

ТОЧНІСТЬ ГАЛЬМУВАННЯ, КІЛЬКІСТЬ ВАГОНІВ У ВІДЧЕПІ ТА ПОКАЗНИКИ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ

Встановлено вид рівнянь регресії, які адекватно описують зв'язок між похибкою гальмування відчепів і середньою швидкістю їх зіткнення на сортувальних коліях, середньою довжиною «вікна» та середньою кількістю операцій осаджування на один перероблений вагон з урахуванням впливу кількості вагонів у відчепі.

Установлен вид уравнений регрессии, адекватно описывающих связь между ошибкой торможения отцепов и средней скоростью их соударения на сортировочных путях, средней длиной «окна» и средним количеством операций осаживания на один переработанный вагон с учетом влияния количества вагонов в отцепе.

A form of regression equations is determined, which adequately describe a correlation between the error of braking of cuts and the average speed of their collision on hump tracks, the average length of «window» and the average quantity of setting operations per processed wagon taking into account an influence of quantity of wagons in a cut.

Актуальною проблемою у наш час є забезпечення збереження вагонів і вантажів, що перевозяться, а також зменшення тривалості виконання маневрових операцій і пов'язаних з ними витрат паливно-енергетичних ресурсів. Внаслідок цього суттєво зростають вимоги до якості регулювання швидкості скочування відчепів з сортувальної гірки і особливо прицільного регулювання.

Пошкодження вагонів під час сортування відбувається, в основному, внаслідок зіткнення вагонів з перевищенням нормованої швидкості 5 км/год. При цьому, окрім витрат на ремонт, мають місце втрати перевізних ресурсів внаслідок направлення вагонів у ремонт. У разі пошкодження, псування або втрати вантажу залізниця має відшкодувати вантажовласникам їх збитки.

Від якості регулювання швидкості скочування також залежить величина «вікон» між групами вагонів на сортувальних коліях і витрати, що пов'язані з їх ліквідацією.

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, кількістю вагонів у відчепі, типом вагонів.

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

Показники роботи гірки визначено на підставі результатів імітаційного моделювання проце-

су розформування составів. В імітаційній моделі загальна енергія кожного відчепу, 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 відчепу, крутизни ухилу сортувальних колій, яка становила 0,6 %, 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].

Під час досліджень похибка гальмування (середньоквадратичне відхилення похибки розрахунку та реалізації швидкості виходу відчепів з гальмової позиції σ_v) варіювалася у межах від 0,1 м/с до 1 м/с. Крім того, для кожного значення похибки гальмування розглянуто вісім варіантів, які відрізняються частотою появи у потоці, що переробляється, відчепів з різною кількістю вагонів. Характеристику варіантів наведено в табл. 1.

Аналіз отриманих даних показав, що між похибкою гальмування відчепів і показниками роботи гірки, а також між кількістю вагонів у відчепі та показниками роботи гірки є певний нелінійний кореляційний зв'язок, для оцінки тісноти якого використано кореляційне відношення η [2].

Отримані результати дозволили встановити наступне:

Таблиця 1

Частоти появи відцепів з різною кількістю вагонів, %

Кількість вагонів у відцепі	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

1. Вплив похибки гальмування відцепів є суттєвим, а вплив кількості вагонів у відцепі, є майже відсутнім на такі показники:

- частоту зіткнення відцепів на коліях сортувального парку ($\eta=0,98$ і $\eta=0,16$, відповідно);
- середню швидкість зіткнення відцепів на коліях сортувального парку ($\eta=0,93$ і $\eta=0,1$, відповідно);
- середньоквадратичне відхилення швидкості зіткнення відцепів на коліях сортувального парку ($\eta=0,9$ і $\eta=0,05$, відповідно).

2. Вплив похибки гальмування є значно більшим, ніж вплив кількості вагонів у відцепі, на частоту зіткнення відцепів на коліях сортувального парку зі швидкістю більш як 5 км/год ($\eta=0,87$ і $\eta=0,46$, відповідно).

3. Майже однаковий вплив похибка гальмування та кількість вагонів у відцепі мають на такі показники:

- середню довжину «вікна» на один перероблений вагон ($\eta=0,51$ і $\eta=0,41$ відповідно);
- середню кількість операцій осаджування на один перероблений вагон ($\eta=0,56$ і $\eta=0,45$, відповідно).

Наявність нелінійного кореляційного зв'язку між похибкою гальмування відцепів і показниками роботи сортувальної гірки дозволяє встановити вид рівнянь регресії, коефіцієнти яких визначаються методом найменших квадратів [2].

Під час досліджень використовувалися 40 можливих видів рівнянь регресії, з яких для подальшого розгляду рівняння обиралися за принципом найменшої залишкової дисперсії D_3 [3].

Для перевірки адекватності опису результатів експериментів рівнянням регресії використано F -критерій Фішера [4] і відносне відхилення v дійсних значень y_i від прогнозних [5]. Прийнято, що рівняння регресії є адекватним, якщо розраховане значення F -критерію більше табличного $F_{\text{табл}}$ при ймовірності помилки 5 % і відносне відхилення $v \leq 10$ %.

Виконаний аналіз дозволив встановити, що зв'язок між похибкою гальмування відцепів σ_v і середньою швидкістю їх зіткнення на коліях сортувального парку можна описати рівняннями регресії виду:

$$\bar{v}_3 = b_0 + b_1 e^{-\sigma_v} + b_2 e^{-\sigma_v^2}; \quad (1)$$

$$\bar{v}_3 = b_0 + b_1 \sigma_v^{0,5} + b_2 \sigma_v; \quad (2)$$

$$\bar{v}_3 = b_0 + b_1 \sigma_v^2. \quad (3)$$

При цьому, $D_3 = 0,000544 \dots 0,000731$ (м/с)², $F(20,52 \dots 27,57) > F_{\text{табл}}(1,63)$, $v = 1,1\% < 10\%$.

Таким чином, зв'язок між похибкою гальмування відцепів і середньою швидкістю їх зіткнення на коліях сортувального парку можна описати рівнянням регресії виду 3 – $\bar{v}_3 = b_0 + b_1 \sigma_v^2$, як найпростішим із розглянутих.

Дослідні дані та криву регресії, яка описує зв'язок між похибкою гальмування відцепів і середньою швидкістю їх зіткнення на коліях сортувального парку, наведено на рис. 1.

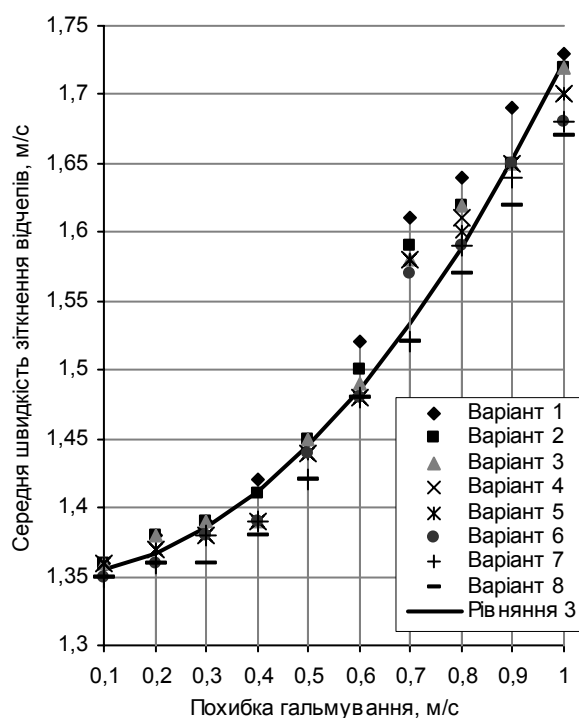


Рис. 1. Дослідні дані та крива регресії, яка описує зв'язок між похибкою гальмування відцепів і середньою швидкістю їх зіткнення на коліях сортувального парку

Для опису всієї отриманої в процесі імітаційного моделювання сукупності значень середньої довжини «вікна» у розрахунку на один перероблений вагон за принципом найменшої залишкової дисперсії ($D_3 = 26,1477$ (м/вар)²) обрано рівняння регресії виду

$$l_{\text{вік}} = b_0 + b_1\sigma_v + b_2\sigma_v^2.$$

Але для цього рівняння не виконується перевірка адекватності за F -критерієм Фішера $F(1,33) < F_{\text{табл}}(1,63)$ та відносним відхиленням $v = 22,1\% > 10\%$.

Невиконання цих умов пов'язано з тим, що кореляційне відношення похибки гальмування відчепів і середньої довжини «вікна» у розрахунку на один перероблений вагон ($\eta = 0,51$) є досить далеким від 1, а також з наявністю певного впливу на цей показник кількості вагонів у відчепі ($\eta = 0,41$).

Врахувати вплив кількості вагонів у відчепі виявилось можливим, якщо розділити всю сукупність дослідних значень середньої довжини «вікна» 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 у потоці, що переробляється, відчепів з 1 вагону складає менш ніж 60 % (варіанти 4...8).

Виконаний аналіз дозволив встановити, що зв'язок між похибкою гальмування відчепів σ_v і середньою довжиною «вікна» у розрахунку на один перероблений вагон для обох випадків можна описати рівняннями регресії виду:

$$l_{\text{вік}} = b_0 + b_1\sigma_v + b_2\sigma_v^2; \quad (4)$$

$$l_{\text{вік}} = b_0 + b_1\sigma_v^2. \quad (5)$$

При цьому для випадку:

1) $D_3 = 4,56908...4,58479$ (м/ваг)²,
 $F(8,94...8,91) > F_{\text{табл}}(1,87)$, $v = 9,8\% < 10\%$;

2) $D_3 = 2,72754...2,72760$ (м/ваг)²,
 $F(5,51) > F_{\text{табл}}(1,69)$, $v = 9,9\% < 10\%$.

Таким чином, зв'язок між похибкою гальмування відчепів і середньою довжиною «вікна» у розрахунку на один перероблений вагон можна описати рівнянням регресії виду 5 – $l_{\text{вік}} = b_0 + b_1\sigma_v^2$, як найпростішим з розглянутих.

Дослідні дані та криві регресії, які описують зв'язок між похибкою гальмування відчепів і середньою довжиною «вікна» у розрахунку на один перероблений вагон, наведено на рис. 2.

Для опису всієї отриманої в процесі імітаційного моделювання сукупності значень середньої кількості операцій осаджування у розрахунку на один перероблений вагон за принципом найменшої залишкової дисперсії ($D_3 = 0,000012$ (операцій/ваг)²) обрано рівняння регресії виду

$$P_{\text{ос}} = b_0 + b_1e^{-\sigma_v} + b_2e^{-\sigma_v^2}.$$

Для цього рівняння виконується перевірка адекватності за F -критерієм Фішера $F(9,58) > F_{\text{табл}}(1,63)$, але не виконується перевірка за відносним відхиленням $v = 18,4\% > 10\%$.

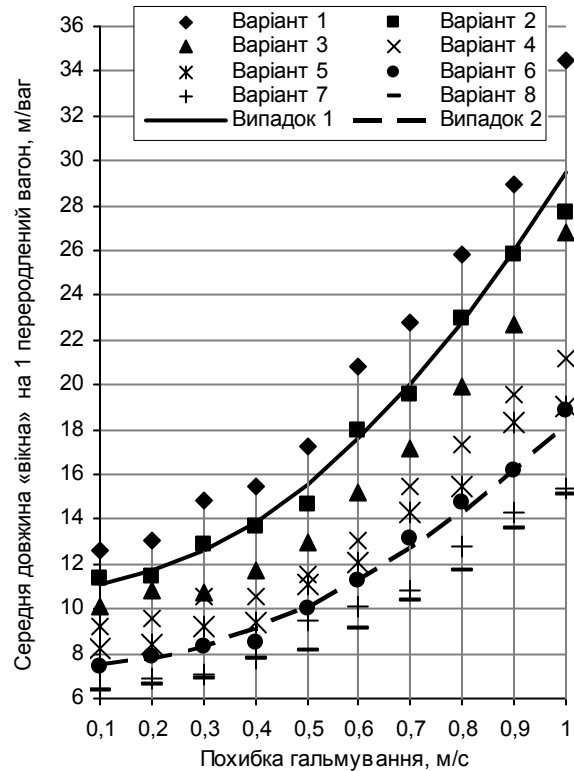


Рис. 2. Дослідні дані та криві регресії, які описують зв'язок між похибкою гальмування відчепів і середньою довжиною «вікна» у розрахунку на один перероблений вагон

Невиконання другої умови пов'язане з тим, що кореляційне відношення похибки гальмування відчепів і середньої кількості операцій осаджування у розрахунку на один перероблений вагон ($\eta = 0,56$) є досить далеким від 1, а також з наявністю певного впливу на цей показник кількості вагонів у відчепі ($\eta = 0,45$).

Урахування впливу кількості вагонів у відчепі є можливим завдяки поділу всієї сукупності дослідних значень середньої кількості операцій осаджування у розрахунку на один перероблений вагон на частини та розгляду двох випадків, які вказано вище.

Виконаний аналіз дозволив встановити, що зв'язок між похибкою гальмування відчепів σ_v і середньою кількістю операцій осаджування у розрахунку на один перероблений вагон для обох випадків можна описати рівняннями регресії виду:

$$P_{\text{ос}} = \ln(b_0 + b_1\sigma_v + b_2\sigma_v^2); \quad (6)$$

$$P_{oc} = b_0 + b_1 \sigma_v^2. \quad (7)$$

При цьому для випадку:

$$1) D_3 = 0,000012 (\text{операцій/ваг})^2, \\ F(10,92) > F_{\text{табл}}(1,87), \nu = 7,8\% < 10\% ;$$

$$2) D_3 = 0,000009 (\text{операцій/ваг})^2, \\ F(5,89) > F_{\text{табл}}(1,69), \nu = 9,8\% < 10\% .$$

Таким чином, зв'язок між похибкою гальмування відцепів і середньою кількістю операцій осаджування у розрахунку на один перероблений вагон можна описати рівнянням регресії виду 7 – $P_{oc} = b_0 + b_1 \sigma_v^2$, як найпростішим з розглянутих.

Дослідні дані та криві регресії, які описують зв'язок між похибкою гальмування відцепів і середньою кількістю операцій осаджування у розрахунку на один перероблений вагон, наведено на рис. 3.

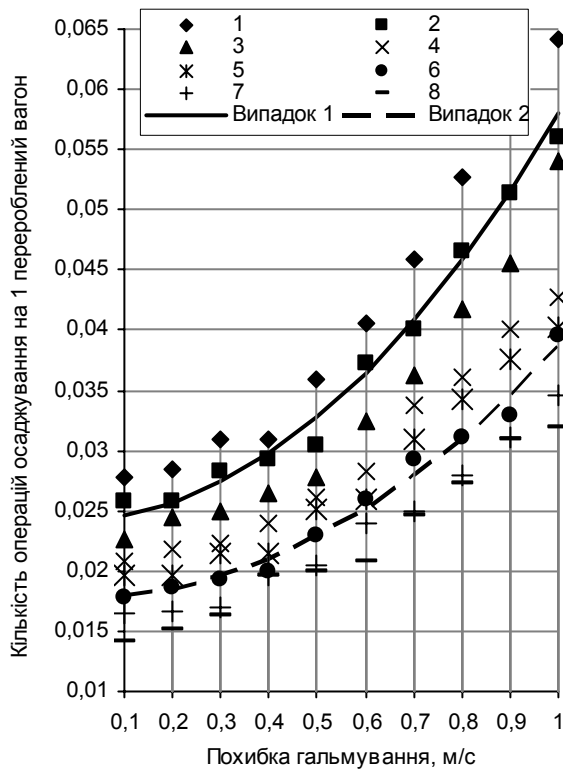


Рис. 3. Дослідні дані та криві регресії, які описують зв'язок між похибкою гальмування відцепів і середньою кількістю операцій осаджування у розрахунку на один перероблений вагон

Висновки

1. Зв'язок між похибкою гальмування та середньою швидкістю зіткнення відцепів на коліях сортувального парку, середньою довжиною «вікна» або середньою кількістю операцій осаджування на один перероблений вагон можна адекватно описати рівнянням регресії виду

$$y = b_0 + b_1 \sigma_v^2. \quad (8)$$

Коефіцієнти рівняння наведено у табл. 2.

2. Урахування впливу кількості вагонів у відцепі є можливим завдяки поділу всієї сукупності дослідних значень на частини та розгляду двох випадків:

1) коли частота появи відцепів з 1 вагону складає 60 % і більше;

2) коли частота появи таких відцепів складає менш, ніж 60 %.

Таблиця 2

Коефіцієнти рівняння регресії		
Кількість вагонів у відцепі	Коефіцієнти рівняння	
	b_0	b_1
Середня швидкість зіткнення відцепів на коліях сортувального парку		
усі розглянуті варіанти	1,352	0,372
Середня довжина «вікна» на один перероблений вагон		
випадок 1	10,927	18,574
випадок 2	7,373	10,823
Середня кількість операцій осаджування на один перероблений вагон		
випадок 1	0,024	0,034
випадок 2	0,018	0,021

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. 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.
3. Шторм, Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества [Текст] / Р. Шторм. – М.: Мир, 1970. – 368 с.
4. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул [Текст] : учеб. пособие / Е. Н. Львовский. – М.: Высш. шк., 1982. – 224 с.
5. Негрей, Н. П. Прогнозирование размеров работы сортировочных станций с помощью статистических методов [Текст] / Н. П. Негрей // Проблемы проектирования станций и узлов: Межвуз. сб. науч. статей / под ред. Н. В. Правдина. – Гомель: БелИИЖТ, 1984. – С. 10-21.

Надійшла до редколегії 04.06.2009.

Прийнята до друку 17.06.2009.