

УДК 656.212.5

**РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ СТРУКТУР ГІРКОВИХ ГОРЛОВИН З  
ВАГОННИМИ УПОВІЛЬНЮВАЧАМИ ЛЕГКИХ ТИПІВ**

Д-р техн. наук О.М. Огар

**РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУР ГОРОЧНЫХ ГОРЛОВИН С  
ВАГОННЫМИ ЗАМЕДЛИТЕЛЯМИ ЛЕГКИХ ТИПОВ**

Д-р техн. наук А.Н. Огарь

**CALCULATION OF CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF HUMP MOUTHS STRUCTURES  
WITH CAR RETARDER OF LIGHT TYPES**

Doct. of techn. sciences O. Ogar

*Обґрунтовано доцільність використання структур гіркових горловин нового класу. Вказано на недоліки типових структур гіркових горловин, а також структур, що експлуатуються на залізничних станціях України і країн СНД. Зазначено шляхи усунення виявлених недоліків в окремих закордонних країнах. Проаналізовано наукові підходи до проектування і розрахунку параметрів гіркових горловин. Сформовано математичну модель визначення потрібної кількості вагонних*

уповільнювачів на гальмових позиціях сортувальної гірки та раціонального варіанта їх розташування в межах спускної частини.

**Ключові слова:** сортувальна гірка, конструктивні параметри, гіркова горловина, вагонний уповільнювач, гальмова позиція, структура, ресурс.

*Обоснована целесообразность использования структур горочных горловин нового класса. Указано на недостатки типовых структур горочных горловин, а также структур, которые эксплуатируются на железнодорожных станциях Украины и стран СНГ. Отмечены пути устранения выявленных недостатков в отдельных зарубежных странах. Проанализированы научные подходы к проектированию и расчету параметров горочных горловин. Сформирована математическая модель определения необходимого числа вагонных замедлителей на тормозных позициях сортировочной горки и рационального варианта их расположения в пределах спускной части.*

**Ключевые слова:** сортировочная горка, конструктивные параметры, горочная горловина, вагонный замедлитель, тормозная позиция, структура, ресурс.

*Using reasonability of new class of hump mouth structures was based. The disadvantages of typical structures of hump mouths, also structures, which are used at the Ukrainian and CIS railway stations were pointed to. Disposal ways of revealed disadvantages in separate foreign countries were noted. Scientific ways to designing and calculation of hump mouths parameters were analyzed. Mathematic definition model of needed number of car retarder at the break positions of sorting hump and rational variant their disposition within drain part was formed. Optimization criterion of constructive structure parameters of hump mouths with car retarder of light types was proposed. Scientific task was produced as task in stochastic integer-valued programming with non-linear target function and non-linear limitation inequality. In conclusion, proposed mathematic definition model of needed number of car retarder at the break positions of sorting hump and rational variant their disposition within drain part is allowed to get one or several alternative placing schemes of low-power delay mechanism in the testing area, it is given a possibility more objective estimation of effectiveness application of hump mouths structures of new class.*

**Key words:** sorting hump, constructive parameters, hump mouth, car retarder, break position, structure, resource.

**Вступ.** Одними з основних конструктивних параметрів гіркової горловини, що визначають рівень використання виробничих і перевізних ресурсів, є кількість гальмових позицій (ГП) на спускній частині (СЧ) і кількість уповільнювачів, що може бути встановлено на них. Під виробничими ресурсами в даному випадку розуміються засоби регулювання швидкості скочування відчепів, що встановлюються на спускній частині і підгіркових коліях, під перевізними – вагони робочого парку. При цьому слід відзначити суттєву залежність показників, на основі яких визначається рівень використання виробничих і перевізних ресурсів (потужність паркової гальмової позиції (ППП), середня швидкість співударяння вагонів і середня величина «вікна» на коліях підгіркового парку), від основних конструктивних параметрів гіркової горловини. У зв'язку з цим доцільним є використання структур гіркових горловин нового класу [1], що забезпечать підвищення

якісних показників сортувального процесу і, відповідно, заощадження виробничих і перевізних ресурсів.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Типові структури гіркових горловин, а також структури, що експлуатуються, в основному орієнтовані на використання одно- або двопозиційного регулювання швидкості скочування відчепів. Досвід застосування таких горловин на залізничних станціях України і країн СНД показав низьку їх ефективність з точки зору забезпечення необхідного рівня інтервального і прицільного регулювання. Цей суттєвий недолік структур гіркових горловин в окремих закордонних країнах намагалися вирішити декількома шляхами: повною автоматизацією сортувального процесу, застосуванням вагоноосаджувачів, уповільнювачів-прискорювачів, точкових і гвинтових уповільнювачів тощо. Використання

так званого квазібезперервного регулювання швидкості скочування відчепів на спускній частині і підгіркових коліях суттєво підвищило якісні показники сортувального процесу, не дивлячись на окремі недоліки даної системи регулювання. Враховуючи те, що виробництво подібних уповільнювачів поки що в Україні відсутнє, а закупівля їх за кордоном є економічно недоцільним, ідею квазібезперервного регулювання певною мірою можна реалізувати шляхом розроблення структур гіркових горловин з більшою кількістю гальмових позицій на спускній частині, орієнтованих на використання малопотужних (паркових) уповільнювачів РНЗ-2, РНЗ-2М, ЗВУ-07.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Створенням і розвитком теоретичних підходів до проектування і розрахунку параметрів гіркових горловин займалися такі вчені, як Л.В. Абуладзе, Є.В. Архангельський, І.В. Берестов, В.І. Бобровський, В.Я. Болотний, Т.В. Бутько, М.І. Данько, О.М. Долаберідзе, Ю.І. Єфіменко, В.К. Івашкевич, А.М. Карпов, Д.М. Козаченко, Б.О. Кривошей, М.Н. Луговцов, С.С. Мацкель, Є.В. Нагорний, В.Я. Негрей, В.Д. Нікітін, В.М. Образцов, В.Є. Павлов, І.Є. Савченко, І.І. Страковський, М.М. Уздін та ін.

Основною метою удосконалення наукових підходів щодо розрахунку конструктивних параметрів структур гіркових горловин, які відображені в останніх працях [2-5], є мінімізація витрат на розформування составів. Разом з тим останні дослідження спрямовані в основному на удосконалення існуючих конструкцій гіркових горловин, а не на розроблення нових, що забезпечують заощадження енергетичних, виробничих і перевізних ресурсів.

**Визначення мети і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення заощадження виробничих і перевізних ресурсів при використанні структур гіркових горловин нового класу шляхом розроблення наукового підходу до розрахунку їхніх раціональних конструктивних параметрів. Виходячи з цього основним завданням дослідження є формування математичної моделі визначення потрібної кількості вагонних уповільнювачів на гальмових позиціях сортувальної гірки та раціонального варіанта їх розташування в межах спускної частини.

**Основна частина дослідження.** Потрібна кількість вагонних уповільнювачів на ГП СГ та раціональний варіант їх розташування в межах спускної частини для заданої конструкції гіркової горловини пропонується визначати за критерієм мінімуму капіталовкладень у засоби регулювання швидкості скочування відчепів, які передбачається використовувати на позиціях сортувального пристрою. Якщо кожному колійну дільницю, призначену для розміщення вагонного уповільнювача, розглядати як окремих елемент гіркової горловини, то для побудови моделі необхідно ввести такі множини і величини:

$I$  – множина колійних дільниць гіркової горловини;

$i$  – номер колійної дільниці з множини  $I$ ,  $i \in I$ ;

$J$  – множина сортувальних колій;

$j$  – номер сортувальної колії із множини  $J$ ,  $j \in J$ ;

$I^j$  – підмножина колійних дільниць по маршруту скочування на сортувальну колію  $j$ ,  $I^j \subset I$ ;

$i(j)$  – номер колійної дільниці з підмножини  $I^j$ ,  $i(j) \in I^j$ ;

$I^{s1}, I^{s2}, \dots, I^{sk}$  – підмножина колійних дільниць по маршруту скочування хорошого бігуна (ХБ) відповідно до стрілочного переводу  $1, 2, \dots, k$ ,  $I^{s1}, I^{s2}, \dots, I^{sk} \subset I$ ;

$i(s1), i(s2), \dots, i(sk)$  – номер колійної дільниці відповідно з підмножини  $I^{s1}, I^{s2}, \dots, I^{sk}$ ,

$i(s1) \in I^{s1}, i(s2) \in I^{s2}, \dots, i(sk) \in I^{sk}$ ;

$I^{k\partial 2}, I^{k\partial 3}, \dots, I^{k\partial n}$  – підмножина колійних дільниць по маршруту скочування ХБ відповідно до колійної дільниці  $2, 3, \dots, n$ , де  $n$  – порядковий номер останньої колійної дільниці гіркової горловини,  $I^{k\partial 2}, I^{k\partial 3}, \dots, I^{k\partial n} \subset I$ ;

$i(k\partial 2), i(k\partial 3), \dots, i(k\partial n)$  – номер колійної дільниці відповідно з підмножини  $I^{k\partial 2}, I^{k\partial 3}, \dots, I^{k\partial n}$ ,

$i(k\partial 2) \in I^{k\partial 2}, i(k\partial 3) \in I^{k\partial 3}, \dots, i(k\partial n) \in I^{k\partial n}$ ;

$Z_{\Gamma}(i(j))$  – множина ступенів гальмування ХБ на вагонному уповільнювачі, що розташований на  $i(j)$ -й колійній дільниці,  $Z_{\Gamma}(i(j)) = \{0,1,2,3,4\}$ ,  $i(j) \in I^j$ ,  $I^j \subset I$ ;

$z_{\Gamma i(j)}$  – ступінь гальмування ХБ із множини  $Z_{\Gamma}(i(j))$ ,  $z_{\Gamma i(j)} \in Z_{\Gamma}(i(j))$ . Якщо  $z_{\Gamma i(j)} = 0$ , то на вагонному уповільнювачі, що розташований на  $i(j)$ -й колійній дільниці, гальмування ХБ не відбувається.

Величина капіталовкладень у вагонні уповільнювачі визначається планом їх розподілу і не залежить від часових параметрів. Останні необхідні тільки для визначення технологічних параметрів скочування розрахункових бігунів при заданій комбінації

розташування уповільнювачів на полігоні. Отримані числові характеристики руху бігунів вказують на можливість приналежності комбінації області допустимих рішень.

Формально розподіл вагонних уповільнювачів на полігоні можна представити набором незалежних величин, значення яких встановлюються в результаті розв'язання задачі та однозначно визначають кількість і місце встановлення уповільнювачів на гальмових позиціях сортувальної гірки. Такими величинами можуть служити логічні змінні  $x_i \in \{0,1\}$ ,  $i \in I$ . Якщо в результаті розв'язання задачі виявиться, що  $x_i = 1$ , це означає, що на  $i$ -й колійній дільниці СЧ має стояти вагонний уповільнювач.

У відповідності з цим цільову функцію можна записати в такому аналітичному вигляді

$$K(x) = K_{yn}^{cч} \cdot \sum_{i \in I} x_i + K_{yn}^{ск} \cdot \sum_{\substack{j \in J, \\ i(j) \in I^j}} N_{yn}^{нгп} \left( V_{\beta}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(j)}^{XB} \left( z_{\Gamma i(j)}(x_{i(j)}) \right) \right) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $K_{yn}^{cч}$ ,  $K_{yn}^{ск}$  – вартість вагонних уповільнювачів, обраних для застосування на гальмових позиціях відповідно спускної частини і ППП, тис. грн;

$H_{\Gamma i(j)}^{XB}$ ,  $z_{\Gamma i(j)}$  – відповідно величина, кДж/кН, і ступінь гальмування ХБ на вагонному уповільнювачі, що розташований на  $i(j)$ -й колійній дільниці;

$x_{i(j)}$  – кількість вагонних уповільнювачів на  $i(j)$ -й колійній дільниці,  $x_{i(j)} \in \{0,1\}$ ,  $i(j) \in I^j$ ,  $I^j \subset I$ ;

$N_{yn}^{нгп}$  – кількість вагонних уповільнювачів на ППП  $j$ -ї сортувальної колії,

$$N_{yn}^{нгп} = \left[ \frac{1}{h_{yn}^{ном}} \left( \frac{V_{вихнгп}^{XB}{}^2 - V_{вхнгп}^{XB}{}^2}{2 \cdot g'_{XB}} + l_{нгп} \cdot \left( i_{нгп} - \omega_o^{XB} - \omega_{кр}^{XB} - \omega_{св}^{XB} - \omega_{сн}^{XB} \right) \cdot 10^{-3} \right) \right], \quad (2)$$

де  $h_{yn}^{ном}$  – номінальна потужність уповільнювачів ППП, кДж/кН;

$V_{вхнгп}^{XB}$  – найбільша швидкість входу ХБ на ППП  $j$ -ї сортувальної колії, м/с.  $V_{вхнгп}^{XB}$  є функцією  $V_{\beta}(t)$ ,  $\beta(t)$ ,  $H_{\Gamma i(j)}^{XB} \left( z_{\Gamma i(j)}(x_{i(j)}) \right)$ , де  $i(j) \in I^j$ ,  $I^j \subset I$ ;

$V_{вихнгп}^{XB}$  – швидкість виходу ХБ з ППП,  $V_{вихнгп}^{XB} = 1,4$  м/с;

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

$l_{нгп}$  – довжина дільниці ППП, у межах якої здійснюється регулювання, м;

$i_{нгп}$  – крутість уклону ППП, ‰;

$\omega_o^{XB}$  – основний питомий опір ХБ, Н/кН;

$\omega_{кр}^{XB}, \omega_{св}^{XB}, \omega_{сн}^{XB}$  – середні значення додаткового питомого опору ХБ відповідно від кривих, середовища і вітру, снігу та інею в межах дільниці ПП, Н/кН.

Задача визначення потрібної кількості вагонних уповільнювачів на ГП СГ та раціонального варіанта їх розташування в межах спускної частини для заданої конструкції гіркової горловини розв'язується при таких обмеженнях-нерівностях:

$$\left\{ \begin{array}{l} P(V_{\text{вх } \kappa\partial 2}^{XB}(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}(x_{i(\kappa\partial 2)}))) \leq V_{\text{max}}) \geq a_v; \\ \dots\dots\dots \\ P(V_{\text{вх } \kappa\partial n}^{XB}(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)}))) \leq V_{\text{max}}) \geq a_v; \\ P(\delta_{PB-XB}^{*s1}(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB}(z_{\Gamma i(s1)}(x_{i(s1)}))) \geq 0) \geq a; \\ P(\delta_{XB-PB}^{*s1}(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB}(z_{\Gamma i(s1)}(x_{i(s1)}))) \geq 0) \geq a; \\ \dots\dots\dots \\ P(\delta_{PB-XB}^{*sk}(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB}(z_{\Gamma i(sk)}(x_{i(sk)}))) \geq 0) \geq a; \\ P(\delta_{XB-PB}^{*sk}(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB}(z_{\Gamma i(sk)}(x_{i(sk)}))) \geq 0) \geq a; \\ P(\delta_{PB-XB}^{*\kappa\partial 2}(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}(x_{i(\kappa\partial 2)}))) \geq 0) \geq a; \\ P(\delta_{XB-PB}^{*\kappa\partial 2}(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}(x_{i(\kappa\partial 2)}))) \geq 0) \geq a; \\ \dots\dots\dots \\ P(\delta_{PB-XB}^{*\kappa\partial n}(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)}))) \geq 0) \geq a; \\ P(\delta_{XB-PB}^{*\kappa\partial n}(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)}))) \geq 0) \geq a; \\ F(V\vartheta) = \frac{1}{\sigma(V\vartheta) \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{V\vartheta} \exp\left(\frac{-(V\vartheta - M(V\vartheta))^2}{2 \cdot (\sigma(V\vartheta))^2}\right) dV\vartheta; \\ 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, \end{array} \right. \quad (3)$$

де  $V_{\text{вх } \kappa\partial 2}^{XB}(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}(x_{i(\kappa\partial 2)})))$ , ...,  $V_{\text{вх } \kappa\partial n}^{XB}(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)})))$  – швидкість входу ХБ, м/с, відповідно на колійну дільницю 2, ..., n,  $i(\kappa\partial 2) \in I^{\kappa\partial 2}$ , ...,  $i(\kappa\partial n) \in I^{\kappa\partial n}$ ;

$a_v$  – задана імовірність виконання умови входу ХБ на колійні дільниці гірки зі швидкістю, що не перевищує  $V_{\text{max}}$ ;

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

$$\delta_{PB-XB}^{*s1}(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB}(z_{\Gamma i(s1)}(x_{i(s1)}))), \delta_{XB-PB}^{*s1}(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB}(z_{\Gamma i(s1)}(x_{i(s1)}))), \dots, \\ \delta_{PB-XB}^{*sk}(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB}(z_{\Gamma i(sk)}(x_{i(sk)}))), \delta_{XB-PB}^{*sk}(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB}(z_{\Gamma i(sk)}(x_{i(sk)}))), \\ \delta_{PB-XB}^{*\kappa\partial 2}(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}(x_{i(\kappa\partial 2)}))), \delta_{XB-PB}^{*\kappa\partial 2}(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}(x_{i(\kappa\partial 2)}))), \dots,$$

$$\delta_{PB-XB}^{*\kappa\partial n} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB} (z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)}))) - \delta_{XB-PB}^{*\kappa\partial n} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB} (z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)}))) -$$

випадкове значення інтервалу відповідно на стрілочному переводі 1, ..., k і колійній дільниці 2, ..., n при скочуванні розрахункових бігунів у розрахункових сполученнях РБ-ХБ і ХБ-РБ, с, де РБ – розрахунковий бігун.

Задача, що розглядається, є задачею стохастичного цілочисельного програмування з нелінійною цільовою функцією і нелінійними

обмеженнями-нерівностями. Перетворимо вихідну імовірнісну задачу в еквівалентну детерміновану задачу при  $a=a_v=0,95$ :

$$K(x) = K_{yn}^{cy} \cdot \sum_{i \in I} x_i + K_{yn}^{ck} \cdot \sum_{\substack{j \in J, \\ i(j) \in I^j}} N_{yn}^{nzn} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(j)}^{XB} (z_{\Gamma i(j)}(x_{i(j)}))) \rightarrow \min, \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M(V_{\text{вх} \kappa\partial 2}^{XB} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}^{XB} (z_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}(x_{i(\kappa\partial 2)})))) + 1,645 \cdot \sqrt{D(V_{\text{вх} \kappa\partial 2}^{XB} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}^{XB} (z_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}(x_{i(\kappa\partial 2)}))))} \leq V_{\max}; \\ \dots \\ M(V_{\text{вх} \kappa\partial n}^{XB} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB} (z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)})))) + 1,645 \cdot \sqrt{D(V_{\text{вх} \kappa\partial n}^{XB} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB} (z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)}))))} \leq V_{\max}; \\ M(\delta_{PB-XB}^{*s1} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB} (z_{\Gamma i(s1)}(x_{i(s1)})))) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB}^{*s1} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB} (z_{\Gamma i(s1)}(x_{i(s1)}))))} \geq 0; \\ M(\delta_{XB-PB}^{*s1} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB} (z_{\Gamma i(s1)}(x_{i(s1)})))) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB}^{*s1} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB} (z_{\Gamma i(s1)}(x_{i(s1)}))))} \geq 0; \\ \dots \\ M(\delta_{PB-XB}^{*sk} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB} (z_{\Gamma i(sk)}(x_{i(sk)})))) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB}^{*sk} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB} (z_{\Gamma i(sk)}(x_{i(sk)}))))} \geq 0; \\ M(\delta_{XB-PB}^{*sk} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB} (z_{\Gamma i(sk)}(x_{i(sk)})))) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB}^{*sk} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB} (z_{\Gamma i(sk)}(x_{i(sk)}))))} \geq 0; \\ M(\delta_{PB-XB}^{*\kappa\partial 2} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}^{XB} (z_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}(x_{i(\kappa\partial 2)})))) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB}^{*\kappa\partial 2} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}^{XB} (z_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}(x_{i(\kappa\partial 2)}))))} \geq 0; \\ M(\delta_{XB-PB}^{*\kappa\partial 2} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}^{XB} (z_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}(x_{i(\kappa\partial 2)})))) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB}^{*\kappa\partial 2} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}^{XB} (z_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}(x_{i(\kappa\partial 2)}))))} \geq 0; \\ \dots \\ M(\delta_{PB-XB}^{*\kappa\partial n} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB} (z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)})))) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB}^{*\kappa\partial n} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB} (z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)}))))} \geq 0; \\ M(\delta_{XB-PB}^{*\kappa\partial n} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB} (z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)})))) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB}^{*\kappa\partial n} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB} (z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)}))))} \geq 0. \end{array} \right. \quad (5)$$

Повною множиною варіантів розв'язання даної комбінаторної задачі є підмножина фазового простору  $\Omega \quad Y = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ , де  $X_1, X_2, \dots, X_n$  – множина значень відповідно незалежної змінної  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Враховуючи те, що  $X_i = \{0, 1\}$ , де  $i = \overline{1, n}$ , вказана множина варіантів складається з  $2^n$  різних двійкових комбінацій  $n$ -го розряду від  $(0, 0, \dots, 0)$  до  $(1, 1, \dots, 1)$  включно [6].

Оскільки кількість варіантів розв'язання для будь-якої з горловин достатньо велика,

доцільно дану задачу розбити на окремі задачі, що орієнтовані на визначення потрібної кількості вагонних уповільнювачів на ГП СГ та раціонального варіанта їх розташування в межах спускної частини при скочуванні розрахункових бігунів на групу сортувальних колій (пучок або декілька пучків).

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Запропонована математична модель визначення потрібної кількості вагонних уповільнювачів на гальмових позиціях сортувальної гірки та раціонального варіанта їх розташування в

межах спускної частини дозволяє отримати одну або декілька альтернативних схем розміщення малопотужних уповільнювачів на

полігоні. Це надає можливість більш об'єктивно оцінювати ефективність застосування структур гіркових горловин нового класу.

### *Список використаних джерел*

1. Огар, О.М. Напрямки удосконалення конструкцій гіркових горловин сортувальних пристроїв з позиції ресурсозбереження [Текст] / О.М. Огар, О.В. Розсоха // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 5/2 (29). – С. 54-58.
2. Бобровский, В.И. Совершенствование конструкции и технологии работы сортировочных комплексов железнодорожных станций [Текст]: монография / В.И. Бобровский, Д.Н. Козаченко, А.И. Колесник [и др.]. – Днепропетровск: Изд-во Маковецкий, 2012. – 236 с.
3. Бобровский, В.И. Оптимизация параметров элементов плана сортировочных путей [Текст] / В.И. Бобровский, А.И. Колесник, А.С. Дорош // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. – Вип. 38. – С. 35-40.
4. Бобровский, В.И. Совершенствование метода расчета параметров плана горочных горловин [Текст] / В.И. Бобровский, А.И. Колесник // Зб. наук. праць ДонІЗТ. Серія: «Автоматика, телемеханіка, зв'язок». – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – № 26. – С. 40-47.
5. Колесник, А.И. Определение рациональных углов поворота дополнительных кривых горочной горловины [Текст] / А.И. Колесник // Вісник Академії митної служби України. Серія: «Технічні науки». – 2011. – №1(45). – С. 48-56.
6. Литвиненко, А.Е. Метод направленного перебора в системах управления и диагностирования [Текст]: монография / А.Е. Литвиненко. – К., 2007. – 328 с.

---

Огар Олександр Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри залізничних станцій та вузлів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: ogar-07@yandex.ru.

Ogar Alexander, doct. of techn. sciences, Ukrainian state academy of railway transport chair "Railway stations and junctions" professor. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: ogar-07@yandex.ru