

В. В. ЖУРАВЕЛЬ, І. Л. ЖУРАВЕЛЬ (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПУСКУ СОСТАВІВ ЗА НАЯВНОСТІ ВАГОНІВ, ЯКІ ЗАБОРОНЕНО СПУСКАТИ З ГІРКИ

Формалізовано процес направлення на сортувальну колію відчепа з вагонами, які заборонено спускати з гірки без локомотива, що дозволяє підвищити якість імітаційного моделювання розпуску составів.

Ключові слова: розформування, гірка, модель, осаджування, відцеп, огороження

Формализован процесс направлення на сортировочный путь отцепа с вагонами, запрещенными к спуску с горки без локомотива, что позволяет повысить качество имитационного моделирования роспуска составов.

Ключевые слова: расформирование, горка, модель, осаживание, отцеп, ограждение

A process is formalized of direction on the sorting path of cut with the carriages, which are forbidden to down from hump without locomotive, that allows to promote quality of imitation design of dismissal of train.

Keywords: disbandment, hump, model, reining in, cut, fence

Для забезпечення процесу розформування-формування составів залізничні станції мають відповідні технічні засоби: сортувальні пристрої, пристрої регулювання швидкості скочування відцепів, системи управління процесом розпуску составів, маневрові локомотиви. Вагонопотік, що підлягає переробці, відрізняється ваговою категорією вагонів, їх типом, кількістю вагонів у відцепі, потужністю окремого призначення плану формування поїздів тощо. При цьому, деякі вагони, наприклад [1] з вибуховими матеріалами, зрідженими газами, вантажами бокової та нижньої негабаритності 4...6 ступенів, заборонено спускати з гірки без локомотива. На залізницях Російської Федерації [2] частка небезпечних вантажів складає понад 25 % загального обсягу вантажів, що відправляються. Під час перевезення багатьох таких вантажів на перевізних документах ставиться штампель «З гірки не спускати».

Аналіз роботи сортувальних гірок показав, що вагони, які заборонено спускати з гірки, складають 14...29 % вагонопотоку, що підлягає розпуску. Наявність таких вагонів значною мірою впливає на процес розформування составів і його тривалість, що слід враховувати під час імітаційного моделювання. Маневри в цьому випадку виконуються тільки осаджуванням на колію підгіркового парку або «зйомом» локомотивом зі сторони парку. У разі наявності на насувній частині гірки спеціального тупика можливе осаджування вагонів у тупик з подальшим їх направленням на сортувальну колію після закінчення розпуску.

У роботі розглянуто варіант осаджування вагонів на колію підгіркового парку згідно з їх

призначенням.

Базова імітаційна модель процесу розформування составів на сортувальній гірці включає в себе:

1. Модель гірки [3], яка містить дані про план, поздовжній профіль, розділові стрілки, сповільнювачі та сортувальні колії, що дозволяють моделювати рух составу та відцепів, які скочуються, використовуючи чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь. Крім того, зазначена модель дозволяє імітувати роботу сповільнювачів, переведення розділових стрілок, роботу рейкових кіл, контролювати нагін відцепів, їх зіткнення та проштовхування на сортувальних коліях.

2. Модель составу [3], яка являє собою нерозтяжний, гнучкий стрижень з рівномірно розподіленою по довжині масою і включає параметри: маса, довжина, кількість відцепів, питомий основний опір руху. Зазначені величини визначаються за результатами моделювання відповідних параметрів відцепів составу. Параметри составу змінюються в процесі розпуску дискретно після відриву кожного з відцепів.

3. Модель параметрів потоку відцепів на основі заданих статистичних характеристик. Методика моделювання випадкових параметрів відцепів наведена в [4]. Основний питомий опір руху вагону [5] моделюється як випадкова величина, що має гама-розподіл з параметрами a і b , які залежать від вагової категорії вагону

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

де R_i – випадкові числа, що рівномірно розподілені в інтервалі $[0; 1]$.

Прямуювання відчепа на j -ту колію сортувального парку розглядається як одна з випадкових подій, що утворюють повну групу несумісних подій.

4. Модель відчепа, що побудована на основі осової моделі та являє собою сукупність даних, що необхідні для імітації регульованого скочування. Використано базову модель [3], яку частково змінено відповідно до вимог [5] і суттєво доповнено у роботі [6].

5. Модель заповнення сортувальних колій перед розпуском. У процесі моделювання составу ведеться облік розподілу вагонів по коліях сортувального парку. Ці дані використовуються під час моделювання довжини вільної частини колій перед розпуском згідно з методикою, яку наведено в [7].

6. Модель процесу розпуску составу [8], яка представляється послідовністю елементарних кроків Δt , на кожному з яких одночасно розглядається рух составу, що насувається, і усіх відчепів, які скочуються. Для синхронізації паралельних процесів у моделі введено системний час $T_{\text{сист}}$, який збільшується на Δt на початку кожного кроку. Для імітації переміщення составу та відчепів на кожному кроці Δt використовуються диференціальні рівняння руху.

7. Модель гальмування відчепів на гальмових позиціях [6]. У процесі розрахунку та реалізації швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій виникають помилки, які впливають на якість роботи гірки [9, 10]. Таким чином, фактична швидкість виходу i -го відчепа визначається як

$$v_i^{\phi} = v_i^{\text{н}} \pm \delta v_i,$$

де $v_i^{\text{н}}$ – необхідна швидкість виходу i -го відчепа з гальмової позиції за умови розмежування відчепів на розділових елементах спускної частини гірки або зіткнення відчепів на сортувальних коліях з допустимою швидкістю;

δv_i – випадкове значення похибки розрахунку та реалізації швидкості $v_i^{\text{н}}$.

Експериментальні дослідження на автоматизованих гірках [9] показали, що похибка δv_i розподілена за нормальним законом з параметром $M[\delta v_i] = 0$. Тоді

$$\delta v_i = M[\delta v_i] + z_i \sigma_v,$$

де $M[\delta v_i]$, σ_v – відповідно математичне очікування та середньоквадратичне відхилення випадкової величини похибки розрахунку та реалізації необхідної швидкості виходу, яку роз-

поділено за нормальним законом;

z_i – випадкова величина з нормальним законом розподілу, $M[Z] = 0$, $\sigma_z = 1$.

У випадку, якщо фактична швидкість відчепа у точці прицілювання виявиться меншою, ніж допустима (у т. ч. і у разі передчасної його зупинки), за необхідну швидкість виходу приймається швидкість у разі вільного скочування.

Вибір значення параметра σ_v дозволяє встановити необхідний рівень точності розрахунку та реалізації швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій.

В імітаційній моделі загальна енергія кожного відчепа, яка погашається на гальмових позиціях, визначається за умови забезпечення заданої швидкості в точці прицілювання. Значення швидкості виходу з паркової гальмової позиції визначається з урахуванням характеристик самого відчепа, дальності пробігу сортувальною колією та всіх інших факторів. У цих умовах отримані показники відображують потенційні (граничні) можливості прицілювання на відповідній гірці, які визначаються висотою гірки, наявністю стрілок і кривих, характеристиками вагонопотоку, потужністю гальмових засобів і метеорологічними даними.

Базову модель доповнено блоком імітації роботи з вагонами, які заборонено спускати з гірки без локомотива. В процесі моделювання виконуються наступні операції:

1. Визначення составів, у яких є вагони, що заборонено спускати з гірки без локомотива, як випадкової події з заданою ймовірністю P' :

$$s = 1 \text{ (є такі вагони), якщо } R_i < P',$$

$$s = 0 \text{ (відсутні такі вагони), якщо } R_i \geq P'.$$

Ймовірність P' можна отримати у результаті аналізу сортувальних листків.

2. Визначення вагонів, які заборонено спускати з гірки без локомотива (ознака $\gamma = 1$), як випадкової події з заданою ймовірністю P'' :

$$\gamma_k = 1, \text{ якщо } R_k < P'',$$

інакше $\gamma_k = 0$ (вагон дозволено спускати з гірки).

Ймовірність P'' можна отримати у результаті аналізу сортувальних листків.

На відміну від базової моделі дані про вагони відчепа Ω_k доповнено параметром γ і представлено структурою

$$\Omega_k = \{Q_{\text{в.к}}, \theta_k, o_k, q_k, \rho_k, \gamma_k\}, \quad k = 1, \dots, n$$

де $Q_{в.к}$ – вага вагону;

θ_k – тип вагону;

o_k – кількість осей;

q_k – навантаження на вісь;

ρ_k – тип підшипників;

n – кількість вагонів у відчепі.

На відміну від базової моделі вектор параметрів відчепа Y доповнено параметром γ' ($\gamma' = 1$, якщо для поодинокого відчепа або хоча б для одного вагону багатовагонного відчепа $\gamma_k = 1$, інакше $\gamma' = 0$) і представлено структурою

$$Y = \{n, c, Q, l_{в}, l_{а}, g', I_j, \gamma'\},$$

де n – кількість вагонів;

c – кількість осей;

Q – вага відчепа;

$l_{в}$ – довжина відчепа;

$l_{а}$ – передній виліт автотриволю;

g' – зведене прискорення вільного падіння

з урахуванням енергетичного впливу маси колісних пар, що обертаються;

I_j – порядковий номер колії призначення.

Для кожного головного відчепа складу, який знаходиться на насувній частині гірки, здійснюється перевірка умови $\gamma' = 1$. У випадку виконання даної умови процес розпуску припиняється і визначається тривалість виконання маневрових операцій з направлення вагонів на j -ту колію сортувального парку згідно з призначенням відчепа, яка додається до тривалості розпуску складу.

3. Визначення тривалості виконання операцій з направлення вагонів на відповідну колію.

Згідно з [1] вагони, що заборонено спускати з гірки без локомотива, після постановки на сортувальну колію огорожуються з боку гірки двома охоронними гальмовими башмаками, які укладаються на обидві рейки через 25 м один від одного таким чином, щоб відстань від вагонів до гальмового башмака, який розташований першим від гірки, була не меншою ніж 50 м. Якщо відстань від таких вагонів до кінця паркової гальмової позиції з боку гірки менше ніж 50 м, то наступні відчепи на цю колію направляються тільки осаджуванням.

Наступні відчепи, що прямують на цю колію, [1] мають бути зупинені до місця розташування охоронних гальмових башмаків з накопиченням групи з безпечними вантажами не менше ніж 10 вагонів. Нормальний режим роз-

пуску відновлюється тільки у тому випадку, коли вагони, які заборонено спускати з гірки без локомотива, прикриті цією групою, що попередньо з'єднана з ними.

Кількість вагонів прикриття, які є у головному відчепі, визначається з виразу

$$\sum n'_{пр. j} = n_{гв} - k_{max},$$

де $n_{гв}$ – кількість вагонів у головному відчепі;

k_{max} – найбільший порядковий номер вагона у головному відчепі, для якого виконується умова $\gamma_k = 1$.

Відчеп після постановки на сортувальну колію огорожується з боку гірки охоронними гальмовими башмаками, якщо виконується умова

$$\sum n'_{пр. j} < 10,$$

де 10 – мінімальна кількість вагонів з безпечними вантажами у групі прикриття.

У іншому разі відчеп не огорожується.

Головний відчеп довжиною $l_{гв}$ не є замикаючою групою для складу, який накопичується на j -й сортувальній колії, якщо виконується умова

$$\sum l_{с. j} + l_{гв} < L_c,$$

де $\sum l_{с. j}$ – довжина вагонів, які знаходяться на j -й сортувальній колії;

L_c – довжина складу.

У іншому разі відчеп є замикаючою групою.

Тривалість окремого піврейсу (сек.), виконаного під час переставлення вагонів і складів [11], визначається за формулою:

$$t_{п/р} = \frac{(\alpha_{пр} + \beta_{пр} m)v}{2} + \frac{3,6l_{п/р}}{v}, \quad (1)$$

де $\alpha_{пр}$ – коефіцієнт, що враховує час, який необхідний для зміни швидкості руху локомотива на 1 км/год під час розгону, і час, який необхідний для зміни швидкості руху локомотива на 1 км/год під час гальмування, $\alpha_{пр} = 2,44$ сек/км/год;

$\beta_{пр}$ – коефіцієнт, що враховує додатковий час на зміну швидкості руху кожного вагона в маневровому складі на 1 км/год під час розгону і додатковий час на зміну швидкості руху кожного вагона в маневровому складі на 1 км/год під час гальмування, $\beta_{пр} = 0,1$ сек/км/год;

m – кількість вагонів у маневровому складі;

v – допустима швидкість руху під час маневрів, км/год;

l_{np} – довжина піврейсу, м.

Процес направлення відчепа на колію сортувального парку згідно з призначенням вагонів формалізовано для наступних варіантів:

1) головний відчеп не є замикаючою групою та після постановки на сортувальну колію, на якій відсутні вагони, що огорожені з боку гірки, потребує огороження з боку гірки гальмовими башмаками;

2) головний відчеп не є замикаючою групою та після постановки на сортувальну колію, на якій відсутні вагони, що огорожені з боку гірки, не потребує огороження;

3) головний відчеп, що не є замикаючою групою, прямує на сортувальну колію, на якій знаходяться вагони, що огорожені з боку гірки, та потребує огороження;

4) головний відчеп, що не є замикаючою групою, прямує на сортувальну колію, на якій знаходяться вагони, що огорожені з боку гірки, та не потребує огороження;

5) головний відчеп є замикаючою групою та прямує на сортувальну колію, на якій відсутні вагони, що огорожені з боку гірки;

6) головний відчеп є замикаючою групою та прямує на сортувальну колію, на якій знаходяться вагони, що огорожені з боку гірки.

Якщо на колію надходить замикаюча група, то состав з боку гірки не огорожується охоронними гальмовими башмаками. Безпека виконання маневрової роботи забезпечується встановленням охоронної стрілки в положення, яке унеможливує направлення відчепа на дану колію.

4. Зміна параметрів составу та відновлення процесу розпуску, під час якого у разі огороження вагонів на j -тій сортувальній колії з боку гірки охоронними гальмовими башмаками:

– наступні відчепа направляються на дану колію лише осаджуванням [1], тривалість якого додається до тривалості розпуску, у разі виконання умови $S'_b - S_{вих}^{пп} < 50$ м (де S'_b – координата положення на даній колії крайнього з боку гірки вагона відчепа, у складі якого є вагони, що заборонено спускати з гірки без локомотива; $S_{вих}^{пп}$ – координата кінця паркової гальмової позиції). У іншому випадку за координату точки прицілювання $S_{прц}$ для першого відчепа, який прямує на дану колію, приймається координата положення першого з боку гірки охоронного гальмового башмака $S_{гб}$;

– фіксується кількість вагонів прикриття $\sum n''_{пр}$ з безпечними вантажами, які надійшли на колію після відновлення розпуску;

– здійснюється перевірка умови $\sum n'_{пр} + \sum n''_{пр} \geq 10$ при $\sum l_{c,j} < L_c$ (де $\sum n'_{пр}$ – кількість вагонів прикриття, які знаходяться у відчепі, в складі якого є вагони, що заборонено спускати з гірки без локомотива). У разі її виконання або у випадку завершення накопичення составу ($\sum l_{c,j} = L_c$) після закінчення розпуску відбувається осаджування групи прикриття у складі $\sum n''_{пр}$ вагонів для з'єднання з огороженою групою.

Для прикладу розглянуто процес направлення на сортувальну колію відчепа з вагонами, які заборонено спускати з гірки без локомотива, для варіанту 1, коли він не є замикаючою групою та після постановки на колію, на якій відсутні вагони, що огорожені з боку гірки, потребує огороження з боку гірки гальмовими башмаками (табл. 1):

1. Тривалість осаджування t'_{oc} маневрового составу на колію сортувального парку до точки зустрічі його регульовальником швидкості руху вагонів визначається за формулою (1). Координата точки зустрічі на j -й сортувальній колії $S_{зс,j}$ визначається з умов

$$S_{зс,j} = S_{вих,j}^{пп}, \text{ якщо } S_{в,j} > S_{вих,j}^{пп}, \quad (2)$$

$$S_{зс,j} = S_{в,j}, \text{ якщо } S_{в,j} \leq S_{вих,j}^{пп}, \quad (3)$$

де $S_{вих,j}^{пп}$ – координата кінця паркової гальмової позиції на j -й сортувальній колії, м;

$S_{в,j}$ – координата положення крайнього з боку гірки вагона на j -й сортувальній колії (м), граничне значення якої у разі осаджування на вільну колію дорівнює координаті місця розташування охоронного гальмового башмака $S_{гб,j}$, відстань встановлення якого від граничного стовпчика у хвостовій горловині сортувального парку визначається Технічно-розпорядчим актом станції.

Передбачено можливість вибору людиною-оператором (ЛО) іншого значення $S_{зс,j}$.

Під час осаджування значення t у формулі (1) дорівнює t_0 , яке встановлюється згідно з моделлю составу, що склалася на момент припинення розпуску.

Таблиця 1

Формалізація процесу направлення відчепа на сортувальну колію (варіант 1)

№ п/п	Операція	Тривалість, сек.
1	Розпорядження чергового по сортувальній гірці (ДСПГ) про виконання осаджування тривалістю $t'_{пер}$ [11]	22,2
2	Осаджування маневрового составу на сортувальну колію до точки зустрічі його регулювальником швидкості руху вагонів тривалістю $t'_{ос}$	визначається за формулою (1)
3	Отримання складачем гальмових башмаків (у кількості $n_{гб}$) від регулювальника швидкості тривалістю $t_{огб}$ [11]. У разі осаджування до довільної точки – $n_{гб}=3$. Інакше – $n_{гб}=2$.	$t_{огб} = 3,6n_{гб}$
4	Осаджування маневрового составу на колію сортувального парку до місця зупинки тривалістю $t''_{ос}$	визначається за формулою (1)
5	Закріплення головного відчепа з боку, протилежного гірці, у разі осаджування до довільної точки тривалістю $t_{закр}$ [11] при $n_{гб}=1$.	3,6
6	Проходження складачем відстані $l_{прох}$ (м) для відчеплення головного відчепа тривалістю $t_{прох}$ [11]	$t_{прох} = 0,6l_{прох}$
7	Відчеплення головного відчепа від маневрового составу тривалістю $t_{вгв}$ [11]	4,8
8	Розпорядження машиністу маневрового локомотива на відтягування маневрового составу тривалістю $t'_{пер}$ [11]	22,2
9	Відтягування маневрового составу у бік гірки ($t_{від}$) та огороження вагонів охоронними гальмовими башмаками ($t_{ог}$) тривалістю $t_{во}$	$t_{во} = t_{від} + t_{ог}$
10	Доповідь ДСПГ про огороження вагонів охоронними гальмовими башмаками та його розпорядження на витягування составу тривалістю $t'_{пер}$ [11]	22,2
11	Витягування маневрового составу на насувну частину гірки тривалістю $t_{внт}$	визначається за формулою (1)

Значення v за умовчанням приймається 5 км/год, але передбачено можливість вибору ЛО

іншого значення, яке відповідає умові $v \leq 25$, де $v = 25$ км/год – максимальна швидкість виконання маневрів за умови руху вагонів вперед вільною колією, яка встановлюється [1]. Довжина піврейсу $l_{п/р} = l''_{ос}$. Значення $l''_{ос}$ визначається як

$$l''_{ос.j} = S_{зс.j} - S_c,$$

де S_c – координата положення крайнього вагона составу на насувній частині гірки, м.

2. Тривалість осаджування $t''_{ос}$ маневрового составу на колію сортувального парку від точки зустрічі до місця зупинки визначається за формулою (1) при $l_{п/р} = l''_{ос}$.

У випадку виконання умови (2) значення $l''_{ос}$ визначається як

$$l''_{ос.j} = S_{в.j} - S_{вих.j}^{спп}. \quad (4)$$

Під час виконання цієї операції можливі наступні випадки:

Випадок 1А. Осаджування на вільну колію до охоронного гальмового башмака, при якому $l''_{ос.j}$ визначається за формулою (4).

Випадок 1Б. Осаджування на вільну колію до довільної точки, при якому $l''_{ос.j}$ відповідає умові:

$$l_{ос.j}^{\min} \leq l''_{ос.j} < l''_{ос.j}, \quad (5)$$

де $l_{ос.j}^{\min}$ – мінімальне значення $l''_{ос.j}$ (м), яке визначається з виразу

$$l_{ос.j}^{\min} = \max \left\{ \sum l_{в.j} + 50; l_{гв} + 50 + (10 - \sum n'_{п.р.j}) l_{п/р} \right\}, \quad (6)$$

де $\sum l_{в.j}$ – сумарна довжина відчепів призначенням на j -ту сортувальну колію, які залишилися у составі, з урахуванням головного, м;

50 – мінімальна відстань від вагонів, що заборонено спускати з гірки без локомотива, до гальмового башмака, який розташований першим від гірки, м [1];

$l_{п/р}$ – довжина вагону у групі прикриття, за яку приймається довжина вагонів, що переважають у вагонопотоці, який підлягає переробці, м.

Вибір значення $l''_{ос.j}$ виконується ЛО.

Випадок 2А. Осаджування на зайняту колію до з'єднання з вагонів, які стоять без «вікон», при якому $l''_{ос.j}$ визначається за формулою (4).

Випадок 2Б. Осаджування на зайняту колію без з'єднання з вагонами, які стоять без «вікон» або у разі їх наявності, при якому $l''_{oc,j}$ відповідає умові (5).

При цьому, якщо у складі, що розформовується, відсутня замикаюча група ($\sum l_{c,j} + \sum l_{v,j} < L_c$), то значення $l''_{oc,j}$ визначається з виразу (6).

Якщо у складі є замикаюча група і $\sum l_{v,j} + 50 < l_{гв} + 50 + (10 - \sum n'_{пр,j})l_{пр}$, то

$$l''_{oc,j} = \sum l_{v,j} + 50. \quad (7)$$

Вибір значення $l''_{oc,j}$ виконується ЛО.

Випадок 3. Осаджування на зайняту колію до з'єднання з вагонами у разі наявності «вікон», при якому $l''_{oc,j}$ визначається за формулою (4).

Умовою виконання осаджування для ліквідації «вікон» між вагонами, які стоять на j -й сортувальній колії, є:

1) якщо у складі, що розформовується, відсутня замикаюча група

$$l_{віль,j} < \max \left\{ \begin{array}{l} (\sum l_{v,j} - l_{гв}) + a; \\ 50 + (10 - \sum n'_{пр,j})l_{пр} \end{array} \right\} \quad (8)$$

у разі виконання умови

$$l_{віль,j} + \sum l_{вік,j} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} (\sum l_{v,j} - l_{гв}) + a; \\ 50 + (10 - \sum n'_{пр,j})l_{пр} \end{array} \right\}, \quad (9)$$

де $l_{віль,j}$ – довжина вільної ділянки на j -й сортувальній колії, м;

$\sum l_{вік,j}$ – сумарна довжина «вікон» на j -й сортувальній колії, м;

a – параметр, значення якого $a = L_c - \sum l_{c,j} - \sum l_{v,j} < 50$, інакше $a = 50$, м.

Довжина піврейсу осаджування

$$l_{лв,j} = \max \left\{ \begin{array}{l} (\sum l_{v,j} - l_{гв}) + a; \\ 50 + (10 - \sum n'_{пр,j})l_{пр} \end{array} \right\} - l_{віль,j}; \quad (10)$$

2) якщо у складі є замикаюча група або у разі невиконання умови (9) для складу, у якому вона відсутня

$$l_{віль,j} < (\sum l_{v,j} - l_{гв}) + a. \quad (11)$$

Довжина піврейсу осаджування

$$l_{лв,j} = ((\sum l_{v,j} - l_{гв}) + a) - l_{віль,j}. \quad (12)$$

У іншому разі осаджування для ліквідації

«вікон» не виконується.

ЛО може бути вказано на необхідність ліквідації всіх «вікон» на j -й сортувальній колії

$$\sum l_{вік,j} = 0, \quad (13)$$

Довжина піврейсу осаджування

$$l_{лв,j} = \sum l_{вік,j}. \quad (14)$$

Загальна тривалість осаджування T''_{oc} визначається за формулою:

$$T''_{oc} = t''_{oc} + t_{лв,j}, \quad (15)$$

де $t_{лв,j}$ – тривалість ліквідації «вікон» на j -й сортувальній колії, сек.

Значення $t_{лв,j}$ визначається за формулою (1) у разі $l_{лв/р} = l_{лв,j}$, $v = 3$ км/год [1] (з можливістю вибору ЛО іншого значення) і $m = \bar{m} = (m_1 + m_{ост})/2$, де $m_1, m_{ост}$ – кількість вагонів під час ліквідації першого й останнього «вікна» відповідно.

У випадку виконання умови (3) після з'єднання головного відчепа з вагонами, які стоять на j -й сортувальній колії виконується осаджування для ліквідації «вікон» з довжиною піврейсу $l_{лв,j}$, яка визначається з виразів:

– якщо у складі, що розформовується, відсутня замикаюча група

$$l_{лв,j} = (S_{вих,j}^{нпн} - S_{в,j}) + \max \left\{ \begin{array}{l} \sum l_{v,j} + a; \\ l_{гв} + 50 + (10 - \sum n'_{пр,j})l_{пр} \end{array} \right\} \quad (16)$$

у разі виконання умови

$$\sum l_{вік,j} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} \sum l_{v,j} + a; \\ l_{гв} + 50 + (10 - \sum n'_{пр,j})l_{пр} \end{array} \right\}; \quad (17)$$

– якщо у складі є замикаюча група або у разі невиконання умови (17) для складу, у якому вона відсутня

$$l_{лв,j} = (S_{вих,j}^{нпн} - S_{в,j}) + (\sum l_{v,j} + a). \quad (18)$$

У разі необхідності ліквідації всіх «вікон» на j -й сортувальній колії, яка визначається ЛО, довжина піврейсу осаджування визначається з виразу (14).

Тривалість осаджування t''_{oc} визначається за формулою:

$$t''_{oc} = t_{лв,j}. \quad (19)$$

Значення $t_{лв.j}$ визначається аналогічно випадку 3.

3. Відстань, яку проходить складач для відчеплення головного відчепа, для випадків 1А, 1Б, 2А, 2Б і 3 (у разі, якщо осаджування для ліквідації «вікон» не виконується) становить $l_{прох} = l_{гв}$. Для випадку 3 (у разі, якщо осаджування для ліквідації «вікон» виконується) та у випадку виконання умови (3) ця відстань становить: 1) $l_{прох} = 0$, якщо $l_{гв} \leq l_{лв.j}$, 2) $l_{прох} = l_{гв} - l_{лв.j}$, якщо $l_{гв} > l_{лв.j}$.

4. Під час відтягування маневрового складу у бік гірки й огороження вагонів охоронними гальмовими башмаками в залежності від положення на j -й сортувальній колії крайнього вагона головного відчепа (координата $S'_{в.j}$) і мінімальної відстані від кінця паркової гальмової позиції на цій колії до охоронного гальмового башмака $\Delta l_{гб}$ (за умовчужанням $\Delta l_{гб} = 0,5$ м з можливістю вибору ЛО іншого значення) можливі три випадки.

Випадок 1. $S'_{в.j} - (S_{вих.j}^{пп} + \Delta l_{гб}) \geq 50$ м.

У цьому випадку під час відтягування маневрового складу на відстань 50 м складач пересувається на підніжці крайнього вагону на відстань 25 м і залишає склад на ходу. Після цього він встановлює перший башмак, проходить відстань $l_{прох} = 25$ м і встановлює другий башмак.

Для визначення $t_{від}$ використано модифіковану формулу (1), яка враховує час, який необхідний для зміни швидкості руху локомотива та вагона лише під час розгону, а також тривалість пересування складу на відстань $l_{п/р}$

$$t_{п/р} = \frac{(\alpha_{пр} + \beta_{пр} m)v}{4} + \frac{3,6l_{п/р}}{v}. \quad (20)$$

Тривалість $t_{від}$ розраховується при $m = m_0 - m_{гв}$ (де $m_{гв}$ – кількість вагонів у головному відчепі), $v = 5$ км/год (з можливістю вибору ЛО іншого значення), $l_{п/р} = 25$ м (від крайнього вагона головного відчепа до точки встановлення першого башмака).

Значення $t_{ог}$ розраховується за допомогою виразу:

$$t_{ог} = n_{гб} t_{укл} + t_{прох}, \quad (21)$$

де $n_{гб}$ – кількість гальмових башмаків, у даному випадку $n_{гб} = 2$;

$t_{укл}$ – тривалість укладання одного гальмового башмака, $t_{укл} = 3,6$ сек. [11];

$t_{прох}$ – тривалість проходження складачем відстані $l_{прох}$ для укладання другого гальмового башмака, яка згідно з [11] визначається з виразу

$$t_{прох} = 0,6l_{прох}. \quad (22)$$

Випадок 2. $25 \leq S'_{в.j} - (S_{вих.j}^{пп} + \Delta l_{гб}) < 50$ м.

У цьому випадку під час відтягування маневрового складу на відстань 25 м складач пересувається на підніжці крайнього вагону. Після цього він встановлює один башмак.

Тривалість $t_{від}$ визначається за формулою (1) при m , v і $l_{п/р}$, які є аналогічними випадку 1. Тривалість $t_{ог}$ розраховується за допомогою виразу (21) при $n_{гб} = 1$ башмак, $l_{прох} = 0$ м.

Випадок 3. $S'_{в.j} - (S_{вих.j}^{пп} + \Delta l_{гб}) < 25$ м.

У цьому випадку під час відтягування маневрового складу на відстань $l_{п/р} = S'_{в.j} - (S_{вих.j}^{пп} + \Delta l_{гб})$ м складач пересувається на підніжці крайнього вагону. Після цього він встановлює один башмак.

Тривалість $t_{від}$ визначається за формулою (1) при m , v , які є аналогічними випадку 1. Тривалість $t_{ог}$ розраховується за допомогою виразу (21) при $n_{гб} = 1$ башмак, $l_{прох} = 0$ м.

5. Тривалість витягування $t_{вит}$ маневрового складу на насувну частину гірки визначається за формулою (1) при $m = m_0 - m_{гв}$, $v = 25$ км/год (з можливістю вибору ЛО іншого значення) і $l_{п/р} = l_{вит}$, яка визначається з виразу

$$l_{вит} = S_{гб.j} - S_c, \quad (23)$$

де $S_{гб.j}$ – координата положення першого з боку гірки охоронного башмака, м.

Тривалість виконання маневрових операцій з направлення вагонів, які заборонено спускати з гірки без локомотива, на колію сортувального парку може значно перевищувати тривалість самого розпуску складу.

Так, у разі направлення головного відчепа у складі 5 критих вагонів (маневровий склад із 30 вагонів) на зайняту колію до з'єднання з вагонами, які стоять без «вікон» на відстані 200 м від вихідного кінця паркової гальмової позиції, тривалість виконання операцій (табл. 2) становить 12,6 хв.

Таблиця 2

Тривалість процесу направлення відчепа на сортувальну колію (варіант 1)

№ п/п	Операція	Тривалість, сек.
1	Розпорядження ДСПГ про виконання осаджування	22,2
2	Осаджування маневрового складу на сортувальну колію до точки зустрічі його регулювальником швидкості руху вагонів ($l_{\text{п/р}}=400$ м, $m=30$ вагонів, $v=5$ км/год)	301,6
3	Отримання складачем гальмових башмаків від регулювальника швидкості ($n_{\text{тб}}=2$)	7,2
4	Осаджування маневрового складу на колію сортувального парку до місця зупинки ($l_{\text{п/р}}=200$ м, $m=30$ вагонів, $v=5$ км/год)	157,6
5	Проходження складачем відстані $l_{\text{прох}}=73,65$ м для відчеплення головного відчепа ($l_{\text{ваг}}=14,73$ м, $m=5$ вагонів)	44,2
6	Відчеплення головного відчепа від маневрового складу	4,8
7	Розпорядження машиністу локомотива на відтягування маневрового складу	22,2
8	Відтягування маневрового складу у бік гірки та огороження вагонів охоронними гальмовими башмаками ($l_{\text{п/р}}=25$ м, $m=25$ вагонів, $v=5$ км/год, $n_{\text{тб}}=2$, $l_{\text{прох}}=25$ м)	46,4
9	Доповідь ДСПГ про огороження вагонів та його розпорядження на витягування маневрового складу	22,2
10	Витягування маневрового складу на насувну частину гірки ($l_{\text{п/р}}=476,35$ м, $m=25$ вагонів, $v=25$ км/год)	130,3
Разом		758,7

Таким, чином, урахування наявності у складах поїздів вагонів, які заборонено спускати з гірки без локомотива, та тривалості виконання з ними необхідних операцій дозволяє підвищити якість імітаційного моделювання розпуску складів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України. ЦД-0058 [Текст]: Затв.: Наказ Мінтрансу та зв'язку України 31.08.05. № 507 / Мінво трансп. та зв'язку України. – К., 2005. – 464 с.
2. Щеглов, П. П. Проблема безпеки при розпуску с сортировочних горок вагонів с легко-

воспламеняющимися жидкостями [Текст] / П. П. Щеглов, В. И. Жолобов, Т. И. Ложникова // Вестн. ВНИИЖТа. – 2005. – № 6. – С. 36-39.

3. Муха, Ю. А. Алгоритмы и библиотека программ для моделирования на ЭВМ «Наири-К» сортировочного процесса на горках [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. трудов. – 1977. – Вып. 194/11. – Д. Вид-во ДИИТ, 1977. – С. 53-102.

4. Муха, Ю. А. Исследование влияния высоты сортировочной горки на качество прицельного регулирования [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Сб науч трудов ДИИТа – 1975. – Вып. 168/9. – Д. Вид-во ДИИТ, 1975. – С. 39-54.

5. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР: ВСН 207-89 (МПС СССР) [Текст] – М.: Транспорт, 1992. – 105 с.

6. Бобровский, В. И. Теоретические основы совершенствования конструкции и технологии работы железнодорожных станций [Текст]: дис. ...доктора техн. наук: 05.22.20 / Бобровский Владимир Ильич. – Д., 2002. – 396 с.

7. Муха, Ю. А. Исследование распределения работы между тормозными позициями при регулировании скорости скатывания отцепов на автоматизированной сортировочной горке [Текст] / Ю. А. Муха, А. М. Бледный, В. И. Бобровский // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. тр. – 1978. – Вып. 197/12. – Д. Вид-во ДИИТ, 1978. – С. 15-24.

8. Муха, Ю. А. Имитационное моделирование процесса скатывания отцепов при выполнении горочных расчётов [Текст] / Ю. А. Муха, А. А. Муратов // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч трудов. – 1990. – Вып. 277/17. – Д. Вид-во ДИИТ, 1990. – С. 11-20.

9. Автоматизация и механизация переработки вагонов на станциях [Текст]: монография / Ю. А. Муха и др. – М.: Транспорт, 1985. – 248 с.

10. Муха, Ю. А. Исследование точности прицельного регулирования на сортировочных горках, оборудованных системами АРС [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на железнодорожных станциях: Труды ДИИТа. – 1975. – Вып. 168/9. – Д. ДИИТ. – С. 55–65.

11. Методичні вказівки з розрахунку норм часу на маневрові роботи, які виконуються на залізничному транспорті [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 25.03.03 № 72-ЦЗ / Державна Адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2003. – 82 с.

Надійшла до редколегії 07.11.2011.

Прийнята до друку 12.11.2011.