

## ОРГАНІЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

УДК 656.212.5

*Данько М.І., д.т.н., професор (УкрДАЗТ)*

*Огар О.М., к.т.н., доцент (УкрДАЗТ)*

*Розсоха О.В., ст. викладач (УкрДАЗТ)*

### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ВАРІАНТУ МЕХАНІЗАЦІЇ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК ПРИ ЗАСТОСУВАННІ НОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ГІРКОВИХ ГОРЛОВИН

**Вступ.** Ефективність функціонування сортувальних пристроїв залізниць України в першу чергу залежить від спроможності їх технічних засобів забезпечувати раціональне використання паливно-енергетичних, виробничих і перевізних ресурсів при виконанні основних операцій сортувального процесу. Стан використання вказаних ресурсів на даний момент є досить незадовільним, що обумовлюється рядом факторів, серед яких основними є значний знос засобів регулювання швидкості скочування відчепів з гірки, недосконалість конструкції сортувальних пристроїв і технології сортувального процесу, відсутність систем підтримки прийняття рішень, низький рівень автоматизації та інші. В теперішній час на рівні теоретичних досліджень удосконаленню технології роботи гірки та її конструктивних параметрів приділяється достатньо уваги. Однак однозначний підхід до її проектування і експлуатації поки що не сформовано.

**Постановка проблеми.** Значний вплив на ефективність функціонування сортувальних гірок здійснюють конструктивні особливості їх колійного розвитку. Саме його конструкція визначає розміщення вагонних уповільнювачів на плані гіркової горловини, їх число в межах гальмових позицій спускної частини і можливість застосування тих чи інших засобів регулювання швидкості скочування відчепів. Традиційні підходи до проектування гіркових горловин з позиції використання паливно-енергетичних, виробничих і перевізних ресурсів не в повній мірі задовольняють сучасним вимогам до їх збереження, що було доведено авторами у [1-3]. У зв'язку цим актуальними є дослідження, що

спрямовані на удосконалення конструктивних параметрів гіркових горловин і створення математичних моделей визначення раціональних варіантів механізації сортувальних гірок.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Відомими вченими в області удосконалення конструкцій та методів розрахунків параметрів гіркових горловин є Абуладзе Л.В., Вульфсон Б.Н., Дашков М.Г., Івашкевич В.К., Карпов А.М., Луговцов М.Н., Негрей В.Я., Образцов В.Н., Павлов В.Є, Савченко І.Є., Страковський І.І., Уздін М.М., Єфіменко Ю.І. та ін. Основну увагу в працях зазначених вчених при вирішенні задач оптимізації конструктивних параметрів сортувальних гірок приділено підвищенню їх переробної спроможності, що обумовлювалось високими темпами сортувальної роботи. Проблема збереження ресурсів при відносно низьких цінах на паливо, електроенергію, засоби регулювання швидкості скочування відчепів та високій надійності їх функціонування на той час не була актуальною.

**Формулювання мети (постановка завдання).** Метою даної роботи є підвищення ефективності функціонування сортувальних гірок залізниць України за рахунок впровадження раціональних конструкцій гіркових горловин і варіантів механізації гальмових позицій, для чого необхідно розробити відповідну математичну модель.

**Визначення раціонального варіанту механізації сортувальної гірки при застосуванні нових конструкцій гіркових горловин.** Раціональний варіант механізації сортувальної гірки для заданої конструкції гіркової горловини пропонується визначати за критерієм мінімуму капіталовкладень у вагонні уповільнювачі, які передбачається використовувати на спускній частині та підгіркових коліях.

Цільову функцію пропонується записати у наступному аналітичному виді

$$\sum_{i=1}^n N_{yn_i} \cdot N_{\partial k_i} \cdot K_{yn_i} + N_{yn}^{ПГП} \cdot N_{ск} \cdot K_{yn}^{ПГП} \rightarrow K_{yn_{min}},$$

де  $n$  – число гальмових позицій (ГП) в межах спускної частини;

$N_{yn_i}$ ,  $N_{yn}^{ПГП}$  – число вагонних уповільнювачів відповідно на  $i$ -й ГП спускної частини і парковій ГП (ПГП);

$N_{\partial k_i}$  – число ділянок колій, на яких розташовується  $i$ -та ГП спускної частини;

$K_{ун_i}, K_{ун}^{ППП}$  – вартість вагонних уповільнювачів, що передбачається застосовувати відповідно на  $i$ -й ГП і ППП;

$N_{ск}$  – число сортувальних колій.

Дана задача вирішується при наступних обмеженнях-нерівностях

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq N_{ун_i} \leq N_{ун_i}^{\max}; \\ 0 \leq H_{\Gamma_i} \leq N_{ун_i} \cdot h_{ном_i}; \\ T_{0стр}^{ДПБ(ПБ)-ДХБ(ХБ)} \leq T_0^{\max}, \quad T_{0ун}^{ДПБ(ПБ)-ДХБ(ХБ)} \leq T_0^{\max}; \\ T_{0стр}^{ДХБ(ХБ)-ДПБ(ПБ)} \leq T_0^{\max}, \quad T_{0ун}^{ДХБ(ХБ)-ДПБ(ПБ)} \leq T_0^{\max}; \\ V_{вх}^{ГП} \leq V_{вх}^{\max} \end{array} \right.$$

і обмеженнях-рівностях

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{0ост.стр}^{ДХБ(ХБ)-ДПБ(ПБ)} = T_0^{\max}; \\ N_{ун}^{ППП} = \frac{1}{h_{ун}^{ном}} \left[ \frac{V_{вх}^{ДХБ(ХБ)}^2 - V_{вх}^{ДХБ(ХБ)}^2}{2g'_{ДХБ(ХБ)}} + l_{ППП} \cdot \left( i_{ППП} - \omega_o^{ДХБ(ХБ)} - \omega_{кр} - \omega_{св}^{ДХБ(ХБ)} - \omega_{сн}^{ДХБ(ХБ)} \right) 10^{-3} \right]; \\ V_{вх}^{ДХБ(ХБ)} = V_{к} = \sqrt{V_{к-1}^2 + 2 \cdot g'_{ДХБ(ХБ)} \cdot l_{к} \cdot \left( i_{к} - \omega_o^{ДХБ(ХБ)} - \omega_{ск_к} - \omega_{св_к}^{ДХБ(ХБ)} - \omega_{сн_к}^{ДХБ(ХБ)} - \omega_{z_к}^{ДХБ(ХБ)} \right) 10^{-3}}; \\ V_{к-1} = \sqrt{V_{к-2}^2 + 2 \cdot g'_{ДХБ(ХБ)} \cdot l_{к-1} \cdot \left( i_{к-1} - \omega_o^{ДХБ(ХБ)} - \omega_{ск_{к-1}} - \omega_{св_{к-1}}^{ДХБ(ХБ)} - \omega_{сн_{к-1}}^{ДХБ(ХБ)} - \omega_{z_{к-1}}^{ДХБ(ХБ)} \right) 10^{-3}}; \\ V_{к-2} = \sqrt{V_{к-3}^2 + 2 \cdot g'_{ДХБ(ХБ)} \cdot l_{к-2} \cdot \left( i_{к-2} - \omega_o^{ДХБ(ХБ)} - \omega_{ск_{к-2}} - \omega_{св_{к-2}}^{ДХБ(ХБ)} - \omega_{сн_{к-2}}^{ДХБ(ХБ)} - \omega_{z_{к-2}}^{ДХБ(ХБ)} \right) 10^{-3}}; \\ \dots \\ V_2 = \sqrt{V_1^2 + 2 \cdot g'_{ДХБ(ХБ)} \cdot l_2 \cdot \left( i_2 - \omega_o^{ДХБ(ХБ)} - \omega_{ск_2} - \omega_{св_2}^{ДХБ(ХБ)} - \omega_{сн_2}^{ДХБ(ХБ)} - \omega_{z_2}^{ДХБ(ХБ)} \right) 10^{-3}}; \\ V_1 = \sqrt{V_0^2 + 2 \cdot g'_{ДХБ(ХБ)} \cdot l_1 \cdot \left( i_1 - \omega_o^{ДХБ(ХБ)} - \omega_{ск_1} - \omega_{св_1}^{ДХБ(ХБ)} - \omega_{сн_1}^{ДХБ(ХБ)} - \omega_{z_1}^{ДХБ(ХБ)} \right) 10^{-3}}; \\ V_0 = V_p; \\ H_{\Gamma_i} = \sum_{j=a_i}^{b_i} h_{\Gamma_i}, \end{array} \right.$$

де  $N_{ун_i}^{\max}$  – максимально можливе число вагонних уповільнювачів, що може бути укладено на  $i$ -й ГП;

$H_{Г_i}$  – потрібна величина гальмування дуже хорошого бігуна (ДХБ) або хорошого (ХБ) на  $i$ -й ГП, кДж/кН;

$h_{ном_i}$ ,  $h_{ун ПГП}^{ном}$  – номінальна потужність вагонних уповільнювачів  $i$ -ї ГП і ПГП, кДж/кН;

$T_{0стр}^{ДПБ(ПБ)-ДХБ(ХБ)}$ ,  $T_{0ун}^{ДПБ(ПБ)-ДХБ(ХБ)}$  – розрахунковий інтервал між вагонами, що скочуються у розрахунковому сполученні ДПБ(ПБ)-ДХБ(ХБ), відповідно на стрілках і вагонних уповільнювачах, с;

$T_0^{\max}$  – максимально можливий інтервал на вершині гірки (ВГ), с;

$T_{0стр}^{ДХБ(ХБ)-ДПБ(ПБ)}$ ,  $T_{0ун}^{ДХБ(ХБ)-ДПБ(ПБ)}$  – розрахунковий інтервал між вагонами, що скочуються у розрахунковому сполученні ДХБ(ХБ)-ДПБ(ПБ), відповідно на стрілках і вагонних уповільнювачах, с;

$V_{вх}^{ГП}_{ДХБ(ХБ)}$  – швидкість входу ДХБ(ХБ) на ГП спускної частини, м/с;

$V_{\max}$  – максимально можлива швидкість входу вагонів на вагонні уповільнювачі ГП спускної частини, м/с;

$T_{0ост.стр}^{ДХБ(ХБ)-ДПБ(ПБ)}$  – розрахунковий інтервал між вагонами, що скочуються у розрахунковому сполученні ДХБ(ХБ)-ДПБ(ПБ), на останній розділовій стрілці, с;

$V_{вх ПГП}^{ДХБ(ХБ)}$  – швидкість входу ДХБ(ХБ) на ПГП, м/с;

$V_{вих ПГП}^{ДХБ(ХБ)}$  – швидкість виходу ДХБ(ХБ) з ПГП,  $V_{вих ПГП}^{ДХБ(ХБ)} = 1,4$  м/с;

$g'_{ДХБ(ХБ)}$  – прискорення вільного падіння з урахуванням моменту інерції мас, що обертаються, ДХБ(ХБ), м/с<sup>2</sup>;

$l_{ПГП}$  – довжина ділянки ПГП, м;

$i_{ПГП}$  – крутизна уклону ПГП, ‰;

$\omega_0^{ДХБ(ХБ)}$  – основний питомий опір ДХБ(ХБ), Н/кН;

$\omega_{кр}, \omega_{св}^{ДХБ(ХБ)}, \omega_{сн}^{ДХБ(ХБ)}$  – додаткові питомі опори ДХБ(ХБ) відповідно від кривих, середовища і вітру, снігу та інею в межах ППП, Н/кН;

$V_k, V_{k-1}, V_{k-2}, \dots, V_2, V_1$  – швидкості ДХБ(ХБ) відповідно у кінці  $k$ -го,  $k-1$ -го,  $k-2$ -го, ...,  $2$ -го і  $1$ -го технологічних елементів, м/с;

$V_0$  – початкова швидкість розпуску, м/с;

$l_k, l_{k-1}, l_{k-2}, \dots, l_2, l_1$  – довжина відповідно  $k$ -го,  $k-1$ -го,  $k-2$ -го, ...,  $2$ -го і  $1$ -го технологічних елементів, м;

$i_k, i_{k-1}, i_{k-2}, \dots, i_2, i_1$  – крутизна відповідно  $k$ -го,  $k-1$ -го,  $k-2$ -го, ...,  $2$ -го і  $1$ -го технологічних елементів,  $^\circ/_{00}$ ;

$\omega_{ск_k}, \omega_{ск_{k-1}}, \omega_{ск_{k-2}}, \dots, \omega_{ск_2}, \omega_{ск_1}$  – додатковий питомий опір ДХБ(ХБ) від стрілок і кривих відповідно на  $k$ -му,  $k-1$ -му,  $k-2$ -му, ...,  $2$ -му і  $1$ -му технологічних елементах, Н/кН;

$\omega_{св_k}^{ДХБ(ХБ)}, \omega_{св_{k-1}}^{ДХБ(ХБ)}, \omega_{св_{k-2}}^{ДХБ(ХБ)}, \dots, \omega_{св_2}^{ДХБ(ХБ)}, \omega_{св_1}^{ДХБ(ХБ)}$  – додатковий питомий опір ДХБ(ХБ) від середовища і вітру відповідно на  $k$ -му,  $k-1$ -му,  $k-2$ -му, ...,  $2$ -му і  $1$ -му технологічних елементах, Н/кН;

$\omega_{сн_k}^{ДХБ(ХБ)}, \omega_{сн_{k-1}}^{ДХБ(ХБ)}, \omega_{сн_{k-2}}^{ДХБ(ХБ)}, \dots, \omega_{сн_2}^{ДХБ(ХБ)}, \omega_{сн_1}^{ДХБ(ХБ)}$  – додатковий питомий опір ДХБ(ХБ) від снігу та інею відповідно на  $k$ -му,  $k-1$ -му,  $k-2$ -му, ...,  $2$ -му і  $1$ -му технологічних елементах, Н/кН;

$\omega_{2_k}^{ДХБ(ХБ)}, \omega_{2_{k-1}}^{ДХБ(ХБ)}, \omega_{2_{k-2}}^{ДХБ(ХБ)}, \dots, \omega_{2_2}^{ДХБ(ХБ)}, \omega_{2_1}^{ДХБ(ХБ)}$  – питома величина гальмування ДХБ(ХБ) відповідно на  $k$ -му,  $k-1$ -му,  $k-2$ -му, ...,  $2$ -му і  $1$ -му технологічних елементах, Н/кН

$$\omega_{2_j}^{ДХБ(ХБ)} = \frac{1000 \cdot h_{Г_j}}{l_j},$$

де  $j=[1, k]$ ;

$h_{Г_j}$  – енергетична висота ДХБ(ХБ), що гаситься на  $j$ -му технологічному елементі, кДж/кН;

$V_p$  – швидкість розпуску составів, м/с;

$a_i, b_i$  – номери відповідно першого і останнього технологічних елементів  $i$ -ї ГП.

Потужність гальмових засобів сортувальної гірки повинна бути достатньою для реалізації встановленої швидкості розпуску составів і допустимої швидкості зіткнення вагонів на підгіркових коліях у будь-яких метеорологічних умовах. У зв'язку з цим можливість застосування варіантів механізації повинна перевірятись для сприятливих і несприятливих умов скочування вагонів.

Пропонується двостадійний шлях розв'язання даної задачі. На першій стадії спрощується система рівностей, що дозволяє зменшити вимірність фазового простору дискретної системи. На другому етапі використовується метод спрямованого перебору варіантів у дискретному фазовому просторі [4].

Екстремальні комбінаторні задачі в загальному вигляді формулюються таким чином: мінімізувати цільову (критеріальну) функцію  $f(x)$  при дотриманні системи обмежень

$$g_j(x) \leq b_j, \quad j = \overline{1, n};$$

де  $x$  – вектор незалежних булевих змінних:  $x = (x_i; i = \overline{1, m})$ ,  $x_i \in \{0, 1\}$ ,  $i = \overline{1, m}$ ;

$m$  – кількість змінних;

$n$  – кількість обмежень;

$g_j(x)$  – функції незалежних змінних,  $j = \overline{1, n}$ ;

$b_j$  – цілі або раціональні числа,  $j = \overline{1, n}$ .

Іншими словами, необхідно знайти такий вектор значень булевих змінних  $x = (x_i; i = \overline{1, m})$ , який за умови задоволення всім нерівностям  $g_j(x) \leq b_j, j = \overline{1, n}$  перетворює в мінімум функцію  $f(x)$ .

Вектор значень булевих змінних, що задовольняє системі обмежень, прийнято називати припустимим планом. Припустимий план, що звертає цільову функцію в мінімум, називається оптимальним планом.

До наведеної вище форми зводиться і задача розміщення вагонних уповільнювачів та визначення їх раціонального числа на спускній частині та парковій гальмовій позиції.

Повна множина  $G$  варіантів рішення комбінаторної задачі являє собою прямий (декартовий) добуток

$$G = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_m,$$

де  $X_i$  – множина можливих значень незалежної змінної  $x_i$ .

Оскільки  $X_i = \{0, 1\}$ ,  $i = \overline{1, m}$ , множина  $G$  складається з  $2^m$  різних двійкових  $m$ -розрядних комбінацій від  $(0, 0, \dots, 0)$  до  $(1, 1, \dots, 1)$  включно.

Метод спрямованого перебору передбачає послідовне дроблення множини  $G$  варіантів рішення задачі, яке проводиться доти, поки не встановлюється оптимальний план або факт неспільності системи обмежень.

Критерій вибору підмножини варіантів для подальшого розбиття слід сформулювати таким чином, щоб скоротити до мінімуму кількість варіантів рішення комбінаторної задачі і направити фазову криву в напрямку більш оптимального рішення.

Нові підмножини варіантів, що одержуються в результаті розбиття, піддаються формальному аналізу, метою якого є максимальне скорочення обсягу інформації, що оброблюється на кожному етапі розв'язання комбінаторної задачі.

Кінцевим результатом розв'язання задачі, що розглядається, слід вважати припустимий план, найкращий (за розглянутим критерієм) із встановлених до фіксованого моменту часу.

**Висновки.** Результатом раціоналізації технічного оснащення сортувальної гірки може бути отримання декількох альтернативних варіантів механізації. У цьому випадку вибір конструкції гіркової горловини слід здійснювати за допомогою комплексного критерію, який окрім приведених витрат, додатково враховує показники надійності функціонування сортувального пристрою у варіантах проектних рішень, що розглядаються.

Запропонована математична модель може бути також використана при вирішенні питань, пов'язаних з переобладнанням гальмових позицій існуючих сортувальних гірок залізниць України, а також для аналізу ефективності варіантів механізації, що застосовуються.

### *Список літератури*

1. Огар О.М. Аналіз і особливості конструкції гіркових горловин вітчизняних сортувальних пристроїв / О.М. Огар, О.В. Розсоха, С.М. Светличний // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – Вип. 85. – С. 57-64.
2. Огар О.М. Напрямки удосконалення конструкцій гіркових горловин сортувальних пристроїв з позиції ресурсозбереження / О.М. Огар, О.В. Розсоха //

Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2007. – № 5/2(29). – С. 54-58.

3. Огар О.М. Сфери застосування нових гіркових горловин / О.М. Огар, О.В. Розсоха // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2009. – Вип. 17. – С. 5-8.

4. Литвиненко А.Е. Метод направленного перебора в системах управления и диагностирования / А.Е. Литвиненко. – К., 2007. – 328 с.

**УДК 628.477:656.2**

*Зеленько Ю.В., к.т.н., доцент (ДНУЖТ)*

**ПРИНЦИПЫ РАЦИОНАЛЬНОГО РЕСУРСОПОТРЕБЛЕНИЯ  
ПРИ УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ НА  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

*Введение.* Одними из важнейших принципов устойчивого экономического и социального развития Украины являются рациональное использование природных ресурсов и обеспечение экологической безопасности населения.

*Постановка задачи.* Наряду с отраслями, которые традиционно оказывают негативное влияние на окружающую среду, такими как энергетика, металлургия, и др. – значительное влияние оказывают различные виды транспорта, в том числе железнодорожный транспорт. Среди основных факторов обуславливающих влияние железнодорожного транспорта на экологическую обстановку в Украине выделяются:

- загрязнение окружающей среды в результате аварий при перевозках экологически опасных грузов;
- низкая топливная экономичность, большой объем потребления энергетических ресурсов;
- потребление невозобновляемых природных ресурсов при эксплуатации железнодорожного транспорта (топливо, масло, вода, воздух, металл, древесина и т.д.);
- загрязнение природной среды различными сыпучими грузами при их погрузке, выгрузке и транспортировке, мусором и отходами предприятий железнодорожного транспорта.

В последнее время на железнодорожном транспорте активизировалась работа по снижению вредного воздействия на