

ЖУРАВЕЛЬ В. В., ЯНОВСЬКИЙ П. О.

**ТРИВАЛІСТЬ ОСАДЖУВАННЯ ВАГОНІВ ТА ЇХ ПОШКОДЖЕННЯ
ПІД ЧАС СОРТУВАННЯ НА ГІРКАХ**

В умовах сьогодення важливою задачею для залізничного транспорту України є забезпечення термінів доставки вантажів. Одним з розв'язань цього питання є зменшення тривалості знаходження вагонів на технічних станціях, складовою частиною якої є тривалість виконання маневрових операцій з осаджування вагонів на коліях підгіркового парку з метою ліквідації «вікон», що утворюються у процесі розпуску составів з сортувальної гірки.

Параметри таких «вікон» залежать від якості регулювання швидкості скочування відчепів з гірки і, насамперед, прицільного регулювання, яка, крім того, впливає і на швидкість зіткнення вагонів на коліях сортувального парку. Перевищення нормованої величини даної швидкості може викликати пошкодження вагонів і вантажів.

Тривалість осаджування вагонів на коліях сортувального парку.

Питання щодо нормування тривалості осаджування вагонів для ліквідації «вікон» на сортувальних коліях розглядалися у багатьох роботах. На підставі узагальнення досвіду функціонування сортувальних гірок СРСР у роботі [1] середню тривалість осаджування вагонів на сортувальних коліях у розрахунку на один состав запропоновано приймати на рівні 2...3 хв. У роботі [2] даний показник під час розрахунку гіркового технологічного інтервалу запропоновано визначати за формулою:

$$t = a_{\Gamma} + b_{\Gamma} L_{oc},$$

де a_{Γ} – тривалість заїзду локомотива на сортувальну колію для осаджування;

b_{Γ} – тривалість осаджування та повернення локомотива після осаджування;

L_{oc} – довжина колії осаджування, яка залежить від довжини групи вагонів, що осаджується, та середньої довжини сортувальних колій.

У більш пізніх роботах під час нормування технологічних операцій процесу розформування составів на сортувальних гірках середня тривалість осаджування вагонів на сортувальних коліях у розрахунку на один состав визначалася в залежності від кількості вагонів у составі поїзда m_c за виразом $t_{oc} = 0,04m_c$ [3] або $t_{oc} = 0,03m_c$ [4], який надалі [5] було замінено на вираз

$$t_{oc} = 0,06m_c, \quad (1)$$

де 0,06 – коефіцієнт, що виражає витрати локомотиво-хвилин на осаджування одного вагона, який спустили з гірки.

Незважаючи на те, що вираз (1) не враховує особливостей конструкції та технології роботи конкретних сортувальних гірок, параметрів вагонопотоків, які на них переробляються, їм користуються і зараз під час перевірки працездатності станцій [6].

Згідно [7] середня тривалість осаджування вагонів для ліквідації «вікон» на сортувальних коліях у розрахунку на один состав визначається з виразу

$$t_{oc} = m_c \left[2P_{oc}t_1 + 0,06l_{\text{вік}} \left(\frac{1}{v_{oc}} + \frac{1}{v_{л}} \right) \right], \quad (2)$$

де P_{oc} – середня кількість операцій осаджування на один перероблений вагон;

t_1 – тривалість піврейса заїзду на сортувальну колію поодинокого локомотива, хв;

$l_{\text{вік}}$ – середня довжина «вікна» на один перероблений вагон, м;

v_{oc} – швидкість осаджування, км/год;

$v_{л}$ – швидкість руху поодинокого локомотива сортувальною колією під час його повернення в бік горба гірки після виконання осаджування, яка обмежується вимогами [8], км/год.

Значення P_{oc} і $l_{\text{вік}}$ можна отримати в результаті імітаційного моделювання процесу розформування составів на сортувальній гірці [7].

Елемент виразу (2) у дужках являє собою середню тривалість осаджування у розрахунку на один вагон

$$t'_{oc} = 2P_{oc}t_1 + 0,06l_{\text{вік}}\left(\frac{1}{v_{oc}} + \frac{1}{v_l}\right). \quad (3)$$

Тоді вираз (2) можна представити у вигляді

$$t_{oc} = m_c t'_{oc}.$$

На середню кількість операцій осаджування та довжину «вікна» на один перероблений вагон впливає похибка гальмування відчепів (середньоквадратична помилка розрахунку та реалізації швидкостей їх виходу з гальмових позицій) σ_v , ухил сортувальних колій i та параметри вагонопотоку, що переробляється на сортувальній гірці (вагова категорія вагонів і кількість вагонів у відчепі).

Під час досліджень розглянуто сортувальну гірку великої потужності з параметрами, які наведено у [9]. Основні вихідні дані для моделювання наведено у [10]. При цьому похибка гальмування σ_v для кожної гальмової позиції варіювалася у межах 0,1...1,0 м/с з кроком 0,1 м/с, ухил сортувальних колій варіювався у межах 0,6...2,0 ‰ з кроком 0,2 ‰.

Аналіз результатів імітаційного моделювання показав, що між основними факторами та P_{oc} або $l_{\text{вік}}$ має місце певний кореляційний нелінійний зв'язок [10], наявність якого надала можливість встановити регресійні моделі для визначення даних показників процесу розформування составів. Адекватною моделлю для визначення середньої довжини «вікна» або кількості операцій осаджування на один перероблений вагон у залежності від похибки гальмування σ_v та ухилу i з урахуванням параметрів вагонопотоку, що переробляється, є поліном другого ступеню виду

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

Врахування параметрів вагонопотоку є можливим шляхом отримання коефіцієнтів моделі для п'ятнадцяти співвідношень (табл. 1), у яких сполучаються три варіанти щодо вагової категорії вагонів і п'ять варіантів щодо кількості вагонів у відчепі.

Таблиця 1

Співвідношення, що розглянуто, під час досліджень

Співвідношення	Частота появи у потоці, що переробляється		
	вагонів важкої та середньо-важкої вагової категорії	відчепів	
		з 1 вагону	з 5 і більше вагонів
1	75 % і більше	70...80 %	15...5 %
2		60...70 %	25...15 %
3		50...60 %	35...25 %
4		30...50 %	55...35 %
5		10...30 %	75...55 %
6	55...75 %	70...80 %	15...5 %
7		60...70 %	25...15 %
8		50...60 %	35...25 %
9		30...50 %	55...35 %
10		10...30 %	75...55 %
11	менш ніж 55 %	70...80 %	15...5 %
12		60...70 %	25...15 %
13		50...60 %	35...25 %
14		30...50 %	55...35 %
15		10...30 %	75...55 %

З метою оцінки адекватності значень середньої тривалості осаджування на один вагон t'_{oc} у разі використання для її розрахунку за виразом (3) P_{oc} і $l_{в\dot{и}к}$, які отримано за результатами імітаційного моделювання і за регресійною моделлю, виконано перевірку гіпотези про приналежність цих

значень до однієї генеральної сукупності. Під час досліджень середня довжина піврейса заїзду на сортувальну колію поодинокого локомотива становила 360 м, швидкість осаджування – 5 км/год, швидкість руху поодинокого локомотива сортувальною колією під час його повернення в бік горба гірки після виконання осаджування – 15 км/год.

Насамперед, за допомогою подвійного t -критерію Стьюдента \hat{t} перевірено гіпотезу H_0 про рівність середніх значень. Гіпотеза H_0 приймається [11], якщо $|\hat{t}| < t_{\alpha; m}$ (де $t_{\alpha; m}$ – межа t -критерію у разі ймовірності помилки $\alpha = 0,05$). Крім того, за допомогою F -критерію Фішера \hat{F} перевірено гіпотезу H_0 про рівність дисперсій. Гіпотеза H_0 приймається [11], якщо $\hat{F} < F_{\alpha; m_1, m_2}$ (де $F_{\alpha; m_1, m_2}$ – межа F -критерію у разі ймовірності помилки $\alpha = 0,05$). Для підвищення достовірності твердження про адекватність одержаних даних використаний U -критерій Уїлкоксона u_x та u_y , за допомогою якого перевірено гіпотезу H_0 про те, що функції розподілу $F(x)$ і $F(y)$ двох генеральних сукупностей однакові. Гіпотеза H_0 приймається [11], якщо $\min(u_x, u_y) > U_{n_x, n_y, \alpha}$ (де $U_{n_x, n_y, \alpha}$ – критичне значення U -критерію у разі рівня значущості $\alpha = 0,05$).

Для п'ятнадцяти розглянутих співвідношень параметрів вагонопотоку, що переробляється на сортувальній гірці, (див. табл. 1):

- значення \hat{t} коливається в діапазоні -0,00014...0,00162, що є меншим за межу $t = 1,96$;
- значення \hat{F} коливається в діапазоні 1,03...1,11, що є меншим за межу $F = 1,36$;
- значення $\min(u_x, u_y)$ коливається в діапазоні 12667...12753, що є більшим за критичне значення $U = 10987,17$.

Таким чином, значення середньої тривалості осаджування на один вагон t'_{oc} у разі використання для її розрахунку середньої кількості операцій

осаджування та довжини «вікна» на один перероблений вагон, які отримано за результатами імітаційного моделювання та за регресійними моделями, належать до однієї генеральної сукупності та є адекватними.

Також середня тривалість осаджування у розрахунку на один вагон залежить від тривалості піврейса заїзду на сортувальну колію поодинокого локомотива t_1 та швидкості руху поодинокого локомотива сортувальною колією під час його повернення в бік горба гірки після виконання осаджування $v_{\text{л}}$.

Для визначення впливу цих двох факторів:

- довжина піврейса заїзду на сортувальну колію поодинокого локомотива l_1 варіюється в межах від 201 м до 460 м, а саме: 1) 201...260 м, 2) 261...320 м, 3) 321...380 м, 4) 381...460 м;

- значення $v_{\text{л}}$ варіюється в межах від 5 до 40 км/год, а саме: 1) 5 км/год, 2) 7 км/год, 3) 10 км/год, 4) 15 км/год, 5) 40 км/год. Верхня межа обумовлюється тим, що згідно [12] допустима швидкість руху кривими радіусом 200 м, які застосовуються у гірковій горловині, становить 40 км/год.

Значення середньої кількості операцій осаджування та довжини «вікна» на один перероблений вагон розраховано за регресійною моделлю.

Для п'ятнадцяти співвідношень параметрів вагонопотоку (див. табл. 1) за виразом (3) визначено середню тривалість осаджування на один вагон $t'_{\text{ос}}$ для чотирьох випадків довжини піврейсу заїзду l_1 і п'яти значень швидкості $v_{\text{л}}$.

Приклад результатів розрахунку $t'_{\text{ос}}$ для співвідношення 1 (коли частота появи у потоці, що переробляється, вагонів важкої та середньо-важкої вагової категорії становить 75 % і більше, а відчепів з одного вагону та з п'яти і більше вагонів становить 70...80 % і 15...5 % відповідно) при ухилі сортувальних колій 0,6 ‰ наведено: на рис. 1 – при швидкості руху поодинокого локомотива сортувальною колією під час його повернення в бік горба гірки після виконання осаджування $v_{\text{л}} = 5$ км/год для чотирьох

випадків довжини піврейса заїзду на сортувальну колію поодинокого локомотива l_1 , на рис. 2 – при $l_1 = 321 \dots 380$ м для п'яти значень швидкості $v_{Д}$.

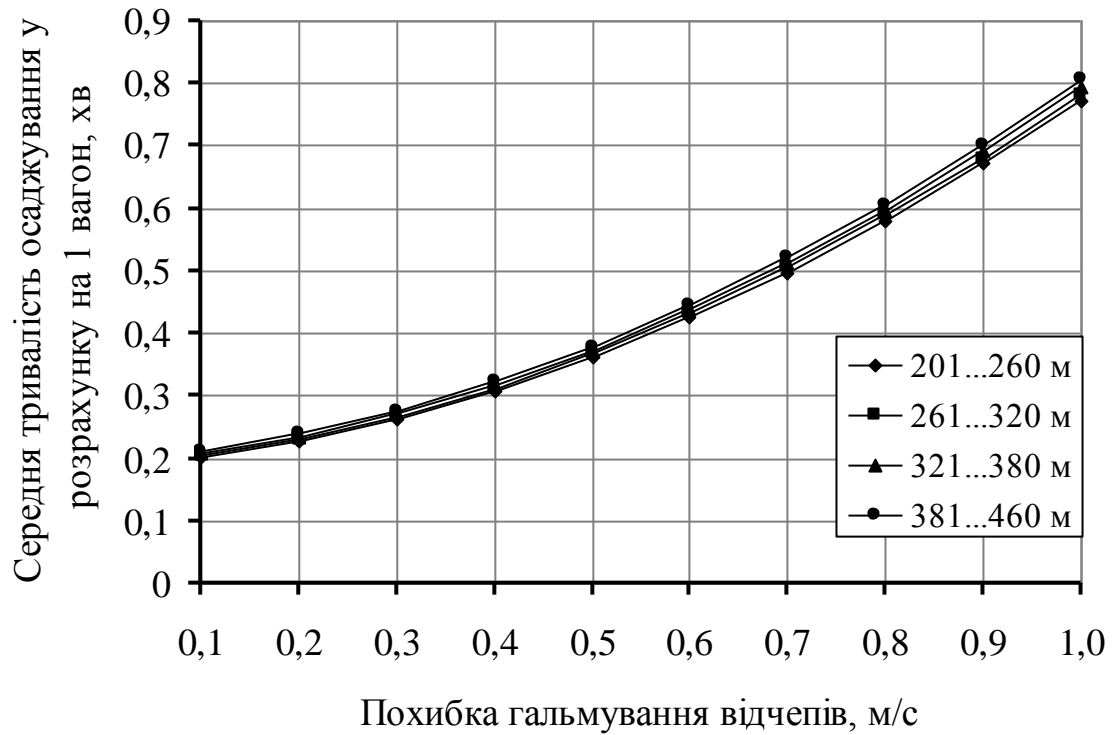


Рис. 1. Криві залежності середньої тривалості осаджування у розрахунку на один вагон від похибки гальмування відчепів при різній довжині піврейса заїзду на сортувальну колію поодинокого локомотива.

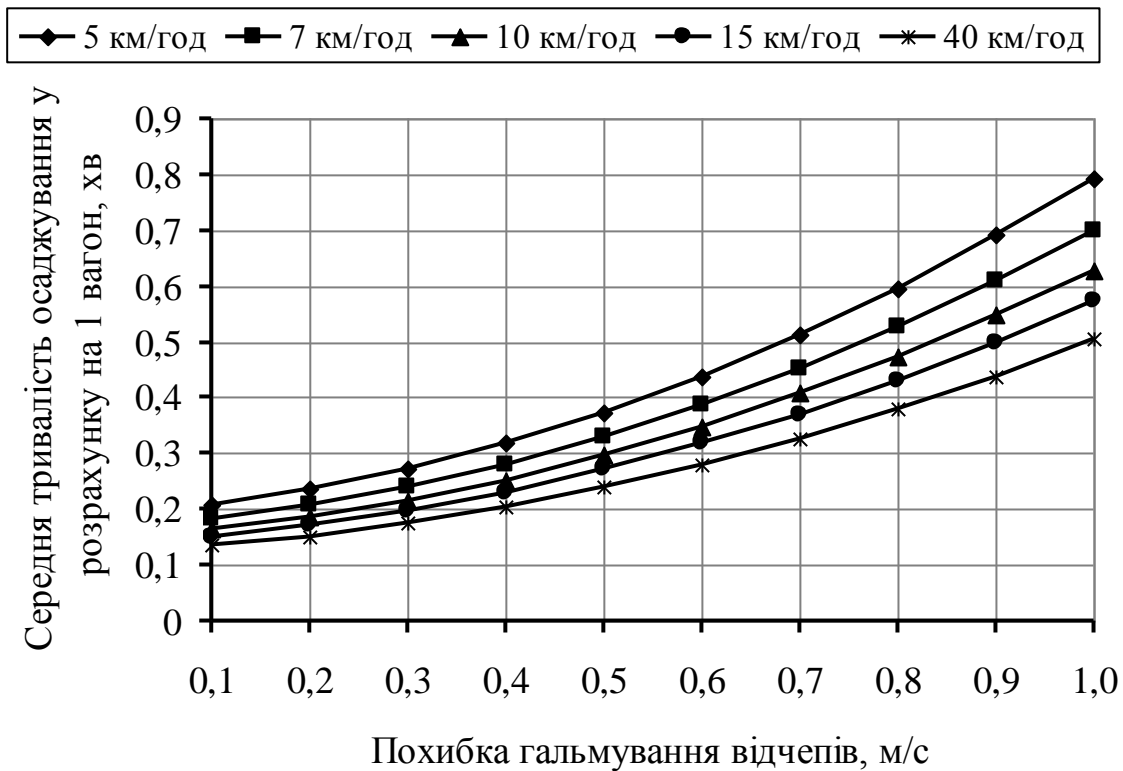


Рис. 2. Криві залежності середньої тривалості осаджування у розрахунку на один вагон від похибки гальмування відчепів при різних швидкості руху поодиноким локомотивом сортувальною колією.

Аналіз отриманих результатів дозволив зробити висновок про незначний вплив тривалості піврейса заїзду на сортувальну колію поодиноким локомотивом t_1 на середню тривалість осаджування у розрахунку на один вагон.

Виконані дослідження дозволили отримати двофакторну регресійну модель (факторами є похибка гальмування відчепів σ_v та ухил сортувальних колій i) для визначення тривалості осаджування у розрахунку на один вагон у вигляді поліному другого ступеню виду

$$t'_{oc} = b_0 + b_1\sigma_v + b_2i + b_{12}\sigma_v i + b_{11}\sigma_v^2 + b_{22}i^2, \quad (4)$$

якщо розглянути випадки, які відрізняються параметрами вагонопотоку, що переробляється на сортувальній гірці, (табл. 2). При цьому довжина піврейса заїзду на сортувальну колію поодиноким локомотивом l_1 знаходиться у межах 201...460 м.

Таблиця 2

Випадки, для яких отримано регресійну модель для визначення тривалості осаджування у розрахунку на один вагон

Випадок	Частота появи у потоці, що переробляється		
	вагонів важкої та середньо-важкої вагової категорії	відцепів	
		з 1 вагону	з 5 і більше вагонів
1	75 % і більше	60...80 %	25...5 %
2		30...60 %	55...25 %
3		10...30 %	75...55 %
4	55...75 %	60...80 %	25...5 %
5		30...60 %	55...25 %
6		10...30 %	75...55 %
7	менш ніж 55 %	60...80 %	25...5 %
8		30...60 %	55...25 %
9		10...30 %	75...55 %

Коефіцієнти поліному другого ступеня (табл. 3) визначено за методом найменших квадратів.

Таблиця 3

Коефіцієнти поліному

Випадок	v_d , км/год	Коефіцієнти поліному					
		b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}
1	5...7	0,232	0,093	-0,110	-0,016	0,429	0,021
	7...10	0,206	0,083	-0,098	-0,015	0,380	0,019
	10...15	0,187	0,076	-0,088	-0,013	0,343	0,017
	15...40	0,168	0,068	-0,079	-0,012	0,306	0,015
2	5...7	0,209	-0,004	-0,122	0,012	0,377	0,025
	7...10	0,187	-0,003	-0,109	0,011	0,335	0,022
	10...15	0,170	-0,003	-0,099	0,010	0,302	0,020
	15...40	0,153	-0,002	-0,088	0,009	0,270	0,018

3	5...7	0,176	-0,049	-0,134	0,022	0,351	0,032
	7...15	0,151	-0,039	-0,114	0,018	0,295	0,027
	15...40	0,129	-0,031	-0,098	0,016	0,248	0,023
4	5...7	0,335	0,073	-0,148	0,009	0,389	0,019
	7...10	0,298	0,065	-0,131	0,009	0,344	0,017
	10...15	0,270	0,059	-0,119	0,008	0,310	0,015
	15...40	0,243	0,054	-0,107	0,008	0,277	0,014
5	5...7	0,278	-0,022	-0,139	0,028	0,361	0,021
	7...10	0,248	-0,018	-0,123	0,025	0,320	0,019
	10...15	0,225	-0,016	-0,112	0,022	0,288	0,017
	15...40	0,202	-0,013	-0,100	0,020	0,257	0,015
6	5...7	0,238	-0,064	-0,149	0,036	0,322	0,030
	7...15	0,203	-0,052	-0,127	0,030	0,271	0,026
	15...40	0,174	-0,042	-0,109	0,025	0,229	0,022
7	5...7	0,452	0,065	-0,201	0,018	0,354	0,027
	7...10	0,402	0,059	-0,179	0,016	0,313	0,024
	10...15	0,364	0,055	-0,162	0,015	0,281	0,022
	15...40	0,327	0,051	-0,145	0,014	0,249	0,019
8	5...7	0,359	0,001	-0,174	0,029	0,321	0,024
	7...10	0,320	0,002	-0,154	0,026	0,284	0,022
	10...15	0,290	0,003	-0,140	0,024	0,256	0,019
	15...40	0,260	0,003	-0,125	0,021	0,228	0,017
9	5...7	0,302	-0,032	-0,170	0,042	0,269	0,029
	7...15	0,257	-0,026	-0,144	0,035	0,227	0,024
	15...40	0,219	-0,021	-0,122	0,029	0,193	0,021

Для перевірки адекватності отриманої моделі використано:

– F -критерій Фішера [13]. Регресійна модель є адекватною, якщо виконується умова $F > F_{\alpha; m_1; m_2}$ (при цьому ймовірність помилки $\alpha = 0,05$);

– відносне відхилення v дійсних значень t'_{oc} від прогнозних [14].

Прийнято, що регресійна модель є адекватною, якщо виконується умова $v \leq 10\%$;

– множинне кореляційне відношення R' [13]. Прийнято, що регресійна модель є адекватною, якщо виконується умова $R' \geq 0,95$.

Для дев'яти розглянутих випадків, які відрізняються параметрами вагонопотоку, що переробляється на сортувальній гірці, (див. табл. 2, 3):

– значення F коливається в діапазоні 11,35...60,93, що є більшим за межу $F_{0,05; m_1; m_2} = 1,00...1,16$;

– значення v коливається в діапазоні 6,2...9,0 %, що не перевищує 10 %;

– значення R' коливається в діапазоні 0,96...0,99, що є більшим за 0,95.

Таким чином, поліном другого ступеню виду (4), коефіцієнти якого наведено у табл. 3, у разі довжини піврейса заїзду на сортувальну колію поодинокого локомотива 201...460 м і швидкості осаджування вагонів 5 км/год є адекватною двофакторною регресійною моделлю для визначення середньої тривалості осаджування у розрахунку на один вагон у залежності від похибки гальмування відчепів та ухилу сортувальних колій з урахуванням параметрів вагонопотоку, що переробляється на сортувальній гірці, та швидкості руху поодинокого локомотива сортувальною колією під час його повернення в бік горба гірки після виконання осаджування.

Пошкодження вагонів під час сортування.

Можлива кількість пошкоджених вагонів на 1000 перероблених на сортувальній гірці [7] визначається з виразу

$$n_{\text{пошк}} = 0,00143 \bar{v}_3^{3,865}, \quad (5)$$

де \bar{v}_3 – середня швидкість зіткнення відчепів на коліях сортувального парку, км/год.

В свою чергу середня швидкість зіткнення відчепів залежить від похибки їх гальмування σ_v , ухилу сортувальних колій i та параметрів

вагонопотоку, що переробляється на сортувальній гірці. Адекватною моделлю для визначення \bar{v}_3 є поліном другого ступеню виду

$$\bar{v}_3 = b_0 + b_1\sigma_v + b_2i + b_{12}\sigma_v i + b_{11}\sigma_v^2 + b_{22}i^2.$$

Врахування параметрів вагонопотоку є можливим шляхом отримання коефіцієнтів моделі 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 %. При цьому частота появи відчепів з різною кількістю вагонів може варіюватися в усьому діапазоні, який наведено у [10].

З метою оцінки адекватності значень можливої кількості пошкоджених вагонів на 1000 перероблених у разі використання для її розрахунку за виразом (5) \bar{v}_3 , яку отримано за результатами імітаційного моделювання та за регресійною моделлю, виконано перевірку гіпотези про приналежність цих значень до однієї генеральної сукупності.

Перевірка гіпотез про рівність середніх значень за допомогою подвійного t -критерію Стюдента, про рівність дисперсій за допомогою F -критерію Фішера, про однаковість функцій розподілу $F(x)$ і $F(y)$ двох генеральних сукупностей за допомогою U -критерію Уїлкоксона показала, що значення $n_{\text{пошк}}$ у разі використання для її розрахунку середньої швидкості зіткнення відчепів на коліях сортувального парку, які отримано за результатами імітаційного моделювання та за регресійними моделями, належать до однієї генеральної сукупності і є адекватними.

Для опису зв'язку між похибкою гальмування відчепів σ_v , ухилом сортувальних колій i та можливою кількістю пошкоджених вагонів на 1000 перероблених за принципом найменшої залишкової дисперсії обрано рівняння регресії:

– випадок 1 (частота появи вагонів важкої та середньо-важкої вагової категорії складає 65 % і більше)

$$n_{\text{ПОШК}} = -0,173 + 0,277e^{\sigma_v} + 0,038e^i + 0,086e^{\sigma_v i} + 0,296e^{\sigma_v^2} + 0,014e^{i^2}; \quad (6)$$

– випадок 2 (частота появи таких вагонів складає менш ніж 65 %)

$$n_{\text{ПОШК}} = -0,059 + 0,286e^{\sigma_v} + 0,032e^i + 0,043e^{\sigma_v i} + 0,224e^{\sigma_v^2} + 0,006e^{i^2}. \quad (7)$$

Для перевірки адекватності отриманої моделі використано F -критерій Фішера, відносне відхилення v дійсних значень $n_{\text{ПОШК}}$ від прогнозних і множинне кореляційне відношення R' .

Для двох розглянутих випадків, які відрізняються параметрами вагонопотоку, що переробляється на сортувальній гірці:

– значення F дорівнюють 8,66 і 10,20, що є більшим за межу $F_{0,05; m_1; m_2} = 1,26$;

– значення v дорівнюють 8,5 % і 9,6 %, що не перевищує 10 %;

– значення R' становить 0,95.

Таким чином, зв'язок між похибкою гальмування відчепів, ухилом сортувальних колій і можливою кількістю пошкоджених вагонів на 1000 перероблених на сортувальній гірці з урахуванням впливу параметрів вагонопотоку, що переробляється, адекватно описується рівняннями регресії (6) і (7).

Висновки.

Адекватною регресійною моделлю для визначення середньої тривалості осаджування у розрахунку на один вагон у залежності від похибки гальмування відчепів (середньоквадратичної помилки розрахунку та реалізації швидкостей їх виходу з гальмових позицій) σ_v і ухилу сортувальних колій i є поліном другого ступеню виду $t'_{\text{ос}} = b_0 + b_1\sigma_v + b_2i + b_{12}\sigma_v i + b_{11}\sigma_v^2 + b_{22}i^2$. При цьому враховано вплив вагової категорії вагонів, кількості вагонів у відчепі та швидкості руху поодинокого локомотива сортувальною колією під час його повернення в бік

горба гірки після виконання осаджування. Довжина піврейса заїзду на сортувальну колію поодинокого локомотива знаходиться у межах 201...460 м, швидкість осаджування становить 5 км/год.

Адекватним рівнянням регресії, яке описує зв'язок між похибкою гальмування відчепів σ_v , ухилом сортувальних колій i та можливою кількістю пошкоджених вагонів на 1000 перероблених на сортувальній гірці з урахуванням впливу параметрів вагонопотоку, що переробляється, є рівняння виду $n_{\text{пошк}} = b_0 + b_1 e^{\sigma_v} + b_2 e^i + b_{12} e^{\sigma_v i} + b_{11} e^{\sigma_v^2} + b_{22} e^{i^2}$. Останнє є можливим шляхом розгляду двох випадків – коли частота появи у потоці вагонів важкої та середньо-важкої вагової категорії складає: 1) 65 % і більше; 2) менш ніж 65 %.

Література.

1. Организация движения на железнодорожном транспорте / [Кочнев Ф. П., Максимович Б. М., Померанцев В. В. и др.]; под общ. ред. Ф. П. Кочнева. – М.: Трансжелдориздат, 1958. – 336 с.
2. Федотов Н. И. Расчет времени осаживания вагонов в сортировочном парке / Н. И. Федотов // Вопросы проектирования железнодорожных станций: Труды НИИЖТа / НИИЖТ. Новосибирск, 1962, – Вып. XXIX. – С. 18–27.
3. Сотников И. Б. Эксплуатация железных дорог (в примерах и задачах) / И. Б. Сотников. – М.: Транспорт, 1967. – 248 с.
4. Технология работы участковых и сортировочных станций / [Тихомиров И. Г., Грунтов П. С., Сыцко П. А. и др.]; под ред. И. Г. Тихомирова. – М.: Транспорт, 1973. – 272 с.
5. Руководство по техническому нормированию маневровой работы. – М.: Транспорт, 1978. – 56 с.
6. Методичні вказівки з розрахунку норм часу на маневрові роботи, які виконуються на залізничному транспорті. Затв.: Наказ Укрзалізниці 25.03.03

№ 72-ЦЗ / Державна Адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2003. – 82 с.

7. Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств / [Муха Ю. А., Тишков Л. Б., Шейкин В. П. и др.]. – М.: Транспорт, 1994. – 220 с.

8. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України. ЦД-0058: Затв.: Наказ Мінтрансу та зв'язку України 31.08.05. № 507 / Мін-во трансп. та зв'язку України. – К., 2005. – 464 с.

9. Журавель В. В. Точність гальмування, вага вагонів і показники роботи сортувальної гірки / В. В. Журавель, Г. І. Музикіна, І. Л. Журавель // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 5. – С. 46-48.

10. Журавель В. В. Показники роботи сортувальної гірки та фактори, що на них впливають / В. В. Журавель // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – № 32. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 237-241.

11. Р. Шторм. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества / Р. Шторм. – М.: Мир, 1970. – 368 с.

12. Норми допустимих швидкостей руху рухомого складу по залізничних коліях Державної адміністрації залізничного транспорту України шириною 1520 (1524) мм: Затв.: Наказ Укрзалізниці 21.03.03. № 72-Ц (із змінами внесеними наказом Укрзалізниці 18.06.04. № 479-ЦЗ) / Укрзалізняця. – К., 2004. – 51 с.

13. Львовский Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул: [учеб. пособие] / Е. Н. Львовский. – М.: Высш. школа, 1982. – 224 с.

14. 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.