

УДК 656.212.5:625.156

Д. М. КОЗАЧЕНКО^{1*}, С. В. ГРЕВЦОВ^{2*}, Т. В. БОЛВАНОВСЬКА^{3*}

^{1*}Науково-дослідна частина, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 51 09, ел. пошта kozachenko@upp.diit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

^{2*}Львівський коледж транспортної інфраструктури, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Снопковська, 47, Львів, Україна, 79011, тел. +38 (032) 276 14 90, ел. пошта Grevtsov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2925-4293

^{3*}Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 51 03, ел. пошта valentinovna.upp@gmail.com, ORCID 0000-0001-6462-8524

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГАЛЬМОВИХ УПОВІЛЬНЮВАЧІВ НА ПЕРЕРОБНУ СПРОМОЖНІСТЬ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК

Мета. Наукова робота має за мету розробку методів розрахунку переробної спроможності сортувальних гірок для умов втрати уповільнювачами гальмової потужності. **Методика.** Функціонування сортувальних гірок пов'язано з дією значної кількості випадкових факторів, таких як: характеристики відцепів, умови зовнішнього середовища, величина гальмової потужності, що реалізується уповільнювачами, та ін. У зв'язку з цим для дослідження поставлених задач використовуються методи імітаційного моделювання та математичної статистики. Визначення швидкості та часу руху відцепів по маршрутах здійснюється на підставі моделювання їх скочування з сортувальної гірки. **Результати.** У випадку, якщо гальмової потужності уповільнювачів спускної частини гірки недостатньо для зупинки ними відцепів, то під час розпуску повинні передбачатись перерви для звільнення попередніми відчепами маршрутів скочування. З використанням методів теорії ймовірності визначені залежності, що дозволяють встановлювати тривалість вказаних зупинок. У випадку, якщо гальмової потужності уповільнювачів на спускній частині гірки та на сортувальних коліях недостатньо для виконання вимог прицільного регулювання швидкості скочування відцепів, то необхідно використовувати додаткове башмачне гальмування. В дослідженні розроблені методи, які на підставі імітаційного моделювання сортувального процесу дозволяють встановлювати потрібну величину збільшення тривалості розпуску, що забезпечує безпеку руху при заданій кількості регулювальників швидкості руху вагонів. **Наукова новизна.** В роботі авторами вперше запропоновані удосконалені методи визначення переробної спроможності сортувальних гірок. Їх особливість у тому, що вони (на відміну від існуючих) дозволяють враховувати технологічні обмеження, що викликані вимогами безпеки сортувального процесу, і можуть застосовуватись для оцінки показників роботи гірок в умовах параметричних відмов уповільнювачів. **Практична значимість.** Застосування запропонованих методів дозволяє для існуючих обсягів роботи оцінювати вплив несправності уповільнювачів на погіршення показників роботи сортувальних гірок.

Ключові слова: сортувальна гірка; вагонний уповільнювач; безпека руху поїздів; сортувальний процес; переробна спроможність гірки

Вступ

Сортувальні гірки є місцем підвищеної небезпеки на станціях. Тому цій проблемі присвячена значна кількість наукових праць. Переважна кількість порушень безпеки руху на гірках пов'язана з регулюванням швидкості скочування відцепів [11, 16]. Як основні заходи, що забезпечують підвищення безпеки сортувального процесу, на сьогодні розглядають удосконалення конструкції сортувальних гірок [1, 13], автоматизацію розформування составів

[18] та запровадження обмежень на умови розформування составів на сортувальних гірках [14, 16]. Для України характерним є утворення певних резервів переробної спроможності через різке падіння обсягів вагонопотоків з одного боку та незадовільний стан технічних засобів – з іншого. Експлуатація технічних засобів сортувальних гірок у значній кількості випадків відбувається в «захищеному» режимі [9], коли забезпечення безпеки руху здійснюється шляхом запровадження певних експлуатаційних

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

обмежень. Необхідно відмітити, що експлуатація технічних засобів в такому стані призводить до збільшення експлуатаційних. Тому актуальною задачею для залізничного транспорту України є встановлення зв'язків між станом технічних засобів сортувальних гірок та техніко-експлуатаційними показниками їх функціонування.

Однією із основних технічних характеристик сортувальних гірок є їх переробна спроможність [3, 6, 15]. Розрахунок переробної спроможності сортувальних гірок на залізницях України згідно з [6] виконується за формулою

$$N = \mu_{\text{пвт}} \sum_{i=1}^m n_{p,i} b_{p,i} + N_{\text{пост}}^{\text{гір}},$$

де $n_{p,i}$, $b_{p,i}$ – відповідно, переробна спроможність гірки для поїздів з i -го підходу та середня кількість вагонів у них; m – кількість підходів, з яких поїзди надходять у розформування; $\mu_{\text{пвт}}$ – коефіцієнт, що враховує повторне сортування частини вагонів у процесі закінчення формування з гірки і через недостатню кількість та довжину сортувальних колій; $N_{\text{пост}}^{\text{гір}}$ – кількість місцевих вагонів з колій ремонту, кутових, вагонного депо та ін., які розпускаються за час $\sum T_{\text{пост}}^{\text{гір}}$, $\sum T_{\text{пост}}^{\text{гір}}$ – час займання гірки протягом доби виконання постійних операцій, кількість яких не змінюється пропорційно зі збільшенням обсягу переробки або кількість яких задається на розрахунковий період.

Згідно з [3] вказаний вираз може мати вигляд

$$N = \frac{1440 \alpha_{\text{гір}} - T_{\text{пост}}^{\text{гір}}}{t_{\text{гір}} \alpha_{\text{зал}} (1 + \rho_{\Gamma})} m_c + N_{\text{пост}}^{\text{гір}},$$

де m_c – середня кількість вагонів в составі; $\alpha_{\text{зал}}$ – коефіцієнт, що враховує додаткові витрати часу, пов'язані з заняттям передгіркової горловини поїздами та маневровими пересуваннями, що залежать від обсягу переробки.

Величина $t_{\text{гір}}$ для механізованих та немеханізованих сортувальних гірок, де працює один локомотив, розраховується за виразом

$$T_{\text{рф}} = t_3 + t_n + t_p + t_{\text{ос}} + t_{\text{дод}},$$

де t_3 , t_n , t_p , $t_{\text{ос}}$, $t_{\text{дод}}$ – тривалість заїзду, тривалість насуву, розпуску, тривалість осаджування та додаткових операцій відповідно.

Для гірок, де працює декілька локомотивів, величина $t_{\text{гір}}$ визначається за результатами побудови гіркового циклу, а саме: частина перелічених вище операцій виконується послідовно, а частина – паралельно.

Тривалість гіркових операцій визначається за [10] згідно з параметрами маршрутів руху та кількістю вагонів у составі. При цьому безпосередня тривалість розпуску состава визначається за формулою

$$t_p = \frac{0,06 m_p l_p}{v_p} \left(1 - \frac{1}{2 g_p} \right) + b_{\text{ЗСГ}} t(K_{\text{ЗСГ}}), \quad (2)$$

де m_p , g_p – середня кількість вагонів та відцепів у составі, що розформовуються відповідно; l_p – середня довжина вагона; v_p – середня швидкість розпуску состава з гірки; $b_{\text{ЗСГ}}$ – частка составів з вагонами, що заборонені до спуску з гірки без локомотива (ЗСГ), від загальної кількості составів, що розформовуються; $t(K_{\text{ЗСГ}})$ – додатковий час на маневри з вагонами ЗСГ, що припадають на один состав залежно від середньої кількості груп таких вагонів у составі $K_{\text{ЗСГ}}$.

Принципи забезпечення безпеки розформування составів поїздів в умовах параметричної відмови уповільнювачів викладені у [16]. Дотримання вимог безпеки руху при цьому переважно досягається за рахунок зниження темпу розпуску та застосування башмачного регулювання швидкості скочування відцепів на сортувальних коліях.

Недоліком сучасних методів розрахунку переробної спроможності гірки є те, що в них не враховується стан технічних засобів сортувальної гірки і її функціонування в умовах технологічних обмежень для забезпечення вимог безпеки руху.

Мета

Метою роботи є розробка методів розрахунку переробної спроможності сортувальних гірок для умов втрати уповільнювачами гальмової потужності.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Методика

Технологічними обмеженнями, що накладаються на процес розформування-формування поїздів є обмеження швидкості розпуску составів, призупинення розпуску та організація скоочування наступного відчепа після звільнення маршруту попереднім, додаткове гальмування відчепів гальмовими башмаками, виконання маневрової роботи з осаджування, закриття окремих колій для розпуску [16]. Функціонування сортувальних гірок пов'язано із дією значної кількості випадкових факторів, таких як характеристики відчепів, умов зовнішнього середовища, величини гальмової потужності, що реалізується уповільнювачами та ін. У зв'язку з цим для дослідження поставлених задач використовуються методи імітаційного моделювання та математичної статистики. Визначення швидкості та часу руху відчепів по маршрутах здійснюється на підставі моделювання скоочування їх з сортувальної гірки.

Результати

Обмеження швидкості скоочування відчепів дозволяє забезпечити безпеку процесу розформування-формування при незначній втраті уповільнювачами гальмової потужності, в умовах, коли залишкової потужності уповільнювачів достатньо для виконання вимог прицільного регулювання швидкості скоочування відчепів та зупинки відчепів на другій гальмовій позиції. Розрахунок переробної спроможності сортувальної гірки в цьому випадку виконується для допустимої швидкості розпуску згідно з діючою методикою [6].

У випадку, коли потужності уповільнювачів на спускній частині гірки разом з уповільнювачами на сортувальних коліях достатньо для виконання вимог прицільного регулювання швидкості скоочування відчепів, але недостатньо для зупинки вагонів на другій гальмовій позиції, то виникають загрози для безпеки руху при зупинці відчепів на стрілочній зоні або при незакоочуванні їх за граничні стовпчики сортувальних колій. Для недопущення небезпечних ситуацій в такому випадку скоочування наступного відчепа повинно починатись лише тоді, коли попередніми відчепами повністю звільнено маршрут їх руху. Процес розформування

состава поїзда можна розглядати як сукупність процесів розформування окремих груп відчепів. Поділ составів на групи відбувається у зв'язку з наявністю у них вагонів, спуск яких через гірку без локомотива заборонений [5]. При цьому спуск до сортувального парку вказаних вагонів не потребує регулювання швидкості уповільнювачами і гальмовими башмаками. Крім того, при обслуговуванні таких відчепів на сортувальній гірці створюється інтервал, достатній для підготовки її технічних засобів та персоналу для безпечного скоочування наступного відчепа. Тому під час розформування составів зупинка відчепів гальмовими уповільнювачами на спускній частині гірки через зайнятість маршрутів скоочування здійснюється не для всіх відчепів. Технологічно виникнення небезпечних ситуацій, що вимагають такої зупинки, є неможливою для перших відчепів состава, відчепів з вагонами, що заборонено до спуску з гірки без локомотива, та відчепів, що слідує за ними. Також при скоочуванні відчепів у різні пучки сортувального парку між послідовними відчепами, як створюється достатній інтервал часу для парировання небезпечних ситуацій за рахунок переведення відчепів на відсівні колії.

Ймовірність розділення відчепів на стрілочній позиції за умови, що кожна стрілка має однакову кількість колій при відхиленні вліво та вправо, може бути визначена формулою [2]

$$P = 2S^2 / M(M - 1),$$

де S – кількість колій, що примикає до одного напрямку стрілочного переводу; M – кількість колій в сортувальному парку.

Тривалість заняття відчепами маршрутів скоочування може бути визначена за середньою швидкістю руху по окремих ділянках сортувальної гірки [4] за виразом

$$t_m = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{60v_i}, \quad \sum_{i=1}^n l_i = l_{зв} + l_{від},$$

де l_i , v_i – довжина та середня швидкість руху відчепа на i -й ділянці скоочування відповідно; $l_{зв}$ – відстань від вершини гірки до точки звільнення розділової стрілки; $l_{від}$ – середня довжина відчепа.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Як приклад, у табл. 1 наведено характеристики маршрутів скочування відцепів на трьохпозиційній сортувальній гірці з 32 коліями у сортувальному парку. Пучкова гальмова позиція на вказаній гірці розташовується за другими стрілками по маршруту скочування. Середня кількості вагонів у відцепі состава складає 2,5.

Таблиця 1

Характеристики маршрутів скочування

Table 1

Rolling-down routes characteristics

№ стріло- чної по- зиції	Імовірність розділення відцепів	Довжина маршруту	Тривалість зайняття маршруту
1	0,516	–	–
2	0,258	–	–
3	0,129	219,15	0,75
4	0,065	243,12	0,83
5	0,032	291,37	1,00

Математичне очікування часу затримки розпуску перед скочуванням відчепа визначається за формулою

$$\bar{t}_3 = \sum_{i=1}^n P_i t_{mi}$$

Залежність середньої кількості відцепів у составі, для яких повинна здійснюватися затримка розпуску, від середньої кількості відцепів у составі та середньої кількості відцепів, що заборонені до спуску з гірки без локомотива, наведена на рис. 1.

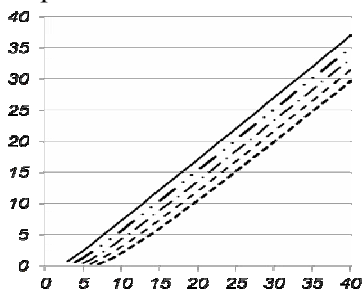


Рис. 1. Залежності кількості відцепів у составі, що вимагають затримки перед розпуском від середньої кількості відцепів у составі

Fig. 1. Dependences of the cuts number in the train that require a delay before breaking-up on the average number of cuts in the train

Збільшення тривалості розформування состава при цьому може бути визначено як

$$T_{zp} = n_3 \bar{t}_3,$$

де n_3 – кількість зупинок розпуску состава.

Для розглянутої у прикладі гірки при середній кількості відцепів у составі 22 та при знаходженні в середньому у составів одного відчепа, що заборонений до спуску з гірки без локомотива, додатковий час на розпуск состава складає 3,5 хв.

У випадку, коли потужності гальмових позицій на спускній частині гірки та сортувальних коліях недостатньо для забезпечення вимог прицільного регулювання швидкості скочування відцепів на сортувальних коліях, необхідно застосовувати додаткове башмачне гальмування. При цьому потрібно відмітити, що механізовані сортувальні гірки не мають достатнього штату регулювальників для забезпечення гальмування відцепів. Тому інтенсивність надходження відцепів на сортувальні колії повинна бути знижена для того, щоб вона не перевищувала інтенсивності їх обслуговування регулювальниками швидкості руху вагонів. У разі потреби під час розпуску повинні створюватись перерви для того, щоб регулювальники переходили з однієї колії на іншу.

При дослідженні прицільного регулювання швидкості скочування відцепів група колій, що обслуговується одним регулювальником швидкості руху вагонів, може розглядатись як одноканальна система масового обслуговування (СМО). Вхідний потік цієї СМО створюють відчепа состава, що надходять на сортувальні колії. Апаратом обслуговування при цьому є регулювальник швидкості руху вагонів. Під обслуговуванням розуміється гальмування регулювальником відчепа гальмовими башмаками.

Дослідження інтенсивності надходження вагонів в обслуговування може бути виконано на підставі імітаційного моделювання процесу розформування составів. Тривалості скочування відцепів залежать від швидкості розпуску, режимів гальмування, ходових характеристик відцепів та колій їх призначення. Гістограми та функції щільності розподілу інтервалів між надходженням відцепів в обслуговування при чотирьох та восьми коліях у групі наведені на рис. 2.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

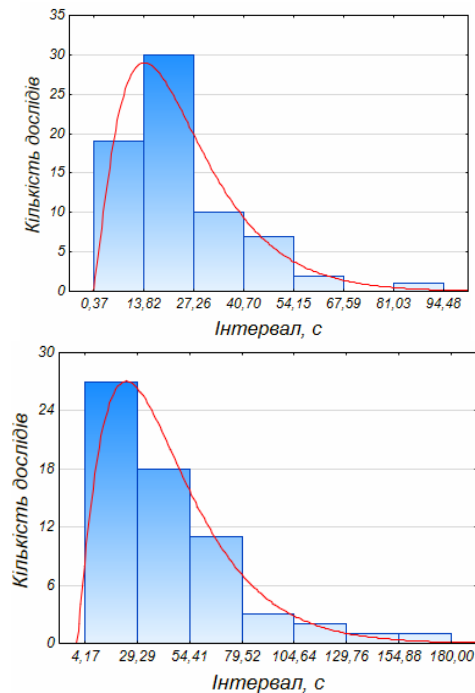


Рис. 2. Гістограми та функції щільності розподілу випадкової величини інтервалів між надходженням відчепів в обслуговування регулювальниками швидкості руху вагонів:

- a* – регулювальник обслуговує 8 колій;
b – регулювальник обслуговує 4 колії

Fig. 2. Histograms and functions of density distribution of the random ranges of intervals between cuts delivery to the service by regulators of car motion speed:
a – regulator serves 8 tracks; *b* – regulator serves 4 tracks

Статистична обробка результатів моделювання показує, що випадкова величина інтервалу між надходженням відчепів до регулювальника має показниковий розподіл.

Для визначення тривалості заняття регулювальника обслуговуванням одного відчепа виконано хронометраж відповідної технологічної

операції на станціях Львів та Клепарів. За результатами хронометражу встановлено, що середня тривалість заняття регулювальника гальмуванням відчепів на сортувальній колії може бути визначена за виразом

$$t_{\text{рш}} = 0,06 + 0,2m_{\text{від}},$$

де $m_{\text{від}}$ – середня кількість вагонів у відчепі.

Інтервал між надходженням відчепів на колії, що обслуговуються одним регулювальником, є випадковою величиною, яка залежить від швидкості розпуску состава, розподілу відчепів за призначеннями, кількості регулювальників та розподілу сортувальних колій між ними, тривалості руху відчепів маршрутами скочування. Як приклад, на рис. 3 наведено графік надходження відчепів в обслуговування регулювальниками, коли состав складається з вагонів призначенням на колії 1-16, які обслуговуються чотирма регулювальниками.

Аналіз цього графіка показує, що при рівномірній швидкості розпуску будуть мати місце випадки одночасного надходження до регулювальників швидкості відчепів 6 та 8, 7 та 9, 16 та 17, а також 14 та 21. Для забезпечення безпечних умов розформування состава необхідно виконувати призупинку розпуску. Тривалість перерви у розпуску визначається потрібним часом для створення достатнього інтервалу між моментами надходження відчепів до регулювальників швидкості, а також часом, потрібним для надання команди на поновлення розпуску, сприйняття її машиністом та розгону состава.

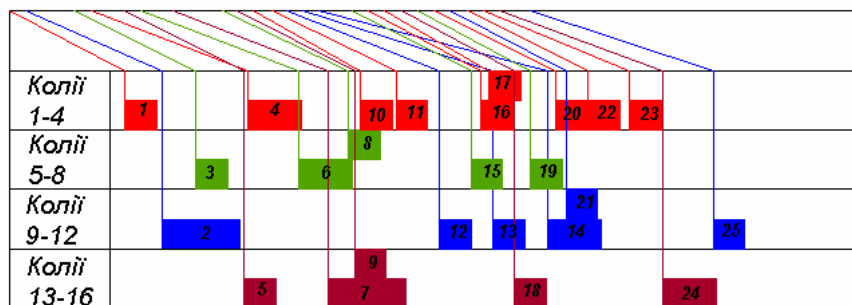


Рис. 3. Графік надходження відчепів в обслуговування регулювальниками швидкості вагонів

Fig. 3. The graph of cuts delivery to the service by regulators of car motion speed

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

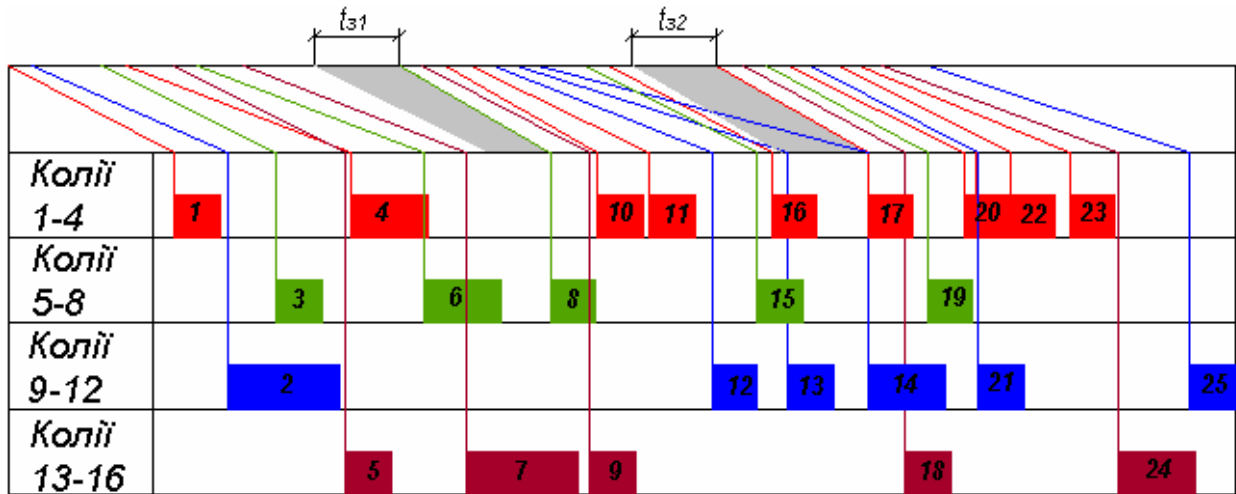


Рис. 4. Модифікований графік надходження відчепів в обслуговування регулювальниками швидкості вагонів

Fig. 4. The modified graph of cuts delivery to the service by regulators of car motion speed

Задача вибору моментів зупинки розпуску є багатоваріантною і повинна здійснюватися з умови мінімізації загальної величини затримок.

Модифікований графік надходження відчепів в обслуговування регулювальниками швидкості вагонів з перервами розпуску після відривів 7-го та 16-го відчепів наведено на рис. 4. При цьому прийнято, що мінімальна тривалість перерви у розпуску складає 0,5 хв.

У випадку, якщо кількість регулювальників буде зменшена до двох, то кількість зупинок повинна бути збільшена через одночасне надходження в обслуговування відчепів 4 та 6, 15 та 16, 14 та 18, 18 та 20.

Через наявність складних зв'язків між швидкістю розпуску состава, режимами гальмування відчепів та інтервалами між ними на гальмових позиціях величина затримок у розпуску повинна визначатись на підставі хронометражних спостережень за роботою гірки або за результатами імітаційного моделювання її функціонування.

Додатково необхідно відмітити, що застосування гальмових башмаків для регулювання швидкості скочування відчепів призводить до скорочення корисної довжини сортувальних колій і, як наслідок, до збільшення витрат часу на підготовку їх до розпуску.

У випадку, якщо потужності гальмових позицій недостатньо для забезпечення входу відчепів на башмачну гальмову позицію з допус-

тимою для неї швидкістю 3,5 м/с [4], спуск вагонів на неї може здійснюватися маневровим локомотивом. Методика врахування таких відчепів при нормуванні тривалості розпуску состава є аналогічною до методики нормування тривалості маневрів з вагонами, що заборонені до спуску з гірки без локомотива [10].

Альтернативним методом є закриття сортувальних колій для розпуску. В цьому випадку використовується ковзка спеціалізація сортувальних колій і збільшується частка повторного сортування. Методика оцінки впливу кількості колій у сортувальному парку на умови роботи технічних станцій наведена в [12].

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна роботи полягає у тому, що в ній запропоновані удосконалені методи визначення переробної спроможності сортувальних гірок, які, на відміну від існуючих, дозволяють враховувати технологічні обмеження, що викликані вимогами безпеки сортувального процесу і можуть застосовуватись для оцінки показників роботи гірок в умовах параметричних відмов уповільнювачів.

Застосування запропонованих методів дозволяє для існуючих обсягів роботи оцінювати вплив несправності уповільнювачів на погіршення показників роботи сортувальних гірок.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Висновки

Виконані дослідження дозволяють зробити такі висновки.

1. Методи визначення переробної спроможності сортувальних гірок, що покладені в основу діючих на сьогодні нормативних документів, не враховують технічний стан уповільнювачів. Тому їх застосування не дозволяє оцінювати техніко-експлуатаційну ефективність ремонтних заходів, спрямованих на переведення функціонування сортувальних гірок із безпечного непрацездатного стану у працездатний.

2. У випадку, якщо гальмової потужності уповільнювачів спускної частини гірки недостатньо для зупинки відцепів під час розпуску, то повинні передбачатись перерви для звільнення попередніми відчепами маршрутів скочування. З використанням методів теорії імовірності визначені залежності, що дозволяють встановлювати тривалість вказаних зупинок.

3. У випадку, якщо гальмової потужності уповільнювачів на спускній частині гірки та на сортувальних коліях недостатньо для виконання вимог прицільного регулювання швидкості скочування відцепів, то необхідно використовувати додаткове башмачне гальмування. В роботі розроблені методи, які на підставі імітаційного моделювання сортувального процесу дозволяють встановлювати потрібну величину збільшення тривалості розпуску, що забезпечують безпеку руху при заданій кількості регулювальників швидкості руху вагонів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Березовый, Н. И. Комплексное проектирование продольного и поперечного профиля сортировочных горок / Н. И. Березовый, В. В. Малашкин, Н. П. Божко // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 7. – С. 5–9.
- Бобровский, В. И. Определение вероятностей разделения отцепов на стрелках сортировочной горки / В. И. Бобровский // Вопр. механизации и автоматизации сортиров. процесса на станциях : тр. ДИИТа. – Днепропетровск, 1976. – Вып. 181/10. – С. 56–63.
- Болвановська, Т. В. Розрахунок переробної спроможності сортувальних комплексів / Т. В. Болвановська // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 8. – С. 27–34.
- ГБН В.2.3-37472062-1:2012. Споруди транспорту. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування. – Київ : М-во інфраструктури України, 2012. – 112 с.
- Журавель, В. В. Вплив наявності вагонів, які заборонено спускати з гірки, на процес розпуску составів / В. В. Журавель // Восточно-Европ. журн. передовых технологий. – 2012. – 4/3 (58). – С. 38–44.
- Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України : ЦД-0036 : навч.-метод. посіб. / О. Ф. Вергун, Н. В. Липовець, В. М. Боголій. – Київ : Транспорт України, 2002. – 376 с.
- Козаченко, Д. М. Дослідження впливу швидкості розпуску составів на переробну спроможність сортувальних гірок / Д. М. Козаченко, І. Ю. Левицький, Т. В. Болвановська // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 61–63.
- Козаченко, Д. М. Оптимізація розподілу сортувальних колій між призначеннями плану формування / Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, Р. Г. Коробйова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 22. – С. 52–55.
- Лисенков, В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов : учебник для вузов / В. М. Лисенков. – Москва : ВИНТИ РАН, 1999. – 332 с.
- Методичні вказівки з розрахунку норм часу на маневрові роботи, які виконуються на залізничному транспорті : затв. наказом Укрзалізниці 25.03.2003 р. № 0-72/ ЦЗ. – Київ, 2003. – 82 с.
- Модин, Н. К. Безопасность функционирования горочных устройств / Н. К. Модин. – Москва : Транспорт, 1995. – 173 с.
- Огар, О. М. Визначення інтенсивностей відмов та відновлення підсистем сортувальної гірки / О. М. Огар, О. В. Роз-соха, О. М. Костенніков // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2012. – № 3. – С. 3–12.
- Негрей, В. Я. Обоснование уровня технического оснащения и оптимизация параметров конструкции сортировочных комплексов железнодорожных станций / В. Я. Негрей, С. А. Пожидаев, Е. А. Филатов // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 8. – С. 110–119.
- Островский, А. М. Пропуск вагонов с опасными грузами через сортировочные горки /

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- A. М. Островский, А. М. Лисютин // Науч. тр. SWorld. – Иваново, 2012. – Т. 2, № 1. – С. 38–41.
15. Controlling the speed of rolling cuts in condition of reduction of brake power of car retarders / D. M. Kozachenko, V. I. Bobrovskiy, S. V. Grevtsov, M. I. Berezovyi // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 3 (63). – С. 28–40. doi: 10.15802/stp2-016/74710.
16. Pepevnik, A. The railway traffic shunting system / A. Pepevnik, B. Bogović. – Promet. – 2003. – Vol. 15, № 3. – P. 177–184.
17. Zarecky, S. The newest trends in marshalling yards automation / S. Zarecky, J. Grun, J. Zilka // Transport Problems. – 2008. – Т. 3, vol. 4, pt. 1. – P. 87–95.
18. Zhang, C. Analysis of Over-speed Coupling Accidents on Hump based on Fuzzy Petri Net / C. Zhang, Y. Li // Industrial Engineering and Engineering Management (IE&EM) : Proc. of 17th Intern. Conf. (29.10–31.10.2010). – Xiamen, 2010. – P. 1014–1018. doi: 10.1109/ICIEEM.2010.5646453.

Д. Н. КОЗАЧЕНКО^{1*}, С. В. ГРЕВЦОВ^{2*}, Т. В. БОЛВАНОВСКАЯ^{3*}

^{1*}Научно-исследовательская часть, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 51 09, эл. почта kozachenko@upr.dit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

^{2*}Львовский колледж транспортной инфраструктуры, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Снопковская, 47, Львов, 79011, тел. +38 (032) 276 14 90, эл. почта Grevtsov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2925-4293

^{3*}Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 51 03, эл. почта valentinovna.upr@gmail.com, ORCID 0000-0001-6462-8524

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТОРМОЗНЫХ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ НА ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК

Цель. Научная работа своей целью имеет разработку методов расчета перерабатывающей способности сортировочных горок для условий потери замедлителями тормозной мощности. **Методика.** Функционирование сортировочных горок связано с действием большого количества случайных факторов, таких как: характеристики отцепов, условия внешней среды, величина тормозной мощности, реализуемая замедлителями, и др. В связи с этим для исследования поставленных задач используются методы имитационного моделирования и математической статистики. Определение скорости и времени движения отцепов по маршрутам осуществляется на основании моделирования их скатывания с сортировочной горки. **Результаты.** В случае, если тормозной мощности замедлителей спускной части горки недостаточно для остановки ими отцепов, то во время роспуска должны предусматриваться перерывы для освобождения предварительными отцепами маршрутов скатывания. С использованием методов теории вероятности определены зависимости, позволяющие устанавливать продолжительность указанных остановок. В случае, если тормозной мощности замедлителей на спускной части горки и на сортировочных путях недостаточно для выполнения требований прицельного регулирования скорости скатывания отцепов, то необходимо использовать дополнительное башмачное торможение. В исследовании разработаны методы, которые на основании имитационного моделирования сортировочного процесса позволяют устанавливать нужную величину увеличения продолжительности роспуска, обеспечивающую безопасность движения при заданном количестве регуляторов скорости движения вагонов. **Научная новизна.** В работе авторами впервые предложены усовершенствованные методы определения перерабатывающей способности сортировочных горок. Их особенность в том, что они (в отличие от существующих) позволяют учитывать технологические ограничения, вызванные требованиями безопасности сортировочного процесса, и могут применяться для оценки показателей работы горок в условиях параметрических отказов замедлителей. **Практическая значимость.** Применение предложенных методов позволяет для существующих объемов работы оценивать влияние неисправности замедлителей на ухудшение показателей работы сортировочных горок.

Ключевые слова: сортировочная горка; вагонный замедлитель; безопасность движения поездов; сортировочный процесс; перерабатывающая способность горки

D. M. KOZACHENKO^{1*}, S. V. GREVTSOV^{2*}, T. V. BOLVANOVSKA^{3*}

^{1*}Research Department, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 51 09, e-mail kozachenko@upp.diit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

^{2*}Lviv College of Transport Infrastructure at Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Snopkivska St., 47, Lviv, Ukraine, 79011, tel. +38 (032) 276 14 90, e-mail Grevtsov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2925-4293

^{3*}Dep. «Stations and Nodes», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 51 03, e-mail valentinovna.upp@gmail.com, ORCID 0000-0001-6462-8524

STUDY OF TECHNICAL STATE IMPACT OF BRAKE RETARDERS AT THE PROCESSING ABILITY OF HUMPS

Purpose. The research aims development of methods for calculating the estimated capacity humps for the loss conditions of brake power retarders. **Methodology.** The operation of humps is connected with large number of random factors, such as the characteristics of cuts, environmental conditions, the value of braking power implemented by retardants and others. In this regard, to research the set tasks the methods of simulation modeling and mathematical statistics are used. Determination of speed and motion time of cuts on the routes is carried out on the basis of rolling down modeling of their rolling down from the humps. **Findings.** If the brake power of retarders of the rolling down part of humps is not enough to stop the cuts, it should be provided the intervals during break-up to release the rolling routes from the preliminary cuts. The dependencies allowing to set the duration of these intervals were determined using the methods of the probability theory. If the brake power of retarders at the rolling down part of humps and at the classification tracks is not enough to meet the requirements of the aimed regulation of the cuts rolling speed, it is necessary the use the additional brake shoes. The work develops the methods that on the basis of simulation modeling of the humping process allow one to set the desired value of the break-up duration increase. They ensure the traffic safety at the given number of car motion speed regulators. **Originality.** Authors firstly proposed the improved methods for determining the estimated capacity of humps. Unlike the existing ones, allow taking into account the technological limitations caused by the requirements of the humping process safety and can be used to assess the performance of the humps in the conditions of parametric failures of the retarders. **Practical value.** The use of the proposed methods allows assessing the influence of the retarders' disrepair on the performance degradation of humps for the existing volumes of work.

Keywords: hump; car retarder; train traffic safety; humping process; estimated capacity of a hump

REFERENCES

1. Berezovyy N.I., Malashkin V.V., Bozhko N.P. Kompleksnoye proyektirovaniye prodolnogo i poperechnogo profilya sortirovochnykh gorok [Integrated design of longitudinal and transverse profile of marshalling yards]. *Transportni systemy ta tekhnologii perevezen* [Transport systems and transportations technologies], 2014, vol. 7, pp. 5-9.
2. Bobrovskiy V.I. Opredeleniye veroyatnostey razdeleniya otsepov na strelkakh sortirovochnoy gorki [Definition of cuts separation probabilities at the the switches of marshalling yard]. *Voprosy mekhanizatsii i avtomatizatsii sortirovochnogo protsessa na stantsiyakh* [Problems of mechanization and automation of the marshalling process at the stations], 1976, vol. 181/10, pp. 56-63.
3. Bolvanovska T.V. Rozrakhunok pererobnoi spromozhnosti sortuvalnykh kompleksiv [Calculation of the estimated capacity of the marshalling complexes]. *Transportni systemy ta tekhnologii perevezen* [Transport systems and transportations technologies], 2014, vol. 8, pp. 27-34.
4. HBN V.2.3-37472062-1:2012. Haluzevi budivelni normy Ukrainy. Sporudy transportu. Sortuvalni prystroi zaliznyts. Normy proektuvannia [Design codes HBN V.2.3-37472062-1:2012. Branch building norms of Ukraine. Transport facilities. Sorting devices of railways. design standards]. Kyiv, Ministerstvo infrastruktury Ukrainy Publ., 2012. 112 p.
5. Zhuravel V.V. Vplyv naiavnosti vahoniv, yaki zaboroneno spuskaty z hirky, na protses rozpusku sostaviv [The influence of the occurrence of the cars which are forbidden to break-up on the hump on the breaking-up process]. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy – East-European Journal of Advanced Technologies*, 2012, no. 4/3 (58), pp. 38-44.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

6. Verhun O.F., Lypovets N.V., Boholii V.M. *Instruktsiia z rozrakhunku naiavnoi propusknoi spromozhnosti zaliznyts Ukrainy TsD-0036* [Instructions for calculating the available capacity of railways of Ukraine TsD-0036]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2002. 376 p.
7. Kozachenko D.M., Levvitskyi I.Yu., Bolvanovska T.V. Doslidzhennia vplyvu shvydkosti rozpusku sostaviv na pererobnu spromozhnist sortovalnykh hirok [Investigation of influence of rate of breaking up of train sets on processing capacity of marshalling hump yards]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, vol. 41, pp. 61-63.
8. Kozachenko D.M., Berezovyi M.I., Korobiova R.H. Optyimizatsiia rozpodilu sortovalnykh kolii mizh pryznachenniamy planu formuvannia [The optimization of distribution sorting tracks between the assignment plan formation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, vol. 22, pp. 52-55.
9. Lisenkov V.M. *Statisticheskaya teoriya bezopasnosti dvizheniya poyezdov* [Statistical theory of train traffic safety]. Moscow, VINITI RAN Publ., 1999. 332 p.
10. Metodichni vkazivky z rozrakhunku norm chasu na manevrovi roboty, yaki vykonuiutsia na zaliznychnomu transporti: nakaz Ukrzaliznytsi 25.03.2003 r. № 0-72/ TsZ [Guidelines for the calculation of standard time for shunting work performed on railway transport: UZ order 25.03.2003. 0-72/TsZ]. Kyiv, 2003. 82 p.
11. Modin N.K. *Bezopasnost funktsionirovaniya gorochnykh ustroystv* [Functioning safety of marshalling devices]. Moscow, Transport Publ., 1995. 173 p.
12. Ohar O.M., Rozsokha O.V., Kostienikov O.M. Vyznachennia intensyvnopei vidmov ta vidnovlennia pidsystem sortovalnoi hirky [Defining of the failure rate and recovery of marshalling yard subsystems]. *Informatsiino-keruivchi systemy na zaliznychnomu transporti – Information and Control Systems on Railway Transport*, 2012, no. 3, pp. 3-12.
13. Negrey V.Ya., Pozhidayev S.A., Filatov Ye.A. Obosnovaniye urovnya tekhnicheskogo osnashcheniya i optimizatsiia parametrov konstruksii sortirovochnykh kompleksov zheleznodorozhnykh stantsiy [Justification of the level of technical equipment and optimization of the design parameters of sorting complexes for railway stations]. *Transportni systemy ta tekhnologii perevezhen* [Transport systems and transportations technologies], 2014, vol. 8, pp. 110-119.
14. Ostrovskiy A.M., Lisutin A.M. Propusk vagonov s opasnymi gruzami cherez sortirovochnyye gorki [Pass of cars with dangerous freights through the marshalling yards]. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld* [Proc. SWorld], 2012, vol. 2, no. 1, pp. 38-41.
15. Kozachenko D.M., Bobrovskiy V.I., Grevtsov S.V., Berezovyi M.I. Controlling the speed of rolling cuts in condition of reduction of brake power of car retarders. *Nauka ta prohres Transportu – Science and Transport Progress*, 2016, no. 3 (63), pp. 28-40. doi: 10.15802/stp2016/74710.
16. Pepevnik A., Bogović B. The railway traffic shunting system. *Promet*, 2003, vol. 15, no. 3, pp. 177-184.
17. Zarecky S., Grun J., Zilka J. The newest trends in marshalling yards automation. *Transport Problems*, 2008, tom 3, vol. 4, part 1, pp. 87-95.
18. Zhang C., Li Y. Analysis of Over-speed Coupling Accidents on Hump based on Fuzzy Petri Net. Proc. of 2010 IEEE the 17th Intern. Conf. on Industrial Engineering and Engineering Management, 2010, pp. 1014-1018. doi: 10.1109/ICIEEM.2010.5646453.

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. В. І. Бобровським (Україна), д.т.н., проф. О. М. Огарем (Україна)

Надійшла до редколегії: 04.04.2016

Прийнята до друку: 06.07.2016