

УДК 656.212.5(23.01):004.942

В. І. БОБРОВСЬКИЙ

А. С. ДОРОШ

Є. Б. ДЕМЧЕНКО

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РОЗПУСКУ СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ

Авторами розроблено програмний комплекс, який дозволяє моделювати процес розпуску составів на автоматизованій сортувальній гірці. Моделювання процесу скочування відчепів составу, що розформовується, у вказаній моделі виконується за рахунок взаємодії двох автономних модулів: модуля розпуску і модуля керування.

Розроблена імітаційна модель дає можливість вирішення широкого кола задач дослідження та оцінки ефективності заходів, спрямованих на підвищення якості інтервального та прицільного регулювання швидкості скочування відчепів, скорочення витрат енергоресурсів при розпуску составів на автоматизованих сортувальних гірках.

Ключові слова: сортувальна станція, сортувальна гірка, розформування составів, імітаційна модель, режим гальмування

Вступ

Сортувальні гірки є основним технічним засобом за допомогою якого виконується розформування-формування составів вантажних поїздів. Основним інструментом оцінки якості конструкції сортувальних пристроїв та теоретичних досліджень сортувального процесу з метою отримання показників якості роботи сортувальної гірки є імітаційне моделювання її функціонування [1-3].

Мета та задачі дослідження

Для вирішення вказаних задач необхідно розробити імітаційну модель розпуску составів, яка повинна детально імітувати процес керованого скочування відчепів составу, а також реалізацію основних функцій з керування маршрутами скочування відчепів та уповільнювачами гальмових позицій для забезпечення розділення відчепів.

Основна частина

В розробленій авторами імітаційній моделі моделювання процесу скочування відчепа з сортувальної гірки виконується шляхом взаємодії двох відокремлених модулів: модулю розпуску, що імітує рух відчепа на спускній частині гірки на кожному кроці Δt та модулю керування. Модуль керування перетворює вхідні сигнали від блоку імітації розпуску по встановленому алгоритму і подає відповідні команди на виконавчі органи (уповільнювачі, гірковий локомотив). Слід зауважити, що така організація імітаційної моделі забезпечує незалежність модулю розпуску та модулю керування, що дозволяє виконувати дослідження різних автоматизованих систем та алгоритмів керування, не змінюючи при цьому модуль розпуску.

Модель сортувальної гірки. Модель сортувальної гірки відображає її конструкцію і служить інформаційною базою для побудови функціональної моделі, що забезпечує кероване скочування відчепів на колії сортувального парку. Модель включає дані про конструкцію плану гіркової горловини, а також про пристрої керування процесом скочування відчепів (стрілочні переводи, уповільнювачі гальмових позицій, пристрої збору інформації про параметри відчепів та про умови розпуску. Вказана модель дозволяє імітувати роботу уповільнювачів разом із системою керування, переведення розділових стрілок, роботу рейкових кіл, контролювати нагін відчепів, їх зіткнення та проштовхування на сортувальних коліях. Модель

гірки складається з трьох блоків: план, поздовжній профіль, уповільнювачі та гальмові позиції.

План колійного розвитку сортувальної гірки. Модель плану гіркової горловини сортувального парку [4] побудована на базі орієнтованого бінарного дерева $D=(V,E)$, де V – множина вершин, E – множина дуг. При цьому вершинам V відповідають розділові стрілки, а дугам – ділянки між ними. Множина дуг дерева E розділена на дві підмножини: ділянки E^S на спускній частині гірки та сортувальні колії E^W .

В свою чергу, кожна дуга $e_i \in E$ ділиться на елементи довжиною l_i таким чином, щоб межами елементів були:

- вершина сортувальної гірки;
- початок і кінець рейкового кола (РК) розділових стрілок і уповільнювачів;
- початок і кінець робочих довжин уповільнювачів;
- початок і кінець елементів, що мають додатковий опір руху (стрілки, глухе перетинання, криві будь-якого радіусу);
- початок і кінець сортувальних колій;
- граничні стовпчики у вихідній горловині сортувального парку.

В моделі гірки кожен елемент плану представлено структурою:

$$\mathbf{h} = \{l, w, \theta, I_c, \mu\} \quad (1)$$

де l – довжина, м;

w – ідентифікатор опору руху;

θ – тип елемента;

I_c – індекс пристрою (розділової стрілки або уповільнювача) у списку керуючих елементів;

μ – показник розміщення останньої осі відчепа.

Дані в заголовку кожної дуги залежать від типу секції. Ділянка між двома суміжними стрілочними позиціями спускної частини гірки має наступну структуру заголовка:

$$\Pi = \{PN, SK, d, SQ\}$$

Для сортувальної колії

$$\Pi = \{PN, SK, d, WM, C\}$$

де P, S, W – ідентифікатори покажчиків, відповідно, стрілочної позиції, стрілочного перевodu та сортувальної колії;

N – номер стрілочної позиції, до якої належить даний стрілочний перевід;

K, Q – номери стрілочних переводів, що обмежують секцію;

d – положення стрілочного перевodu K , при якому подальший маршрут руху відчепа проходить через стрілку Q ;

W – номер сортувальної колії;

C – десятковий код сортувальної колії W .

В моделі гірки міститься інформація про кожну розділову стрілку, що використовується для контролю її поточного положення та імітації її переведення перед відчепом у разі необхідності.

Інформація про стрілочний перевід представлена структурою:

$$S = \{C, I_L, I_P, P_C, \sigma\},$$

де C – інформація про поточний стан РК стрілки;

I_L, I_P – індекси перших елементів відповідно лівої та правої секцій, суміжних з даною стрілкою, у загальному списку елементів плану гірки;

P_C – номер стрілочної позиції до якої відноситься стрілка;

σ – поточне положення стрілки ($\sigma = 0$ - вліво, $\sigma = 1$ - вправо).

Інформація про стан РК, у свою чергу, представлена структурою:

$$C = \{t, \tau, b\},$$

де t – момент зайняття РК;

τ – момент звільнення РК;

b – кількість відчепів, що перебувають на РК ($b=0, 1, 2$).

В кожний поточний момент часу змінні t і τ містять дані про останню подію, що відбулася на даному РК.

Номер стрілочної позиції P_c являє собою порядковий номер даної стрілки на шляху скочування відчепа ($P_c=1, 2, \dots$). Цей номер використовується для визначення необхідного положення стрілки в маршруті на задану колію.

Окремі розділові стрілки S_j включають до загального списку по стрілочних позиціях, починаючи з першої. Порядкові номери стрілок j у даному списку включають як індекси I_r у відповідні елементи $\mathbf{h}$ (1) плану гірки.

При моделюванні роботи стрілок враховується час реакції електричної схеми РК стрілок на зайняття ($t_{pz}=0,15$ с) і звільнення ($t_{pзв}=2,0$ с - з урахуванням уповільнення, що використовується для захисту від короткочасної втрати шунта) [5]. Зазначені величини також зберігаються в моделі гірки та використовуються для всіх стрілок гіркової горловини.

Дані про сортувальні колії необхідні для моделювання процесу їх заповнення вагонами під час розпуску составів. Інформація про кожну сортувальну колію представлена структурою

$$\mathbf{X} = \{C, S_{вих}''', L_{кор}, S_{прц}, m_{гр}, z\}$$

де C - код колії;

$S_{вих}'''$ – координата кінця паркової гальмової позиції;

$L_{кор}$ – корисна довжина колії;

$S_{прц}$ – координата точки прицілювання;

$m_{гр}$ – число вагонів у составі на дану колію;

z – номер останнього відчепа в составі, що направлено на дану колію.

З перерахованих параметрів тільки код колії C повинен бути заданий у вхідній інформації про гірку, інші дані заповнюються автоматично в процесі роботи програми.

Код кожної сортувальної колії C формується таким чином, щоб по ньому можна було визначити положення стрілок у маршруті на дану колію. Величини $S_{\text{вих}}'''$ та $L_{\text{кор}}$ визначаються автоматично за даними про тип елементів плану гірки, а координата $S_{\text{прц}}$ повинна бути задана у вихідних даних про відчеп.

Поздовжній профіль гірки. Для моделювання скочування відчепів необхідно доповнити інформацію про план колійного розвитку гірки інформацією про її поздовжній профіль. Для представлення поздовжнього профілю гірки використовується його апроксимація модифікованим кубічним сплайном [6].

Для більш точного моделювання процесу скочування відчепів поздовжній профіль сортувальної гірки в імітаційній моделі представлений сукупністю параметрів профілю маршруту скочування на кожну сортувальну колію:

$$\mathbf{P} = \{\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \dots, \mathbf{P}_n\}$$

де $\mathbf{P}_i$ – профіль маршруту скочування на i -ту колію сортувального парку;

n – кількість колій в сортувальному парку.

Слід відмітити, що при визначенні ухилів колій в межах стрілочної зони враховувався пилоподібний поперечний профіль земляного полотна сортувального парку. Профіль i -ї сортувальної колії в моделі гірки представлено наступною структурою:

$$\mathbf{P} = \{W_k, S_j, C_{2,j}, C_{3,j}, C_{4,j}\}, j = 1, \dots, n_{\text{діл}} + 1$$

де W_k – ідентифікатор k -ї колії сортувального парку;

S_j – координати вузлів сплайна;

$C_{2,j}, C_{3,j}, C_{4,j}$ – коефіцієнти сплайна;

$n_{\text{діл}}$ – число ділянок на колії скочування.

В процесі моделювання скочування відчепа вибір даних про поздовжній профіль маршруту руху здійснюється за номером колії призначення відчепа k .

Уповільнювачі та гальмові позиції. Керування швидкістю скочування відчепа на колію призначення сортувального парку здійснюється шляхом його гальмування в межах гальмових позицій, обладнаних вагонними уповільнювачами. В імітаційній моделі передбачена можливість керування кожним окремим уповільнювачем гальмової позиції (спускна частина гірки), або керування групою уповільнювачів (паркові гальмові позиції).

Інформація про уповільнювачі необхідна для розрахунку їх питомого гальмівного опору w_{Γ} , а також для моделювання управління гальмуванням. Дані про уповільнювачі гальмових позицій сортувального парку представлені наступною структурою:

$$\mathbf{R} = \{\Pi_{\Gamma}, Pos, M[w_{\Gamma}], \sigma_w, \Delta t_3, \Delta t_p\},$$

де Π_{Γ} – номер гальмової позиції, до якої відноситься уповільнювач;

Pos – ознака розміщення уповільнювача в гальмовій позиції (1 – вихідний уповільнювач, 0 – інші);

$M[w_{\Gamma}], \sigma_w$ – математичне очікування та середньоквадратичне відхилення питомого гальмівного опору уповільнювача відповідно. Згідно [7] для уповільнювачів типу КНП-5 $\sigma_w = 14,5 \text{ м.ен.в.}$, а для уповільнювачів типу РНЗ $\sigma_w = 40,0 \text{ м.ен.в.}$

$\Delta t_3, \Delta t_p$ – тривалість спрацювання уповільнювача при його загальмуванні та розгальмуванні відповідно [8].

Дані про гальмові позиції та уповільнювачі в імітаційній моделі пред-

ставлені окремим файлом, що дозволяє змінювати тип і кількість уповільнювачів, варіювати їх параметри, що, в свою чергу, дає можливість виконати дослідження впливу характеристик уповільнювачів на процес регулювання швидкості скочування відчепа.

Модель відчепа, що скочується з сортувальної гірки. Модель окремого відчепа, що скочується з гірки, містить сукупність параметрів, необхідних для імітації регульованого скочування при прийнятому способі моделювання руху відчепа та моделі сортувальної гірки. В основу моделювання скочування покладена вагонно-осьова модель відчепа [9], яка може бути представлений наступною структурою:

$$\mathbf{C} = \{\mathbf{X}, \mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{W}, \mathbf{\Pi}\}$$

де $\mathbf{X}$ – вектор параметрів відчепа;

$\mathbf{A}$ – осьова модель;

$\mathbf{B}$ – дані про вагони;

$\mathbf{W}$ – вектор параметрів для розрахунку питомих опорів руху;

$\mathbf{\Pi}$ – вектор параметрів стану відчепа.

Сукупність параметрів $\mathbf{X}$ представлено структурою:

$$\mathbf{X} = \{m, v, Q, l, \lambda, g'\}$$

де m – кількість вагонів;

v – число осей;

Q – вага, т;

l – довжина, м;

λ – передній виліт автозчепки першого вагона відчепа, м;

g' – прискорення сили тяжіння з урахуванням інерції осей, що обертаються.

Осьова модель $\mathbf{A}$ призначена для характеристики положення кожної осі відчепа на спускній частині гірки.

Інформація про вагони відчепа $\mathbf{B}_j$ необхідна для розрахунку сил, що діють на відчеп

$$\mathbf{B}_j = \{Q_{Bj}, \gamma_j, v_{Bj}, \rho_j\}, j = 1, \dots, m,$$

де Q_{Bj} – вага, т;

γ_j – тип вагона;

v_{Bj} – число осей;

ρ_j – тип підшипників.

Дані для розрахунку питомих опорів руху відчепа представлені структурою

$$\mathbf{W} = \{w_0, K_{CK}, \xi, w_T\},$$

де w_0 – основний питомий опір руху відчепа;

K_{CK} – коефіцієнт, що використовується для розрахунку опору від стрілок і кривих та визначається на кожному кроці переміщення відчепа;

ξ – параметри, необхідні для розрахунку опору середовища й вітру;

w_T – питомий гальмівний опір від уповільнювачів.

Поточний стан відчепа, що скочується, характеризує структура $\mathbf{ш}$:

$$\mathbf{ш} = \{s, v, t, I_j, W, y, \sigma_{\text{від}}, N_{\text{поп.від}}, \mathbf{D}_{\text{вх}}, \mathbf{D}_{\text{вих}}\},$$

де s – координата першої осі, м;

v – швидкість, м/с;

t – час від моменту відриву, с;

I_j – номер ділянки сплайна, на якому знаходиться перша вісь відчепа;

W – порядковий номер колії призначення;

y – код ділянки розташування відчепа;

$\sigma_{\text{від}}$ – код стану відчепа;

$N_{\text{поп.від}}$ – номер попереднього відчепа, що слідує на ту ж колію призначення;

$D_{\text{вх}}, D_{\text{вих}}$ – дані, відповідно про зайняття й звільнення РК керуючих елементів (стрілок, уповільнювачів).

Код ділянки розташування відчепа у може приймати наступні значення: $y = 1$ - колія насуву; $y = 2$ - спускна частина; $y = 3$ - сортувальна колія. В залежності від значення у обирається алгоритм фіксації положення відчепа в моделі гірки та алгоритм контролю дистанції між суміжними відчепами.

Код $\sigma_{\text{від}}$ характеризує поточний стан відчепа і може приймати значення $\sigma_{\text{від}} \in [1, 6]$ (1-перебуває в составі, 2-скочується, 3-зупинився на даному кроці, 4-зупинився на попередніх кроках, 5-досяг точки прицілювання, 6-об'єднаний з попереднім відчепом у результаті нагону).

Моделювання процесу скочування відчепів на сортувальній гірці.
Головною метою моделювання скочування відчепа є визначення його параметрів s, v, t на кроці Δt , а також визначення моментів подій, які можуть відбутися на даному кроці (зайняття та звільнення РК, нагін, зіткнення та ін.).

Переміщення відчепа на кроці Δt описується диференціальним рівнянням другого порядку виду [10]:

$$S'' = \frac{d^2 S}{dt^2} = g'(i - w_0 - w_{\text{ск}} - w_{\text{св}} - w_{\text{Г}}) \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

при початкових умовах $S(T_j) = S_j$ й $S'(T_j) = V_j$,

де g' – прискорення вільного падіння з урахуванням інерції частин вагона, що обертаються, м/с^2 ;

i – ухил ділянки профілю сортувальної гірки;

w_0 – основний питомий опір руху відчепа, кгс/тс ;

$w_{\text{ск}}$ – додатковий питомий опір руху, що виникає при проходженні стрілок і кривих, кгс/тс ;

$w_{\text{св}}$ – додатковий питомий опір руху від навколишнього середовища, кгс/тс;

$w_{\text{г}}$ – додатковий питомий опір руху, що виникає при гальмуванні відчепа в уповільнювачі, кгс/тс.

Для вирішення рівняння (2) використовується метод Рунге-Кутта четвертого порядку [10], що дозволяє знайти значення координати відчепа S_{j+1} і його швидкості V_{j+1} у момент $T_{j+1} = T_j + \Delta t$.

Слід відмітити, що для забезпечення безперервної дії сил на відчеп, що скочується, при інтегруванні постійний інтервал Δt може коригуватись. Така необхідність може виникати, коли відчеп проходить через контрольні точки плану гірки (стрілки, уповільнювачі та ін.), при цьому відстань, яку проходить відчеп за час Δt ділиться на k шагів $\Delta S(\Delta t) = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots + \Delta S_k$. На кроках $\Delta S_1, \dots, \Delta S_k$ переміщення відчепа моделюється за допомогою диференційного рівняння, в якому незалежною змінною є відстань.

Миттєве значення ухилу, яким рухається центр тяжіння відчепа, коли його перша вісь знаходиться в точці S визначається як

$$i(S) = \frac{1}{Q} \sum_{j=1}^m \left(\frac{Q_{\text{В}j}}{v_{\text{В}j}} \sum_{k \in v_{\text{В}j}} (S - e_k) \right),$$

де Q – маса відчепа;

$Q_{\text{В}j}, v_{\text{В}j}$ – відповідно, маса та кількість осей j -го вагона відчепа;

S – координата першої осі відчепа;

e_k – відстань до першої осі відчепа.

При скочуванні відчепа від вершини гірки до точки прицілювання на колії сортувального парку на нього діють сили опору (2), які мають випадковий характер, а саме основний опір, опір стрілок та кривих, а також опір середовища і вітру.

При імітаційному моделюванні процесу розформування составів окреме випадкове значення основного питомого опору руху одиночного вагона визначається за формулою [11]

$$w_0 = -\frac{1}{b} \ln \left(\prod_{i=1}^a R_i \right),$$

де a, b – параметри гамма-функції розподілення випадкової величини, що залежать від вагової категорії відчепа;

R_i – випадкові числа, що рівномірно розподілені в інтервалі $(0; 1)$.

Опір від стрілочних переводів та кривих, що виникає через тертя коліс о рейки при вписуванні в криві, удари о гостряки та в хрестовинах стрілочних переводів і визначається за формулою

$$w_{CK} = K_{CK} v^2,$$

де K_{CK} – середньозважений коефіцієнт опору від стрілок і кривих.

Величина K_{CK} визначається на кожному кроці переміщення відчепа як середнє значення для всіх його осей. Для розрахунку K_{CK} в моделі гірки міститься інформація про розміщення та параметри стрілочних переводів, а також про криві на насувній та спускній частині гірки і на сортувальних коліях.

Миттєве значення питомого опору від середовища та вітру в моделі визначається за формулою [11]

$$w_{CB} = K_{CB} v_{Від}^2,$$

де $v_{Від}$ – відносна швидкість відчепа з урахуванням напрямку вітру, м/с;

K_{CB} – приведений коефіцієнт повітряного опору, що залежить від параметрів вагонів відчепа, а також від температури навколишнього середовища.

Модуль керування роботою уповільнювачів гальмових позицій. Ос-

новним виконавчим органом регулювання швидкості скочування відчепа є уповільнювачі гальмових позицій гірки, керування роботою яких виконується відповідним автономним блоком, що безпосередньо взаємодіє з модулем керування розпуском. Задачею такого блоку є реалізація заданої швидкості виходу відчепа з гальмових позицій гірки незалежно від прийнятого алгоритму регулювання.

Керування роботою уповільнювачів гальмових позицій здійснюється на основі інформації, що надходить з модуля системи керування розпуском, і може бути представлена наступною структурою:

$$\mathbf{U} = \{U_{\text{ф}}, U_{\text{р}}, t_{\text{вх рк}}, t_{\text{вих рк}}, \psi_{\text{рк}}, N_{\text{п}}\},$$

де $U_{\text{ф}}$ – фактична швидкість руху відчепа;

$U_{\text{р}}$ – розрахункова швидкість виходу відчепа з гальмової позиції;

$t_{\text{вх рк}}, t_{\text{вих рк}}$ – відповідно, моменти зайняття та звільнення рейкового кола уповільнювача відчепом;

$\psi_{\text{рк}}$ – стан рейкового кола уповільнювача (1 - вільне, 0 - зайняте).

$N_{\text{п}}$ – момент чергової зміни гальмівного опору $W_{\text{Г}}$ (початок або кінець гальмування);

Імітація роботи модуля керування уповільнювачами гальмових позицій здійснюється за допомогою керуючих параметрів, які представлені наступною структурою

$$\mathbf{D} = \{\delta V_{\text{вгп}}, \delta V_{\text{сгп}}, L_{\text{Г min}}, dV\},$$

де $\delta V_{\text{вгп}}, \delta V_{\text{сгп}}$ – упередження, що враховує інерційність уповільнювачів ВГП та СГП відповідно;

$L_{\text{Г min}}$ – мінімальна довжина ефективної зони гальмування;

dV – обмеження, що характеризує допустиме перевищення фактичної швидкості відчепа над заданою швидкістю виходу з ГП.

Вказані параметри керування уповільнювачами задаються до початку

скочування окремого відчепа. Таким чином, на основі отриманої інформації модуль керування уповільнювачами гальмових позицій формує відповідні керуючі команди при проходженні відчепом зони гальмової позиції. При цьому, в процесі формування команд керування використовуються дані про уповільнювачі, що були описані раніше.

Висновки

Таким чином запропонований принцип побудови структурно-параметричної моделі дозволяє достатньо повно представити план та поздовжній профіль колійного розвитку гіркової горловини і використовувати його при моделюванні процесу розпуску составів. Розроблена імітаційна модель може бути використана при вирішенні широкого кола задач дослідження та оцінки процесу розформування составів на сортувальних гірках.

Список літератури:

1. Prokop, J. Simulation of Hump Performance in Railroad Classification Yard [Текст] / J. Prokop, Sh. Myojin // Memoirs of the Faculty of Engineering, Okayama University. – 1993. – Vo1. 27. – No. 2. – P. 59-71.
2. Kavicka, A. Simulation model of marshalling yard Linz Vbf (Austria) [Текст] / A. Kavicka, V. Klima, A. Niederkofler, M. Zatko // Proceedings of The international workshop on Harbour, Maritime & Logistics Modelling and Simulation. – Genoa: SCS, 1999. – P. 317-320.
3. Bobrovskiy V. I. Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automata [Текст] / V. I. Bobrovskiy, D. N. Kozachenko, R. V. Vernigora // Transport Problems. – Gliwice, 2014. – Vol. 9. – Issue 3. – P. 57-65.
4. Козаченко, Д. М. Модель колійного розвитку для імітаційного моделювання гіркових процесів [Текст] / Д. М. Козаченко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені ака-

деміка В. Лазаряна. – Вип. 29 – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. унт-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – С. 53-57

5. Сагайтис, В. С. Устройства механизированных и автоматизированных сортировочных горок: Справочник. / В. С. Сагайтис, В. Н. Соколов. – М.: Транспорт, 1988. – 208 с.

6. Бобровский, В. И. Представление продольного профиля сортировочных горок в АСУ расформированием составов [Текст] / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1996. – № 1,2. – С. 19-25.

7. Бледный, А. М. Технично-експлуатаційні характеристики клеще-видно-підйомного вагонного замедлителя типа КНП [Текст] / А. М. Бледный, Н. П. Божко, А. А. Егоров, Ю. А. Муха, В. З. Яневич // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях : Межвуз. сб. науч. тр. / – Днепропетровск: ДИИТ, 1981. – Вып. 216/14. – С. 3-15.

8. Божко, Н. П. Динамические тормозные характеристики весовых и нажимных вагонных замедлителей [Текст] / Н. П. Божко // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 197/12. – Днепропетровск: ДИИТ, 1978. – С. 87-100.

9. Козаченко, Д. М. Моделювання скочування відчепа як динамічної системи взаємопов'язаних вагонів [Текст] / Д. М. Козаченко // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту української державної академії залізничного транспорту. – Вип. 20 – Вид-во ДонІЗТ. – 2009. – С. 5-15.

10. Бобровский, В. И. Дифференциальные уравнения движения отцепа и методы их решения [Текст] / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1996. – №6. – С. 34-39.

11. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207–89. – М.: Транспорт. – 1992. –

Bibliography (transliterated):

1. Prokop, J., Myojin, Sh. (1993) Simulation of Hump Performance in Railroad Classification Yard. *Memoirs of the Faculty of Engineering, Okayama University*, vol. 27, no. 2, pp. 59-71.
2. Kavicka, A., Klima V., Niederkofler A., Zatko, M.: Simulation model of marshalling yard Linz Vbf (Austria) (1999) *Proceedings of The international workshop on Harbour, Maritime & Logistics Modelling and Simulation*, SCS, Genoa, Italy, pp. 317-320
3. Bobrovskiy, V. I., Kozachenko, D. N., Vernigora, R. V. (2014) Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automata. *Transport Problems*. Gliwice,. vol. 9, issue 3, pp. 57-65.
4. Kozachenko, D. (2009). Model koliinoho rozvytku dlia imitatsiinoho modeliuvannia hirkovykh protsesiv. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana*, issue 29, pp. 53-57.
5. Sagaytis V. S., Sokolov V. N. Ustroystva mekhanizirovannykh i avtomatizirovannykh sortirovochnykh gorok: Spravochnik (1988). Moscow, Transport Publ., 208 p.
6. Bobrovskiy, V. (1996). Predstavlenie prodolnogo profilya sortirovochnykh gorok v ASU rasformirovaniem sostavov. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy na zheleznodorozhnom transporte*, no 1,2, pp. 19-25.
7. Blednyy, A., Bozhko, N., Yegorov, A., Mukha, Y., & Yanevich, V. (1981). Tekhniko-ekspluatatsionnye kharakteristiki kleshchevidno-podemnogo vagonnogo zamedlitelya tipa KNP. *Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya sortirovochnogo protsessa na stantsiyakh : mezhvuz. sb. nauchn. tr.*, issue 216/14, pp. 3-15.

8. Bozhko, N. (1978). Dinamicheskie tormoznye kharakteristiki vesovykh i nazhimnykh vagonnykh zamedliteley. *Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya sortirovochnogo protsessa na stantsiyakh: mezhvuz. sb. nauchn. tr.*, issue 197/12, pp. 87-100.

9. Kozachenko, D. (2009). Modeliuvannia skochuvannia vidchepa yak dynamichnoi systemy vzaiemopoviazanykh vahoniv. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu*, issue 20, pp. 5-15.

10. Bobrovskiy, V. (1996). Differentsialnye uravneniya dvizheniya ottsepa i metody ikh resheniya. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy na zheleznodorozhnom transporte*, no. 6, pp. 34-39.

11. *Pravila i normy proektirovaniya sortirovochnykh ustroystv na zheleznykh dorogakh soyuza SSR. VSN 207 – 89 (1992)*, Moscow, Transport Publ., 104 p.

Надійшла (received) 17.11.2015

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РОСПУСКА СОСТАВОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ

Бобровский В. И., Дорош А. С., Демченко Е. Б.

Авторами разработан программный комплекс, который позволяет моделировать процесс роспуска составов на автоматизированной сортировочной горке. Моделирование процесса скатывания отцепов расформируемого состава в указанной модели выполняется за счет взаимодействия двух автономных модулей: модуля роспуска и модуля управления.

Разработанная имитационная модель дает возможность решения широкого круга задач исследования и оценки эффективности мероприятий,

направленных на повышение качества интервального и прицельного регулирования скорости скатывания отцепов, сокращение затрат энергоресурсов при роспуске составов на автоматизированных сортировочных горках.

Ключевые слова: сортировочная станция, сортировочная горка, расформирование составов, имитационная модель, режим торможения

Simulation Model of the Trains Breaking-Up Process at the Humps

Bobrovskiy V., Dorosh A., Demchenko E.

The authors have developed a software complex, which allows to simulate the train breaking-up process at the automated hump. Simulation of cuts rolling process of breaking train in the model is carried out by the interaction of two independent modules: breaking module and control module. The hump model contains information about the plan, longitudinal profile, separating switches, retarders and sorting tracks, which allow to simulate the train movement and cuts rolling down. The developed software complex also allows to simulate the retardation position functioning, separating switches operation, track circuits functioning, controlling the cut overtaking, their colliding and pushing on sorting tracks. Retarders' parameters of braking positions are presented a part in the simulation model structure. It allows to investigate their effect on the sorting process.

The developed simulation model makes it possible to solve a wide range of problems of research and measures effectiveness evaluating, which are aimed at the quality improving of cut interval and target speed control, reducing the energy consumptions during the train breaking-up process at the automated humps.

Keywords: marshalling yard, gravity hump, breaking-up of trains, simulation model, braking mode

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бобровський Володимир Ілліч – доктор технічних наук, професор, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, професор кафедри «Станції та вузли»; тел.: +38(068)444-63-95; e-mail: bvi1973@yandex.ua.

Дорош Андрій Сергійович – асистент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, асистент кафедри «Станції та вузли»; тел.: +38(066)927-84-62; e-mail: dorosh_as@mail.ru.

Демченко Євген Борисович – асистент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, асистент кафедри «Станції та вузли»; тел.: +38(097)799-16-75; e-mail: eu-gene_demchenko@mail.ru.