УДК 656.212

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

ВПЛИВ ТОЧНОСТІ ГАЛЬМУВАННЯ ТА ПАРАМЕТРІВ ВІДЧЕПІВ НА ПОКАЗНИКИ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ

В статті розглянуто вплив точності гальмування та параметрів відчепів на показники роботи сортувальної гірки.

В статье рассмотрено влияние точности торможения и параметров отцепов на показатели работы сортировочной горки.

In article influencing is considered of exactness of braking and parameters of cuts on the indexes of work of sorting hump.

В умовах сьогодення важливою задачею для залізничного транспорту України є підвищення прибутків. Принципи ринкової економіки дозволяють розв'язати цю задачу за рахунок скорочення непродуктивних витрат. Найбільш енергомісткими залізничними підрозділами є сортувальні станції. Тому застосування енергозберігаючих технологій на них є тим чинником, що суттєво впливає на рентабельність роботи цих станцій. Значну частину витрат у роботі сортувальної станції складають витрати на паливо для маневрових локомотивів.

На величину витрат палива, зокрема тих, що пов'язані з осаджуванням вагонів на коліях сортувального парку, суттєво впливає довжина «вікон», які утворюються між групами вагонів. Також від неї залежить тривалість виконання маневрових операцій з осаджування та, як наслідок, тривалість знаходження вагонів на станції. Тому значно зростають вимоги, що висуваються до якості регулювання швидкості скочування відчепів з сортувальної гірки.

Крім того, точність гальмування впливає і на пошкодження вагонів під час сортування, що відбувається, в основному, внаслідок їх зіткнення з перевищенням нормованої швидкості 5 км/год. При цьому одночасно з вагоном може пошкоджуватись і вантаж. Тому загальні збитки є досить суттєвими.

Аналіз статистичних даних (табл. 1) показав, що показники, які досягнуто на існуючих гірках, не відповідають вимогам до якості регулювання швидкості скочування відчепів.

Вагонопотоки, що переробляються на гірках, суттєво різняться ваговою категорією вагонів, їх типом, кількістю вагонів у відчепі.

У зв'язку з цим, важливим є розгляд питання впливу похибки гальмування відчепів, кількості вагонів у них і вагової категорії вагонів у потоці, що підлягає переробці, на показники роботи сортувальної гірки.

Таблиця 1

Результати аналізу статистичних даних

Показник	Значення	
	фактичне	нормативне
Середня швидкість зіткнення відчепів на сортувальних коліях, км/год	5,3...7,9	не більш 5
Ймовірність перевищення допустимої швидкості зіткнення	0,48...0,85	не більш 0,1
Середня довжина «вікна» у розрахунку на один перероблений вагон, м	2,5...13,2	–
Рівень заповнення сортувальних колій, %	50...86	не менш 85
Похибка реалізації заданої швидкості виходу відчепів з гальмової позиції, м/с	0,04...0,7	не більш ± 0,25
Середньоквадратичне відхилення похибки реалізації заданої швидкості виходу відчепів з гальмової позиції, м/с	0,26...0,8	не більш 0,125

Показники роботи гірки визначено на підставі результатів імітаційного моделювання процесу розформування составів. В імітаційній моделі загальна енергія кожного відчепа, що погашається на гальмових позиціях, визначається за умови забезпечення заданої швидкості в точці прицілювання, яку прийнято 1,4 м/с (5 км/год). Значення швидкості виходу з паркової гальмової позиції визначається з урахуванням характеристик самого відчепа, крутизни ухилу сортувальних колій, яка становила 0,6 ‰, дальності пробігу сортувальною колією та всіх інших факторів. У цих умовах отримані показники відображують потенційні (граничні) можливості прицільного регулювання швидкості скочування вагонів на відповідній гірці, які визначаються висотою гірки, наявністю стрілоч-

© Журавель В. В., Переста Г. І., Журавель І. Л., 2011

них переводів і кривих, характеристиками вагонопотоку, потужністю гальмових засобів і метеорологічними даними.

У роботі розглянуто сортувальну гірку великої потужності, яка характеризується наступними параметрами: кількість колій насуву – 2; кількість спускних колій – 2; кількість обхідних колій – 2; кількість сортувальних колій – 32; кількість пучків – 4, кількість колій у кожному пучку – 8; перша гальмова позиція – 2 сповільнювача НК-114; друга гальмова позиція – по 2 сповільнювача НК-114; паркова гальмова позиція – по 3 сповільнювача РНЗ-2М на кожній сортувальній колії.

Під час досліджень похибка гальмування (середньоквадратична помилка розрахунку та реалізації швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій σ_v) варіювалася у межах від 0,1 м/с до 1 м/с з кроком 0,1 м/с. Крім того, для кожного значення похибки гальмування розглянуто:

1) вісім варіантів, які відрізняються частотою появи у потоці, що підлягає переробці, вагонів різної вагової категорії (табл. 2);

2) вісім варіантів, які відрізняються частотою появи відчепів з різною кількістю вагонів (табл. 3).

Під час дослідження впливу на показники роботи сортувальної гірки вагової категорії вагонів кількість вагонів у відчепі було зафіксовано на одному рівні (див. табл. 4). Під час дослідження впливу кількості вагонів у відчепі вагову категорію вагонів теж було зафіксовано на одному рівні (табл. 4).

Таблиця 2

Частоти появи вагонів різної вагової категорії, %

Вагова категорія вагонів	Варіант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
легка	5	15	25	35	45	55	65	75
легко-середня	5	5	5	5	5	5	5	5
середня	5	5	5	5	5	5	5	5
середньо-важка	5	5	5	5	5	5	5	5
важка	80	70	60	50	40	30	20	10

Таблиця 3

Частоти появи відчепів з різною кількістю вагонів, %

Кількість вагонів у відчепі	Варіант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	80	70	60	50	40	30	20	10
2	5	5	5	5	5	5	5	5
3	5	5	5	5	5	5	5	5
4	5	5	5	5	5	5	5	5
5 і більше	5	15	25	35	45	55	65	75

Таблиця 4

Параметри вагонопотоку

Вагова категорія вагонів	Частота появи, %	Кількість вагонів у відчепі	Частота появи, %
легка	32	1	64
легко-середня	9	2	18
середня	4	3	6
середньо-важка	7	4	3
важка	48	5 і більше	9

Аналіз отриманих даних показав, що між похибкою гальмування відчепів і показниками роботи гірки, а також між ваговою категорією вагонів або кількістю вагонів у відчепі та показниками роботи гірки є певний нелінійний кореляційний зв'язок, для оцінки тісноти якого використано кореляційне відношення η [1]. Якісну оцінку тісноти зв'язку можна дати за шкалою Чеддока [2].

Отримані під час дослідження впливу вагової категорії вагонів результати дозволили встановити наступне:

1. Вплив похибки гальмування відчепів є дуже значним, а вплив вагової категорії вагонів є слабким на середню швидкість зіткнення відчепів на коліях сортувального парку (η = 0,93 і η = 0,15 відповідно).

2. Вплив похибки гальмування відчепів є значним, а вплив вагової категорії вагонів є помірним на такі показники:

- середню довжину «вікна» у розрахунку на один перероблений вагон (η=0,86 і η=0,44 відповідно);

- середню кількість операцій осаджування у розрахунку на один перероблений вагон (η = 0,87 і η = 0,42 відповідно).

Отримані під час дослідження впливу кількості вагонів у відчепі результати дозволили встановити наступне:

1. Вплив похибки гальмування відчепів є дуже значним, а вплив кількості вагонів у відчепі є слабким на середню швидкість зіткнення відчепів на коліях сортувального парку (η = 0,93 і η = 0,1 відповідно);

2. Вплив похибки гальмування відчепів є помітним, а вплив кількості вагонів у відчепі, є помірним на такі показники:

- середню довжину «вікна» у розрахунку на один перероблений вагон (η = 0,51 і η = 0,41 відповідно);

- середню кількість операцій осаджування у розрахунку на один перероблений вагон (η = 0,56 і η = 0,45 відповідно).

Наявність нелінійного кореляційного зв'язку між похибкою гальмування відчепів і

показниками роботи сортувальної гірки дозволяє встановити вид регресійних моделей, коефіцієнти яких визначаються методом найменших квадратів [1].

Під час досліджень використано 40 видів однофакторних моделей, з яких для подальшого розгляду вони обиралися за принципом найменшої залишкової дисперсії $D_з$ [3].

Для перевірки адекватності регресійних моделей використано *F*-критерій Фішера [4]

$$F = \frac{D_y}{D_з}$$

і відносне відхилення ν дійсних значень y_i від прогнозних $\hat{y}_i$ [5]

$$\nu = \frac{\Delta\overline{y}_i}{\overline{Y}}100,$$

де D_y – емпірична дисперсія;

$\overline{Y}$ – середнє значення величини $\hat{Y}$, що розраховано за регресійною моделлю;

$\Delta\overline{y}_i$ – середнє відхилення значень величини Y від значень величини $\hat{Y}$.

Прийнято, що модель є адекватною, якщо розраховане значення *F*-критерію більше табличного $F_{табл}$ у разі ймовірності помилки 5 % і відносне відхилення ν ≤ 10 %.

Виконаний аналіз дозволив встановити, що зв'язок між похибкою гальмування відчепів σ_v і середньою швидкістю їх зіткнення на коліях сортувального парку можна адекватно описати регресійною моделлю виду:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 e^{-\sigma_v} + b_2 e^{-\sigma_v^2}, \qquad (1)$$

$$\hat{y} = b_0 + b_1\sigma_v^{0,5} + b_2\sigma_v, \qquad (2)$$

$$\hat{y} = b_0 + b_1\sigma_v^2. \qquad (3)$$

При цьому, під час дослідження впливу вагової категорії вагонів $D_з$=0,000836…0,001000 (м/с)^2, *F* (19,88…16,70) > $F_{табл}$ (1,63), ν = 1,4 % < 10 %. Під час дослідження впливу кількості вагонів у відчепі $D_з$ = 0,000544…0,000731 (м/с)^2, *F* (20,52…27,57) > $F_{табл}$ (1,63), ν = 1,1 % < 10 %.

Таким чином, зв'язок між похибкою гальмування відчепів і середньою швидкістю їх зіткнення на коліях сортувального парку можна адекватно описати регресійною моделлю виду (3), що є найпростішою з розглянутих.

Наявність помірного впливу вагової категорії вагонів на середню довжину «вікна» та кількість операцій осаджування у розрахунку на один перероблений вагон (η = 0,44 і η = 0,42 відповідно) не дозволило визначити модель, яка б адекватно описувала зв'язок між похибкою гальмування відчепів і цими показниками для усієї сукупності отриманих у процесі моделювання значень. Жодна з розглянутих моделей не відповідає вимозі ν ≤ 10 %.

Врахувати вплив вагової категорії вагонів виявилося можливим, якщо розділити всю сукупність дослідних значень на частини та розглянути два випадки: 1) коли вагони важкої та середньо-важкої вагової категорії у потоці, що переробляється, складають 65 % і більше; 2) коли вагони цих вагових категорій складають менш, ніж 65 %.

У такий спосіб зв'язок між похибкою гальмування відчепів σ_v і середньою довжиною «вікна» у розрахунку на один перероблений вагон у випадку 1 можна адекватно описати моделями виду (1) – (3), а також виду

$$\hat{y} = b_0 + b_1\sigma_v + b_2\sigma_v^2. \qquad (4)$$

У випадку 2 адекватний опис такого зв'язку можливий моделями виду (4) і (3).

При цьому, у випадку 1 $D_з$ = 2,27…2,44 м^2, *F* (16,20…14,60) > $F_{табл}$ (1,87), ν = 8,3…8,7 % < 10 %. У випадку 2 $D_з$ = 2,52…2,55 м^2, *F* (14,34…14,14) > $F_{табл}$ (1,69), ν = 6,5 % < 10 %.

Зв'язок між похибкою гальмування відчепів σ_v і середньою кількістю операцій осаджування у розрахунку на один перероблений вагон у випадку 1 можна адекватно описати моделями виду (2) – (4), а у випадку 2 – моделями виду (4) і (3).

При цьому, у випадку 1 $D_з$ = 0,000009…0,000010 операцій^2, *F* (18,23…17,10) > $F_{табл}$ (1,87), ν = 7,9…8,2 % < 10 %. У випадку 2 $D_з$ = 0,000009 операцій^2, *F* (13,20) > $F_{табл}$ (1,69), ν = 6 % < 10 %.

Таким чином, зв'язок між похибкою гальмування відчепів і середньою довжиною «вікна» або середньою кількістю операцій осаджування у розрахунку на один перероблений вагон можна адекватно описати моделлю виду (3), як найпростішою з розглянутих.

У зв'язку з тим, що кореляційне відношення похибки гальмування відчепів і середньої довжини «вікна» або середньої кількості операцій осаджування у розрахунку на один перероблений вагон (η = 0,51 і η = 0,56 відповідно) є досить далеким від 1, а також з наявністю помір-

ного впливу на ці показники кількості вагонів у відчепі (η = 0,41 і η = 0,45 відповідно) не виявилося можливим визначити модель, яка б адекватно описувала зв'язок між похибкою гальмування відчепів і цими показниками для усієї сукупності значень. Жодна з розглянутих моделей не відповідає вимозі $\nu \le 10$ %, а у випадку середньої довжини «вікна» не виконується також вимога $F > F_{\text{табл}}$.

Врахувати вплив кількості вагонів у відчепі виявилося можливим, якщо розділити всю сукупність дослідних значень середньої довжини «вікна» або кількості операцій осаджування на частини та розглянути два випадки: 1) коли частота появи у потоці, що переробляється, відчепів з 1 вагону складає 60 % і більше (варіанти 1...3); 2) коли частота появи відчепів з 1 вагону складає менш, ніж 60 % (варіанти 4...8).

У такий спосіб зв'язок між похибкою гальмування відчепів σ_v і середньою довжиною «вікна» у розрахунку на один перероблений вагон у випадках 1 і 2 можна адекватно описати моделями виду (3) і (4).

При цьому, у випадку 1 $D_з$ = 4,57…4,58 м^2, F (8,94…8,91) > $F_{\text{табл}}$ (1,87), ν = 9,7…9,8 % < 10 %. У випадку 2 $D_з$ = 2,73 м^2, F (5,51) > $F_{\text{табл}}$ (1,69), ν = 9,9 % < 10 %.

Зв'язок між похибкою гальмування відчепів σ_v і середньою кількістю операцій осаджування у розрахунку на один перероблений вагон у випадку 1 і 2 можна адекватно описати моделлю виду (3), а також виду

$$\hat{y} = \ln(b_0 + b_1\sigma_v + b_2\sigma_v^2). \qquad (5)$$

При цьому, у випадку 1 $D_з$ = 0,000012 операцій^2, F (10,92) > $F_{\text{табл}}$ (1,87), ν = 7,8 % < 10 %. У випадку 2 $D_з$ = 0,000009 операцій^2, F (5,89) > $F_{\text{табл}}$ (1,69), ν = 9,8 % < 10 %.

Таким чином, зв'язок між похибкою гальмування відчепів і середньою довжиною «вікна» або середньою кількістю операцій осаджування у розрахунку на один перероблений вагон можна адекватно описати моделлю виду (3), як найпростішим з розглянутих.

Висновки:

1. Між похибкою гальмування відчепів і показниками роботи гірки, а також між ваговою категорією вагонів або кількістю вагонів у відчепі та цими показниками є певний нелінійний кореляційний зв'язок.

2. Отримано однофакторні регресійні моделі, які з урахуванням параметрів вагонопотоку описують зв'язок між похибкою гальмування відчепів (середньоквадратичною помилкою розрахунку та реалізації швидкостей виходу з гальмових позицій) і наступними показниками роботи гірки: 1) середньою швидкістю зіткнення відчепів на коліях сортувального парку; 2) середньою довжиною «вікна» на один перероблений вагон; 3) середньою кількістю операцій осаджування на один перероблений вагон.

3. Жодна з розглянутих моделей не описує адекватно всю сукупність значень середньої довжини «вікна» та середньої кількості операцій осаджування у розрахунку на один перероблений вагон. Це пов'язано з наявністю певного впливу вагової категорії вагонів і кількості вагонів у відчепі на дані показники.

Урахування впливу параметрів вагонопотоку на ці показники є можливим шляхом поділу усієї сукупності отриманих у процесі моделювання значень на частини і отримання моделей для окремих випадків.

4. Зв'язок між похибкою гальмування відчепів σ_v і середньою швидкістю їх зіткнення на коліях сортувального парку, довжиною «вікна», а також кількістю операцій осаджування у розрахунку на один перероблений вагон з урахуванням впливу параметрів вагонопотоку адекватно описується регресійною моделлю виду $\hat{y} = b_0 + b_1\sigma_v^2$, як найпростішою з розглянутих. При цьому якість опису у порівнянні з більш точними моделями суттєво не погіршується.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Акулиничев, В. М. Математические методы в эксплуатации железных дорог [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / В. М. Акулиничев, В. А. Кудрявцев, А. Н. Корешков – М.: Транспорт, 1981. – 223 с.

2. Сизова, Т. М. Статистика [Текст]: учеб. пособие / Т. М. Сизова. – СПб.: СПб ГУИТМО, 2005. – 80 с.

3. Шторм, Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества [Текст]. – М.: Мир, 1970. – 368 с.

4. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул [Текст]: Учеб. пособие. – М.: Высш. Школа, 1982. – 224 с.

5. Негрей, Н. П. Прогнозирование размеров работы сортировочных станций с помощью статистических методов // Проблемы проектирования станций и узлов: Межвузовский сборник научных статей / Под ред. Н. В. Правдина. – Гомель: БелИИЖТ, 1984. – С. 10-21.

Надійшла до редколегії 31.01.2011.
Прийнята до друку 31.01.2011.