначається при сприятливих умовах скокування, то $\omega_{сн(i)} = 0$ та, до того ж, згідно з [8] $\omega_{r(i)} = 0$.

Таким чином,

$$V'_i = \sqrt{V_{i-1}^2 + 2 \cdot g'_{ДХБ} L_i (i_1 - \omega_{0(i)}) \cdot 10^{-3}}, \quad (12)$$

де V_{i-1} – швидкість ДХБ в кінці $i-1$ елементу у другому наближенні (з урахуванням $\omega_{сн(i-1)}$ та $\omega_{r(i-1)}$)

Швидкість ДХБ в кінці першого елементу

$$V_1 = \sqrt{V_0^2 + 2 \cdot g'_{ДХБ} L_1 (i_1 - \omega_0^{ДХБ} - \omega_{сн(1)} - \omega_{r(1)}) \cdot 10^{-3}},$$

в кінці другого

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 + 2 \cdot g'_{ДХБ} L_2 (i_2 - \omega_0^{ДХБ} - \omega_{сн(2)} - \omega_{r(2)}) \cdot 10^{-3}} = \sqrt{V_0^2 + 2 \cdot g'_{ДХБ} L_1 (V_1 - \omega_0^{ДХБ} - \omega_{сн(1)} - \omega_{r(1)}) \cdot 10^{-3} + 2 \cdot g'_{ДХБ} L_2 (i_2 - \omega_0^{ДХБ} - \omega_{сн(2)} - \omega_{r(2)}) \cdot 10^{-3}}$$

в кінці m -го

$$V_m = \sqrt{V_0^2 + 2 \cdot g'_{ДХБ} L_1 (V_1 - \omega_0^{ДХБ} - \omega_{сн(1)} - \omega_{r(1)}) \cdot 10^{-3} + 2 \cdot g'_{ДХБ} L_2 (i_2 - \omega_0^{ДХБ} - \omega_{сн(2)} - \omega_{r(2)}) \cdot 10^{-3} + \dots + 2 \cdot g'_{ДХБ} L_m (i_m - \omega_0^{ДХБ} - \omega_{сн(m)} - \omega_{r(m)}) \cdot 10^{-3}} = \sqrt{V_0^2 + 2 \cdot g'_{ДХБ} \cdot 10^{-3} \sum_{y=1}^m L_y (i_y - \omega_0^{ДХБ} - \omega_{сн(y)} - \omega_{r(y)})}$$

Таким чином, швидкість ДХБ на початку $i-1$ елементу

$$V_{i-1} = \sqrt{V_0^2 + 2 \cdot g'_{ДХБ} \cdot 10^{-3} \sum_{y=1}^{i-1} L_y (i_y - \omega_0^{ДХБ} - \omega_{сн(y)} - \omega_{r(y)})}. \quad (13)$$

Результати розрахунків, наведених в [8], свідчать про те, що середня швидкість скокування ДХБ на технологічному елементі, яка визначається згідно з (формула 2.7 [8]), суттєво відрізняється від фактичної середньої швидкості

$$V_{сеп}^{\phi} = \frac{V_{поч} + \sum_{i=1}^Z \sqrt{V_{поч}^2 + 2 \cdot g'_{ДХБ} L_i (i_1 - \omega_0^{ДХБ})} / (1000 \cdot Z)}{Z + 1}, \quad (14)$$

де Z – число елементарних дільниць, на які розбивається технологічний елемент (при розрахунку $V_{сеп}^{\phi}$, довжина елементарної дільниці приймається 0,5 м, тобто $L/Z = 0,5$).

Згідно [8] пропонується середню швидкість на технологічному елементі визначати за наступною формулою

$$V_{сеп(i)} = k_i V'_{с(i)}, \quad (15)$$

де $V'_{с(i)}$ – швидкість ДХБ в першому наближенні у середині технологічного елементу

$$V'_{с(i)} = \sqrt{V_{i-1}^2 + g'_{ДХБ} L_i (i_1 - \omega_0^{ДХБ}) \cdot 10^{-3}}, \quad (16)$$

k_i – поправочний коефіцієнт.

У [8] пропонується визначити поправочний коефіцієнт виходячи з умови рівності похибок розрахунку середньої швидкості ДХБ на технологічних елементах, один з яких має безкінечно малу довжину, у зв'язку з чим $V_{сеп}$ на даному елементі можна прийняти рівною $V_{поч}$, другий – довжиною 30 м і розташований

на уклоні 50%, тобто

$$V_{поч} - k V_{поч} = k V'_c - V_{сеп}^{\phi}. \quad (17)$$

З отриманої рівності

$$k = \frac{V_{поч} + V_{сеп}^{\phi}}{V_{поч} + V'_c}. \quad (18)$$

Дослідження, що проводилися у [8] на підставі результатів розрахунків поправочного коефіцієнту при різних $V_{поч}$, показали, що він може бути заданий у вигляді експонентної функції

$k = -0,0576191 \cdot e^{-0,5710201 \cdot V_{\text{max}}} + 0,9966873$
 Підставляючи (15) у (9), отримаємо

Мінімізацію цільової функції необхідно здійснювати при нелінійних обмеженнях-рівностях

$$H_{\text{теч}} = A \left(\sum_{j=1}^n (L_j i_j) \cdot 10^{-3} + B + \sum_{i=1}^m C_i k_i^2 (V_{i-1}^2 g'_{\text{ДХБ}} L_i (i_i - \omega_0^{\text{ДХБ}}) \cdot 10^{-3}) \right) \rightarrow H_{\text{теч}(\text{min})}, \quad (19)$$

$$D_1 = f_{D_1}(V_0), E_1 = f_{E_1}(V_0)$$

$$D_2 = f_{D_2}(V_0, i_1), E_2 = f_{E_2}(V_0, i_1)$$

де

$$D_3 = f_{D_3}(V_0, i_1, i_2), E_3 = f_{E_3}(V_0, i_1, i_2)$$

$$D_{Z_x} = f_{D_{Z_x}}(V_0, i_1, i_2, \dots, i_{Z_{x-1}}), E_{Z_x} = f_{E_{Z_x}}(V_0, i_1, i_2, \dots, i_{Z_{x-1}})$$

$$V_{i-1}^2 = V_0^2 + 2 \cdot g'_{\text{ДХБ}} \cdot 10^{-3} \sum_{y=1}^{i-1} (L_y (i_y - \omega_0^{\text{ДХБ}}) - (0,56 \cdot n_{\text{стр}(y)} + 0,23 \sum \alpha_y) k_y^2 \times$$

лінійних обмеженнях-нерівностях

$$\times (V_{y-1}^2 + g'_{\text{ДХБ}} L_y (i_y - \omega_0^{\text{ДХБ}}) \cdot 10^{-3} - 1000 \cdot h_{r(y)})$$

(20)

$$\left\{ \begin{array}{l} I_1^{\text{min}} \leq I_1 \leq I_1^{\text{max}} \\ I_2^{\text{min}} \leq I_2 \leq I_2^{\text{max}} \\ \dots \dots \dots \\ I_x^{\text{min}} \leq I_x \leq I_x^{\text{max}} \\ I_1 - I_2 \leq 25 \\ H_{\Gamma(\text{ДХБ})}^{\text{ГП}} \leq n_y h_{\text{вд}} \\ V_{\text{вх}(\text{ДХБ})}^{\text{ГП}} \leq V_{\text{вх}(\text{max})}^{\text{ГП}} \\ T_0 \leq T_0^{\text{max}} \end{array} \right. ,$$

Нехай

$$C_i k_i^2 = D_i,$$

$$V_{i-1}^2 - g'_{\text{ДХБ}} L_i \omega_0^{\text{ДХБ}} \cdot 10^{-3} = E_i,$$

$$g'_{\text{ДХБ}} L_i \cdot 10^{-3} = F_i,$$

$$L_j / 1000 = G_j.$$

Тоді

$$H_{\text{теч}} = A \left(\sum_{j=1}^n G_j i_j + B + \sum_{i=1}^m D_i (E_i + F_i i_i) \right) \rightarrow H_{\text{теч}(\text{min})}, \quad (21)$$

або

та лінійних обмеженнях-рівностях

$$H_{\text{теч}} = A(B + ((G_1 i_1) + D_1 (E_1 + F_1 i_1)) + ((G_2 i_2) + D_2 (E_2 + F_2 i_2)) + \dots + ((G_n i_n) + D_n (E_n + F_n i_n))) \rightarrow H_{\text{теч}(\text{min})}$$

$$(22) \left\{ \begin{array}{l} L_{\text{пр}(\text{РБ})} = L_p \\ H_{\Gamma(\text{ДХБ})}^{\text{ГП}} = 0 \\ V_{\text{вих}(\text{ДХБ})}^{\text{ГП}} = 1,4 \end{array} \right. .$$

Оскільки кожен елемент профілю складається з декількох технологічних елементів, позначимо

$$I_1 = i_j, \text{ де } j=1, \dots, Z_1$$

$$I_2 = i_j, \text{ де } j=Z_1+1, \dots, Z_2$$

.....

$$I_x = i_j, \text{ де } j=Z_{x-1}+1, \dots, Z_x .$$

Тут x - число елементів профілю спускної частини сортувального пристрою, а Z_1, Z_2, \dots, Z_x - відповідно номер останнього технологічного елементу першого елементу профілю, другого, x -го.

Таким чином, цільова функція набуває наступного вигляду

$$H_{\text{теч}} = A(B + (\sum_{j=1}^{Z_1} (G_j I_1 + D_j (E_j + F_j I_1)) + \sum_{j=Z_1+1}^{Z_2} (G_j I_2 + D_j (E_j + F_j I_2)) + \dots +$$

$$+ \sum_{j=Z_{x-1}+1}^{Z_x} (G_j I_x + D_j (E_j + F_j I_x)))) \rightarrow H_{\text{теч}(\text{min})}$$

4. Висновки

Отже, вище ми отримали оптимізаційну задачу з обмеженнями. Оскільки дану задачу неможливо звести до задачі безумовного екстремуму, необхідний метод, який дозволить з мінімальною кількістю перебору варіацій значень I_1, I_2, \dots, I_x знайти мінімальне значення $H_{\text{теч}}$. Нарешті, вирішення цієї задачі дозволить вирішити питання комплексного проектування висоти та поздовжнього профілю сортувальних пристроїв з оптимальною потужністю гальмових засобів, що, в свою чергу, дозволить привести у відповідність енерговитрати, якими супроводжується сортувальний процес до розмірів переробки вагонів.

Література

1. Концепція та програма реструктуризації на залізничному транспорті України. – Київ, 1998.

2. Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств / Муха Ю.А., Тишков Л.Б., Шейкин В.П. и др.- М.: Транспорт, 1994.- 220 с.
3. www.uz.gov.ua
4. І.В. Берестов, М.Ю. Куценко. Обґрунтування необхідності паспортизації сортувальних пристроїв залізниць України: Збірник наукових праць студентів і магістрів, вип. 65. – Х.: 2005, с. 113-115.
5. І. В. Берестов, М. Ю. Куценко. До питання розробки методики визначення комплексного показника характеристики конструктивно-технологічних параметрів пристроїв регулювання швидкості відчепів: Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті, №5, 6. – Х.:2006, с. 66 – 69.
6. І.В. Берестов, М.Ю. Куценко. Аналіз існуючих методів та методик розрахунку сортувальних пристроїв: Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті, №2. – Х.:2007, с. 34 – 37.
7. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР: ВСН 207-89/МПС СССР. М.: Транспорт, 1992, 104 с.
8. Огарь А. Н. Повышение ресурсосбережения и эффективности функционирования сортировочных горок при оптимизации продольного профиля: дисс. канд. техн. наук. – Харьков, 2002.

УДК 504.7.064.3.614(083.74)

ЗВЕДЕНА МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ШКІДЛИВОГО ВПЛИВУ ПРОДУКЦІЇ НА ДОВКІЛЛЯ

Розглянуті питання, пов'язані з концепцією життєвого циклу й стандартами серії ISO 14000 «Екологічне керування». Розглянуто існуючі моделі та методи оцінювання впливу життєвого циклу продукційної системи, які включають обов'язкові етапи оцінювання впливу життєвого циклу. Запропоновано модель оцінювання впливу продукційної системи на виснаження ресурсів, здоров'я людини, зміну клімату й екосистеми. Представлено індекс шкідливості продукту, що є інтегральним показником впливу продукційної системи на довкілля, здоров'я людини й ресурси, та методику його розрахунку. Показано ефективність використання запропонованого індексу для оцінювання екологічності продукції на прикладі аналізування кількох варіантів продукційної системи

Г.О. Статюха

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри*
Контактний тел.: (044) 241-76-12
e-mail: kxtp@xtf.ntu-kpi.kiev.ua

І.М. Джигирей

Кандидат технічних наук, асистент*
Контактний тел.: (044) 241-76-12
e-mail: dzhygyrey@gmail.com

Б.М. Комариста

Аспірант*
Контактний тел.: (044) 241-76-12
e-mail: danita81@mail.ru

*Кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут»
просп. Перемоги, 37, корпус 4, м. Київ, 03056

1. Вступ

Оцінювання життєвого циклу продукції – один з найпоширеніших методів кількісного визначення екологічності продукції. Використання цього інструмен-

ту дає змогу фахівцям визначати вплив продукції протягом життєвого циклу на зміну клімату, виснаження озонового шару, збіднення ресурсів і т.д. Порівняння на такій основі декількох варіантів продукційних систем дозволяє обґрунтовано прийняти рішення, виз-