

ПОКАЗНИКИ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ ТА ФАКТОРИ, ЩО НА НИХ ВПЛИВАЮТЬ

Встановлено вид рівнянь регресії, які адекватно описують зв'язок між похибкою гальмування відчепів, ухилом сортувальних колій і показниками роботи сортувальної гірки з урахуванням впливу параметрів вагонопотоку, що переробляється.

Установлен вид уравнений регрессии, адекватно описывающих связь между ошибкой торможения отцепов, уклоном сортировочных путей и показателями работы сортировочной горки с учетом влияния параметров перерабатываемого вагонопотока.

A kind of regression equations, which adequately describe the correlation between the error of braking of cuts, the slope of hump-yard tracks and the indices of hump yard work taking into account the influence of parameters of wagon stream processed, is determined.

Вступ

В умовах сьогодення, які характеризуються певним спадом обсягів перевезень, важливою задачею для залізничного транспорту України є зменшення непродуктивних витрат, у т.ч. витрат палива маневровими локомотивами під час виконання операцій на сортувальних станціях, що дозволить підвищити рентабельність роботи цих станцій.

На величину витрат палива, зокрема тих, що пов'язані з осаджуванням вагонів, значною мірою впливає довжина «вікон», які утворюються між групами вагонів на коліях сортувального парку, та кількість операцій осаджування. Також від цих факторів залежить тривалість виконання маневрових операцій з осаджування та, як наслідок, тривалість знаходження вагонів на станції, що певною мірою впливає на обіг і робочий парк вагонів.

Тому значно зростають вимоги, що висуваються до якості регулювання швидкості скочування відчепів із сортувальної гірки і, насамперед, прицільного регулювання.

Крім того, точність гальмування впливає і на швидкість зіткнення вагонів на коліях сортувального парку, перевищення нормованої величини якої (5 км/год) може викликати пошкодження вагонів і вантажів.

Аналіз статистичних даних [1] показав, що показники, які досягнуто на існуючих сортувальних гірках, не відповідають вимогам до якості регулювання швидкості скочування відчепів.

Вагонопотоки, що переробляються на сортувальних гірках, різняться ваговою категорією вагонів і кількістю вагонів у відчепі.

Також суттєво відрізняється і крутизна ухилу сортувальних колій.

Постановка задачі

Метою даної роботи є встановлення зв'язку між основними показниками роботи сортувальної гірки, до яких належать середня швидкість зіткнення відчепів на коліях сортувального парку, середня довжина «вікна» та кількість операцій осаджування на один перероблений вагон, і наступними факторами: 1) похибкою гальмування (середньоквадратичною помилкою розрахунку та реалізації швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій σ_v), 2) ваговою категорією вагонів у потоці, що підлягає розформуванню, 3) кількістю вагонів у відчепі, 4) ухилом сортувальних колій.

Моделювання процесу розформування составів на сортувальній гірці

Показники роботи гірки визначено на підставі результатів імітаційного моделювання процесу розформування составів. 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, крутизни ухилу сортувальних колій, дальності пробігу по сортувальній колії та всіх інших факторів. У цих умовах отримані показники відображують потенційні (граничні) можливості прицільного регулювання на відповідній гірці.

У роботі розглянуто сортувальну гірку великої потужності з параметрами, які наведено у [1].

Основними вихідними даними для моделювання є:

– швидкість розпуску – 1,7 м/с;

- швидкість прицілювання – 1,4 м/с (5 км/год);
- похибка гальмування σ_v для кожної гальмової позиції, яка варіювалася у межах 0,1...1 м/с з кроком 0,1 м/с;
- ухил сортувальних колій – 0,6 %;
- частота появи вагонів різної вагової категорії та відчепів з різною кількістю вагонів (табл. 1).

Таблиця 1

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

Під час досліджень розглянуто вісім варіантів, які відрізняються частотою появи у потоці, що переробляється, вагонів різної вагової категорії (табл. 2). Параметри відчепів прийнято згідно табл. 1.

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

Також розглянуто вісім варіантів, які відрізняються частотою появи відчепів з різною кількістю вагонів [2]. Інші параметри прийнято згідно табл. 1.

Крім того, розглянуто вісім варіантів, у яких ухил сортувальних колій варіюється у межах 0,6...2 % з кроком 0,2 %. Параметри вагонопотоку прийнято згідно табл. 1.

Результати дослідження

Аналіз отриманих даних показав, що між факторами та показниками роботи гірки є певний нелінійний кореляційний зв'язок, для оцінки тісноти якого використано кореляційне відношення η [3].

Отримані результати дозволили встановити наступне:

1. На середню швидкість зіткнення відчепів на коліях сортувального парку суттєво впливає похибка гальмування σ_v ($\eta =$

$= 0,70...0,93$), в незначній мірі – вагова категорія вагонів, кількість вагонів у відчепі ($\eta = 0,10...0,15$), і значною мірою – ухил сортувальних колій ($\eta = 0,48$).

2. На середню довжину «вікна» та кількість операцій осаджування на один перероблений вагон значною мірою впливає похибка гальмування ($\eta = 0,51...0,86$ і $\eta = 0,56...0,87$, відповідно), а також вагова категорія вагонів і кількість вагонів у відчепі ($\eta = 0,41...0,44$ і $\eta = 0,42...0,45$, відповідно), і в незначній мірі – ухил сортувальних колій ($\eta = 0,27$).

Наявність нелінійного кореляційного зв'язку між похибкою гальмування відчепів і показниками роботи сортувальної гірки дозволяє встановити вид рівнянь регресії, коефіцієнти яких визначаються методом найменших квадратів [3].

Під час досліджень використано 40 видів можливих однофакторних і 58 видів двофакторних рівнянь регресії, з яких для подальшого розгляду рівняння обиралися за принципом найменшої залишкової дисперсії D_z [4].

Для перевірки адекватності опису результатів експериментів рівнянням регресії використано F -критерій Фішера [5] і відносне відхилення v дійсних значень y_i від прогнозних [6]. Прийнято, що рівняння регресії є адекватним, якщо розраховане значення F -критерію більше табличного $F_{\text{табл}}$ у разі ймовірності помилки 5 % і відносне відхилення $v \leq 10$ %. Для оцінки якості двофакторного рівняння регресії також використано множинне кореляційне відношення R' [5]. Критерієм адекватності є виконання умови $R' \geq 0,95$.

Дані щодо однофакторних рівнянь регресії для опису зв'язку між похибкою гальмування σ_v і показниками роботи сортувальної гірки з урахуванням вагової категорії вагонів або кількості вагонів у відчепі наведено у [1, 2].

Але під час подальших досліджень виявлено, що адекватність рівнянь регресії, які описують зв'язок між похибкою σ_v і середньою довжиною «вікна» $l_{\text{вік}}$ або кількістю операцій осаджування $P_{\text{ос}}$ на один перероблений вагон покращується, якщо розглянути три випадки щодо вагової категорії вагонів – 1) варіанти 1-2, 2) варіанти 2-4, 3) варіанти 4-8 і п'ять випадків щодо кількості вагонів у відчепі – 1) варіанти 1-2, 2) варіанти 2-3, 3) варіанти 3-4, 4) варіанти 4-6, 5) варіанти 6-8.

У цьому разі рівняння регресії має вигляд:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^2.$$

Виконаний аналіз дозволив встановити, що зв'язок між похибкою гальмування відчепів σ_v , ухилом сортувальних колій i та середньою швидкістю зіткнення відчепів на них, середньою довжиною «вікна» або кількістю операцій осаджування на один перероблений вагон можна описати двофакторними рівняннями регресії виду:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 e^{\sigma_v} + b_2 e^i + b_{12} e^{\sigma_v i} + b_{11} e^{\sigma_v^2} + b_{22} e^{i^2}; \quad (1)$$

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i + b_{12} \sigma_v i + b_{11} \sigma_v^2 + b_{22} i^2; \quad (2)$$

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^2 + b_2 i^2, \quad (3)$$

для яких визначено F -критерій Фішера, відносно відхилення v дійсних значень y_i від прогнозних і множинне кореляційне відношення R' (табл. 3).

Таблиця 3

Дані для перевірки адекватності рівнянь регресії

Вид рівняння	D_3	F	$F_{\text{табл}}$	$v, \%$	R'
Середня швидкість зіткнення відчепів на сортувальних коліях					
1	0,0004675	41,07	1,45	1,1	0,988
2	0,0007922	24,24		1,4	0,980
3	0,0017675	10,86		2,1	0,954
Середня довжина «вікна» на один перероблений вагон					
1	0,8553550	64,26	1,45	4,3	0,992
2	0,8979960	61,21		4,4	0,992
3	1,7606880	31,22		5,8	0,984
Середня кількість операцій осаджування на один вагон					
1	0,0000028	64,00	1,45	3,8	0,992
2	0,0000029	61,04		3,9	0,992
3	0,0000058	31,13		5,2	0,984

Дані табл. 3 свідчать про виконання всіх умов адекватності для трьох видів рівнянь регресії. Отже, зв'язок між похибкою гальмування відчепів, ухилом сортувальних колій і показниками роботи сортувальної гірки можна описати рівняннями регресії виду

$\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^2 + b_2 i^2$, як найпростішим з розглянутих.

Наявність нелінійного зв'язку між окремими факторами та показниками роботи сортувальної гірки, а також можливість його адекватного опису дозволяють встановити вид двофакторного рівняння регресії $\hat{y} = f(\sigma_v, i; b_0, b_1, \dots, b_k)$ з урахуванням впливу вагової категорії вагонів у потоці, що підлягає розформуванню, та кількості вагонів у відчепі.

Рівняння регресії для опису зв'язку між похибкою гальмування σ_v , ухилом сортувальних колій i та середньою швидкістю зіткнення відчепів на них отримано для двох співвідношень (табл. 4).

Таблиця 4

Співвідношення, що розглядаються, під час експерименту

Співвідношення	Вагова категорія вагонів	Кількість вагонів у відчепі
Середня швидкість зіткнення відчепів на сортувальних коліях		
1	варіанти 1-3	варіанти 1-8
2	варіанти 3-8	варіанти 1-8
Середня довжина «вікна» або кількість операцій осаджування на один перероблений вагон		
1	варіанти 1-2	варіанти 1-2
2		варіанти 2-3
3		варіанти 3-4
4		варіанти 4-6
5		варіанти 6-8
6	варіанти 2-4	варіанти 1-2
7		варіанти 2-3
8		варіанти 3-4
9		варіанти 4-6
10	варіанти 4-8	варіанти 6-8
11		варіанти 1-2
12		варіанти 2-3
13		варіанти 3-4
14		варіанти 4-6
15		варіанти 6-8

Рівняння регресії для опису зв'язку між похибкою σ_v , ухилом i та середньою довжиною «вікна» або кількістю операцій осаджування на один перероблений вагон з урахуванням впливу вагової категорії вагонів і кількості вагонів у відчепі отримано для п'ятнадцяти співвідношень (див. табл. 4).

Для визначення рівняння регресії виконано активний регресійний експеримент з програмним управлінням за планом, який розроблено для середньої швидкості зіткнення відчепів на коліях сортувального парку (табл. 5) і середньої довжини «вікна» або кількості операцій осаджування на один перероблений вагон (табл. 6) окремо.

Під час проведення експерименту частота появи вагонів різної вагової категорії та появи відчепів із різною кількістю вагонів для кожного випадку варіювалася на верхньому (ВР) і нижньому (НР) рівнях, що дозволило зменшити кількість дослідів, не погіршуючи при цьому адекватності експерименту. Похибка гальмування варіювалася у межах 0,1...1 м/с з кроком 0,1 м/с. Ухил сортувальних колій варіювався у межах 0,6...2,0 % із кроком 0,2 %.

**План проведення експерименту для отримання значень середньої швидкості
зіткнення відцепів на коліях сортувального парку**

Співвідношення	Вагова категорія вагонів		Кількість вагонів у відцепі		Співвідношення	Вагова категорія вагонів		Кількість вагонів у відцепі	
	Рівень	Варіант	Рівень	Варіант		Рівень	Варіант	Рівень	Варіант
1	ВР	1	ВР	1	2	ВР	3	ВР	1
	ВР	1	ПР	3		ВР	3	ПР	3
	НР	3	ВР	1		НР	8	ВР	1
	НР	3	ПР	3		НР	8	ПР	3
	ВР	1	ПР	4		ВР	3	ПР	4
	ВР	1	НР	8		ВР	3	НР	8
	НР	3	ПР	4		НР	8	ПР	4
	НР	3	НР	8		НР	8	НР	8

Таблиця 6

**План проведення експерименту для отримання значень середньої довжини «вікна» або кількості операцій
осаджування на один перероблений вагон**

Співвідношення	Вагова категорія вагонів		Кількість вагонів у відцепі		Співвідношення	Вагова категорія вагонів		Кількість вагонів у відцепі	
	Рівень	Варіант	Рівень	Варіант		Рівень	Варіант	Рівень	Варіант
1	ВР	1	ВР	1	9	ВР	2	ВР	4
	ВР	1	НР	2		ВР	2	НР	6
	НР	2	ВР	1		НР	4	ВР	4
	НР	2	НР	2		НР	4	НР	6
2	ВР	1	ВР	2	10	ВР	2	ВР	6
	ВР	1	НР	3		ВР	2	НР	8
	НР	2	ВР	2		НР	4	ВР	6
	НР	2	НР	3		НР	4	НР	8
3	ВР	1	ВР	3	11	ВР	4	ВР	1
	ВР	1	НР	4		ВР	4	НР	2
	НР	2	ВР	3		НР	8	ВР	1
	НР	2	НР	4		НР	8	НР	2
4	ВР	1	ВР	4	12	ВР	4	ВР	2
	ВР	1	НР	6		ВР	4	НР	3
	НР	2	ВР	4		НР	8	ВР	2
	НР	2	НР	6		НР	8	НР	3
5	ВР	1	ВР	6	13	ВР	4	ВР	3
	ВР	1	НР	8		ВР	4	НР	4
	НР	2	ВР	6		НР	8	ВР	3
	НР	2	НР	8		НР	8	НР	4
6	ВР	2	ВР	1	14	ВР	4	ВР	4
	ВР	2	НР	2		ВР	4	НР	6
	НР	4	ВР	1		НР	8	ВР	4
	НР	4	НР	2		НР	8	НР	6
7	ВР	2	ВР	2	15	ВР	4	ВР	6
	ВР	2	НР	3		ВР	4	НР	8
	НР	4	ВР	2		НР	8	ВР	6
	НР	4	НР	3		НР	8	НР	8
8	ВР	2	ВР	3					
	ВР	2	НР	4					
	НР	4	ВР	3					
	НР	4	НР	4					

З усієї розглянутої сукупності двофакторних рівнянь регресії за принципом найменшої за-

лишкової дисперсії D_3 обрано поліном другого ступеню виду (2).

Для рівнянь регресії, що описують зв'язок між похибкою σ_v , ухилом i та:

1) середньою швидкістю зіткнення відчепів – $D_3 = 0,002191...0,003724$ (м/с)², $F(10,17...12,52) > F_{\text{табл}}(1,00)$, $v(2,0...3,1) < 10\%$, $R'(0,95...0,96) \geq 0,95$;

2) середньою довжиною «вікна» на один перероблений вагон – $D_3 = 0,806690...2,991301$ (м/вагон)², $F(10,89...23,09) > F_{\text{табл}}(1,26)$, $v(7,8...9,9) < 10\%$, $R'(0,95...0,98) \geq 0,95$;

3) середньою кількістю операцій осаджування на один перероблений вагон – $D_3 = 0,000004...0,000014$ (операцій/вагон)², $F(8,31...25,47) > F_{\text{табл}}(1,26)$, $v(7,3...9,8) < 10\%$, $R'(0,95...0,98) \geq 0,95$.

Таким чином, зв'язок між похибкою гальмування відчепів, ухилом сортувальних колій і показниками роботи сортувальної гірки з урахуванням впливу вагової категорії вагонів і кількості вагонів у відчепі адекватно описується рівняннями регресії у вигляді поліному другого ступеню виду:

$$\hat{y} = b_0 + b_1\sigma_v + b_2i + b_{12}\sigma_v i + b_{11}\sigma_v^2 + b_{22}i^2.$$

Висновки

1. Отримано однофакторне рівняння регресії, яке з урахуванням параметрів вагонопотоку адекватно описує зв'язок між похибкою гальмування відчепів σ_v і середньою довжиною «вікна» або кількістю операцій осаджування на один перероблений вагон.

2. Урахування впливу на показники роботи гірки вагової категорії вагонів є можливим шляхом отримання рівнянь регресії для трьох випадків – коли частота появи у потоці, що переробляється, вагонів важкої та середньо-важкої вагової категорії складає: 1) 75 % і більше; 2) 55...75 %; 3) менш, ніж 55 %.

3. Урахування впливу на показники роботи гірки кількості вагонів у відчепі є можливим шляхом отримання рівнянь регресії для п'яти випадків – коли частота появи у потоці, що переробляється, відчепів з 1 вагону та 5 і більше вагонів складає: 1) 70...80 % і 15...5 %, відповідно; 2) 60...70 % і 25...15 %, відповідно; 3) 50...60 % і 35...25 %, відповідно; 4) 30...50 % і 55...35 %, відповідно; 5) 10...30 % і 75...55 %, відповідно.

4. Отримано двофакторні рівняння регресії, які адекватно описують зв'язок між похибкою гальмування σ_v , ухилом сортувальних колій i та показниками роботи сортувальної гірки.

5. Отримано рівняння регресії, яке адекватно описує зв'язок між похибкою гальмування σ_v , ухилом i та середньою швидкістю зіткнення відчепів на коліях сортувального парку з урахуванням параметрів вагонопотоку. Останнє є можливим шляхом отримання рівнянь регресії для двох випадків – коли частота появи у потоці, що переробляється, вагонів важкої та середньо-важкої вагової категорії складає: 1) 65 % і більше; 2) менш, ніж 65 %.

6. Отримано рівняння регресії, які адекватно описують зв'язок між похибкою гальмування σ_v , ухилом i та середньою довжиною «вікна» або кількістю операцій осаджування на один перероблений вагон з урахуванням параметрів вагонопотоку. Останнє є можливим шляхом отримання рівнянь регресії для п'ятнадцяти співвідношень, у яких сполучаються три випадки щодо вагової категорії вагонів і п'ять випадків щодо кількості вагонів у відчепі.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Журавель, В. В. Точність гальмування, вага вагонів і показники роботи сортувальної гірки [Текст] / В. В. Журавель, Г. І. Музикіна, І. Л. Журавель // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 5. – С. 46-48.
2. Журавель, В. В. Точність гальмування, кількість вагонів у відчепі та показники роботи сортувальної гірки [Текст] / В. В. Журавель // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – № 28. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 133-136.
3. 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.
4. Шторм, Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества [Текст] / Р. Шторм. – М.: Мир, 1970. – 368 с.
5. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул [Текст] : учеб. пособие / Е. Н. Львовский. – М.: Высш. шк., 1982. – 224 с.
6. Негрей, Н. П. Прогнозирование размеров работы сортировочных станций с помощью статистических методов [Текст] / Н. П. Негрей; под ред. Н. В. Правдина // Проблемы проектирования станций и узлов : Межвуз. сб. науч. статей. – Гомель: БелИИЖТ, 1984. – С. 10-21.

Надійшла до редколегії 19.04.2010.

Прийнята до друку 20.04.2010.