

---

ВИКОРИСТАННЯМ АНАЛІТИЧНОГО ТА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ  
ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ХОДОВОГО ОПОРУ  
РУХУ ВАГОНІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ

Жуковицький І.В. д.т.н, Устенко А.Б. к.т.н., Дзюба В.В.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім.  
академіка В. Лазаряна*

**Вступ.** Точність визначення ходового опору вагонів  $W$  в інформаційно-керуючій системі скочування відцепів (групи вагонів) на сортувальних гірках є важливою передумовою якості регулювання швидкості їх скочування. Для забезпечення такої точності використовують зокрема вимірювання прискорення вагонів на контрольних ділянках, що оснащені датчиками прослідування коліс. При цьому зазвичай застосовується схема із використанням трьох датчиків, які утворюють дві суміжні контрольних ділянки вимірювання ходового опору вагону довжиною відповідно  $l_1$  і  $l_2$  для вимірювання часу прослідування вагоном цих ділянок –  $t_1$  і  $t_2$ . Випадкові похибки таких трьох датчиків  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  обумовлюють похибки визначення довжини контрольних ділянок вимірювання швидкості, а отже й похибку оцінювання власно величини ходового опору  $\Delta W$ . Тому важливим є оцінка залежності похибки вимірювання ходового опору вагону від похибки роботи точкових датчиків прослідування коліс.

**Основна частина.** В [1,2] показано, що при вимірюванні ходового опору вагону шляхом вимірювання часу проходження вагона по двох суміжних вимірювальних ділянках значення ходового опору можливо визначити за формулою:

$$W = 2 \frac{(l_1 t_2 - l_2 t_1) 10^3}{g' t_1 t_2 (t_1 + t_2)} + \frac{i_1 t_1 + i_2 t_2}{t_1 + t_2} . \quad (1)$$

Для оцінювання точності вимірювання  $W$  можуть використовуватись аналітичні або імітаційні моделі, які враховують стандартне відхилення похибок датчиків  $\sigma_\delta$ , а також найбільш впливові умови вимірювань, зокрема такі як довжина контрольних ділянок, величина ходового опору, швидкість вагону та ухил колії.

За гіпотезою авторів суттєвим фактором адекватності аналітичної моделі із використанням трьохточкового методу є врахування статистичної залежності помилки зафіксованої датчиками довжини контрольних ділянок. Для підтвердження цієї гіпотези були одержані формули розрахунку стандартного відхилення помилки вимірювання  $W$  для випадків відсутності ( $\sigma[\Delta W]$ ) та наявності ( $\sigma^*[\Delta W]$ ) такого врахування, відповідно (2) та (3):

$$\sigma[\Delta W] = A\sigma_\delta\sqrt{2(t_1^2 + t_2^2)}, \quad (2)$$

$$\sigma^*[\Delta W] = A\sigma_\delta\sqrt{2(t_1^2 + t_2^2 + t_1t_2)}, \quad (3)$$

тут  $A = \frac{2 \times 10^3}{g't_1t_2(t_1 + t_2)}$ ;  $g'$  – константа, що визначена типом вагону;  $\sigma_\delta$  – стандартне

відхилення похибки датчиків.

Виходячи з одержаних формул, легко бачити, що відсутність врахування статистичної залежності зафіксованої датчиками довжини контрольних ділянок зменшує оцінку похибок вимірювання ходового опору.

Для кількісної оцінки такої розбіжності, а також для підтвердження вірності одержаних формул було виконано імітаційне моделювання вимірювання ходового опору вагонів трьох-точковим методом. Імітаційна модель реалізує покрокове моделювання скочування вагонів. Зокрема для можливості порівняння з результатами аналітичного моделювання виконується імітація вимірювання того самого вагону при незмінних початкових умовах і водночас випадкових похибках датчиків.

Імітаційне моделювання підтвердило вірність запропонованих аналітичних моделей. Зокрема при швидкостях вагонів, що характерні для руху сортувальними коліями, розбіжність оцінок на аналітичній та імітаційній моделі може складати біля 1-2%. Також імітаційне моделювання показало, що відсутність врахування статистичної залежності занижує оцінки стандартного відхилення похибки вимірювання приблизно на 20%.

**Висновки.** Таким чином, підтверджено гіпотезу, що врахування статистичної залежності зафіксованої датчиками довжини контрольних ділянок вимірювання ходового опору трьохточковим методом є необхідною

умовою адекватності моделі. При цьому вплив данного фактору на одержані оцінки точності ходового опору є суттєвим.

#### Література

1. Жуковицкий И.В. Использование метода статистических решений для повышения точности идентификации ходового сопротивления отцепов / И.В. Жуковицкий, А.Б. Устенко // Транспортні системи та технології перевезень. Збірник наукових праць Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Вип. 19, 2020. С.55-59. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2020/208696>
2. Жуковицкий И.В. Методы идентификация ходового сопротивления отцепов на участках с переменным уклоном / И.В. Жуковицкий // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. – № 3. – С.17-19.