

УДК 656.212

В. В. ЖУРАВЕЛЬ^{1*}

^{1*} Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373-15-12, ел. пошта zhuravel72@mail.ru, ORCID 0000-0001-7338-4584

ПРОБЛЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ

Мета. Сортувальні станції є опорними пунктами з організації вагонопотоків на мережі залізниць України; від їх якісної роботи в значній мірі залежить виконання термінів доставки вантажів, забезпечення збереження вагонів і вантажів, зниження собівартості перевезень. Найбільш ефективними сортувальними пристроями на таких станціях є сортувальні гірки. Системи інтервально-прицільного регулювання швидкості скочування відцепів на сортувальних гірках отримали домінуюче розповсюдження на залізницях світу. Одним з недоліків таких систем є пошкодження вагонів під час сортування. Визначення шляхів усунення даного недоліку є актуальною задачею сьогодення. **Методика.** Для отримання значень середньої швидкості зіткнення відцепів на сортувальних коліях використано імітаційне моделювання процесу розформування составів на сортувальній гірці. **Результати.** Встановлено, що зменшення розрахункової швидкості підходу відцепів до вагонів, які знаходяться на сортувальних коліях, викликає суттєве зменшення можливої кількості пошкоджених вагонів на 1000 перероблених на гірці і, як наслідок, зменшення річних експлуатаційних витрат, які пов'язані з пошкодженням вагонів. У той же час, збільшення похибки гальмування відцепів викликає суттєве зростання кількості таких вагонів. Збільшення крутості ухилу сортувальних колій викликає певне зростання кількості пошкоджених вагонів і витрат, які пов'язані з їх пошкодженням. **Наукова новизна.** Досліджено вплив точності гальмування відцепів на парковій гальмовій позиції, розрахункової швидкості їх підходу до вагонів, які знаходяться на сортувальних коліях, і параметрів профілю цих колій на середню швидкість зіткнення відцепів і можливу кількість пошкоджених вагонів. **Практична значимість.** Результати досліджень дозволяють визначити найбільш раціональний варіант технічного оснащення сортувальної гірки та системи керування парковою гальмовою позицією.

Ключові слова: сортувальна гірка; прицільне регулювання швидкості; пошкодження вагонів; імітаційне моделювання.

Цель. Сортировочные станции являются опорными пунктами по организации вагонопотоков на сети железных дорог Украины; от их качественной работы в значительной степени зависит выполнение сроков доставки грузов, обеспечение сохранности вагонов и грузов, снижение себестоимости перевозок. Наиболее эффективными сортировочными устройствами на таких станциях являются сортировочные горки. Системы интервально-прицельного регулирования скорости скатывания отцепов на сортировочных горках получили доминирующее распространение на железных дорогах мира. Одним из недостатков таких систем является повреждение вагонов во время сортировки. Определение путей устранения данного недостатка является актуальной задачей. **Методика.** Для получения значений средней скорости соударения отцепов на сортировочных путях использовано имитационное моделирование процесса расформирования составов на сортировочной горке. **Результаты.** Установлено, что уменьшение расчетной скорости подхода отцепов к вагонам, находящимся на сортировочных путях, вызывает существенное уменьшение возможного количества повреждаемых вагонов на 1000 переработанных на горке и, как следствие, уменьшение годовых эксплуатационных расходов, связанных с повреждением вагонов. В то же время, увеличение погрешности торможения отцепов вызывает существенное возрастание количества таких вагонов. Увеличение крутизны уклона сортировочных путей вызывает определенное возрастание количества повреждаемых вагонов и расходов, связанных с их повреждением. **Научная новизна.** Исследовано влияние точности торможения отцепов на парковой тормозной позиции, расчетной скорости их подхода к вагонам, находящимся на сортировочных путях, и параметров профиля этих путей на среднюю скорость соударения отцепов и возможное количество повреждаемых вагонов. **Практическая значимость.** Результаты исследований позволяют определить наиболее рациональный вариант технического оснащения сортировочной горки и системы управления парковой тормозной позицией.

Ключевые слова: сортировочная горка; прицельное регулирование скорости; повреждение вагонов; имитационное моделирование.

Purpose. Marshalling yards are strong points for the organization of wagonflows on the railway network of Ukraine; on their quality of work depends largely on the implementation of deliveries, the preservation of wagons and cargo, reducing transportation costs. The most efficient sorter at such stations are sorting humps. Systems of the interval and aiming adjusting of speed of rolling of cuts on the sorting humps semi-dominant chili spread of the railways in the world. One disadvantage of such systems is damaged wagons during sorting. Identifying ways to eliminate this disadvantage is an urgent task. **Methodology.** For the average speed collision of cuts on the sorting tracks to use simulations disbandment process breaking-up of trains on the sorting hump. **Findings.** It was found that the decrease in the estimated speed approach to cuts the wagons, located on sorting tracks, causes a significant decrease in the number of possible damaged cars for 1000 processed on the hump and a decrease in annual operating costs associated with damage to the wagons. Increase of error of braking of cuts causes a significant increase in the number of such wagons. Increase slope sorting tracks cause a certain increase in the number of wagons damaged and costs related to their injury. **Originality.** The influence of the accuracy of the braking of cuts at the park brake position, the design speed of their approach to wagons located on sorting ways and profile settings of these tracks on the average speed of the collision of cuts and the possible number of damaged wagons. **Practical value.** The results allow to determine the most rational option sorting hump technical equipment and control systems park brake position.

Keywords: sorting hump; aiming adjusting of speed; damaged of wagons; simulation model.

Вступ

В сучасних умовах, які характеризуються високою конкуренцією перевізників на ринку транспортних послуг, однією з нагальних задач для зміцнення позицій залізничного транспорту є безупинне підвищення ефективності його функціонування.

Найбільш продуктивними сортувальними пристроями при масовій переробці вагонопотоків є сортувальні гірки, які відіграють значну роль у підвищенні рівня енергозощадження та безпеки розформування складів поїздів, зниженні тривалості знаходження вагонів на станції і їх обігу, підвищенні рівня збереження вагонів і вантажів, що перевозяться в них.

Незважаючи на певні недоліки, концепція інтервально-прицільного регулювання швидкості скочування відцепів з сортувальної гірки отримала домінуюче розповсюдження на залізницях світу.

Постановка проблеми

Інерційність вагонних уповільнювачів, незадовільний стан поздовжнього профілю сортувальних колій, помилки в роботі автоматизованих систем управління та гіркових операторів через неврахування всіх факторів повністю не виключають перевищення допустимої швидкості зіткнення вагонів на підгіркових коліях і, як наслідок, пошкодження вагонів і вантажів, які перевозяться у них.

Аналіз досліджень і публікацій

Ризики втрат внаслідок транспортних подій є найбільш ефективним і універсальним показником безпеки функціонування залізничного

транспорту [1]. Під час формування оцінок роботи конкретного господарства раціональним є використання локальних показників, які враховують специфіку їх роботи. Головним критерієм при оцінюванні ступеню важливості порушення можна вважати розмір збитків у грошовому еквіваленті.

Для можливості оцінки ефективності впровадження систем автоматизованого управління швидкістю скочування відцепів з сортувальної гірки [2] ці системи повинні будуватися із типових блоків (управління інтервальним і прицільним гальмуванням тощо), для кожного з яких слід встановити параметри якості реалізації ними своїх функцій (точність реалізації швидкості виходу відцепів з гальмових позицій тощо). При цьому вибір типу вагонних сповільнювачів і їх кількості має бути спрямованим на зменшення різниці швидкості скочування відцепів [3].

Підвищення якості регулювання швидкості скочування відцепів потребує посилення технічного оснащення сортувальної гірки. При цьому виникає потреба у значних капітальних вкладеннях, але зменшуються експлуатаційні витрати на переробку вагонів [4].

Одним з показників [5], які характеризують якість управління розпуском на гірках, є ймовірність перевищення відцепом допустимої швидкості зіткнення із вагонами, що знаходяться на сортувальній колії, наслідком якого є поява витрат, пов'язаних з пошкодженням вагонів і вантажів. Наявність таких витрат слід враховувати [6, 7] під час розгляду варіантів механізації або автоматизації сортувальних гірок, а вихідні дані для їх розрахунку за кожним з варіантів одержувати у результаті імітаційного моделювання [8].

Під час такого моделювання слід враховувати структуру вагонопотоку. Дослідження, виконані у роботах [9, 10], дозволили встановити, що у вагонопотоках, які переробляються на гірках, переважають одновагонні відчепи, а за типом – піввагони; крім цього, спостерігається значне коливання за ваговою категорією вагонів.

Достатньо низька якість прицільного регулювання швидкості відчепів у автоматизованих системах призводить до частих втручань операторів гірки до їх роботи [5, 11]. Це викликано або невпевненістю операторів гірки у результатах гальмування, або невідповідністю фактичної швидкості відчепів у разі їх автоматичного гальмування тій швидкості, яку за прогнозом оператора повинен мати відчеп для забезпечення необхідної дальності пробігу.

За точності прицільного гальмування, якої можна досягти на існуючих сортувальних гірках, мають місце зіткнення вагонів із перевищенням допустимої швидкості [11]. Таким чином, збільшення лише точності не дозволяє повною мірою вирішити проблему прицільного регулювання швидкості скочування відчепів.

Для зменшення фактичних швидкостей зіткнення відчепів на сортувальних коліях і кількості пошкоджених вагонів разом із підвищенням точності гальмування необхідно знижувати розрахункову швидкість підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на сортувальних коліях, яка приймається під час визначення необхідної швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції.

Постановка завдання

Метою даної статті є дослідження впливу точності прицільного гальмування відчепів, розрахункової швидкості їх підходу до вагонів, які знаходяться на сортувальних коліях, і параметрів профілю цих колій на кількість пошкоджених вагонів.

Результати досліджень

Можливу кількість пошкоджених вагонів на 1000 перероблених на сортувальній гірці згідно з [8] можна визначити як

$$n_{\text{п}} = 0,00143v_3^{3,865}, \quad (1)$$

де v_3 – середня швидкість зіткнення відчепів, км/год.

Значення v_3 отримано на підставі імітаційного моделювання процесу розформування составів на сортувальній гірці з використанням

моделі, яку описано у [12], для сортувальної гірки великої потужності з параметрами, які наведено у [13]. Параметри вагонопотоку, який підлягає переробці, наведено у [14].

Під час досліджень похибка гальмування відчепів (середня квадратична помилка розрахунку та реалізації швидкостей їх виходу з гальмових позицій) σ_v для кожної гальмової позиції варіювалася у межах 0,2...0,7 м/с з кроком 0,1 м/с, розрахункова швидкість підходу відчепів до вагонів, які знаходяться на сортувальних коліях, v_p становила 1,0 м/с, 1,2 м/с і 1,4 м/с.

Згідно із [15] сортувальні колії за парковою гальмовою позицією повинні розташовуватись на спуску крутістю 0,6 ‰, але аналіз даних для 7 сортувальних комплектів станцій Одеської та Придніпровської залізниць дозволив встановити, що середня крутість ухилу цієї ділянки $i_{\text{СК}}$ може досягати 1,5 ‰. Тому під час досліджень значення $i_{\text{СК}}$ варіювалися у межах 0,6...1,5 ‰ з кроком 0,3 ‰.

Аналіз отриманих даних, приклад яких наведено на рис. 1, дозволив встановити наступне:

1. За $v_p = 1,4$ м/с значення v_3 завжди перевищують допустиму швидкість підходу відчепів до вагонів, які знаходяться на сортувальних коліях, v_d (1,4 м/с). Дані перевищення змінюються від 0,02 м/с (0,07 км/год) при $i_{\text{СК}} = 0,6$ ‰ і $\sigma_v = 0,2$ м/с до 0,25 м/с (0,90 км/год) при $i_{\text{СК}} = 1,5$ ‰ і $\sigma_v = 0,7$ м/с.

2. За $v_p = 1,2$ м/с значення v_3 перевищують v_d при: $i_{\text{СК}} = 0,6$ ‰ і $\sigma_v = 0,7$ м/с; $i_{\text{СК}} = 0,9$ ‰ і $i_{\text{СК}} = 1,2$ ‰, $\sigma_v = 0,6$ м/с і $\sigma_v = 0,7$ м/с; $i_{\text{СК}} = 1,5$ ‰ і $\sigma_v = 0,5...0,7$ м/с. При цьому перевищення змінюються від 0,02 м/с (0,07 км/год) до 0,15 м/с (0,54 км/год).

3. За $v_p = 1,0$ м/с значення v_3 не перевищують v_d при $i_{\text{СК}} = 0,6$ ‰ і $i_{\text{СК}} = 0,9$ ‰ та перевищують v_d при: $i_{\text{СК}} = 1,2$ ‰ і $\sigma_v = 0,7$ м/с; $i_{\text{СК}} = 1,5$ ‰, $\sigma_v = 0,6$ м/с і $\sigma_v = 0,7$ м/с. При цьому перевищення змінюються від 0,01 м/с (0,04 км/год) до 0,08 м/с (0,29 км/год).

4. За $i_{\text{СК}} = 0,6...1,5$ ‰:

– при v_p від 1,0 м/с до 1,4 м/с значення v_3 збільшуються на 39...34 % при $\sigma_v = 0,2$ м/с і на 14...11 % при $\sigma_v = 0,7$ м/с. При цьому збільшення значень $i_{\text{СК}}$ викликає зменшення величини перевищення значень v_3 ;

– при збільшенні похибки гальмування відчепів від 0,2 м/с до 0,7 м/с значення v_3 збільшуються на: 35 % при $v_p = 1,0$ м/с; 20 % при $v_p = 1,2$ м/с; 11 % при $v_p = 1,4$ м/с.

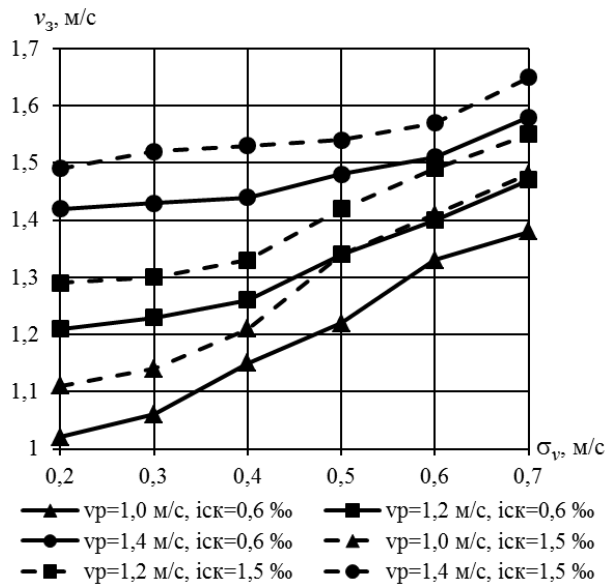


Рис. 1. Графіки залежності середньої швидкості зіткнення відцепів на сортувальних коліях від похибки їх гальмування

На підставі отриманих у результаті імітаційного моделювання значень v_3 за формулою (1) розраховано можливу кількість пошкоджених вагонів на 1 000 перероблених. Аналіз отриманих даних, приклад яких наведено на рис. 2, дозволив встановити наступне:

1. За $i_{ск} = 0,6 \dots 1,5 \text{ ‰}$:

– при зменшенні розрахункової швидкості підходу відцепів до вагонів, які знаходяться на сортувальних коліях, значення $n_{п}$ зменшуються у 3,5...3,1 рази при $\sigma_v = 0,2 \text{ м/с}$ та у 1,7...1,5 рази при $\sigma_v = 0,7 \text{ м/с}$;

– при збільшенні похибки гальмування відцепів значення $n_{п}$ збільшуються у: 3,1...3,3 рази при $v_p = 1,0 \text{ м/с}$; 2,0...2,1 рази при $v_p = 1,2 \text{ м/с}$; 1,5 рази при $v_p = 1,4 \text{ м/с}$;

2. При збільшенні $i_{ск}$ від 0,6 ‰ до 1,5 ‰ значення $n_{п}$ збільшуються на: 20...43 % при $v_p = 1,0 \text{ м/с}$, 22...29 % при $v_p = 1,2 \text{ м/с}$ і 16...27 % при $v_p = 1,4 \text{ м/с}$.

За виразами, наведеними у [15], розраховано річні експлуатаційні витрати $E_{п}$, які пов'язані з пошкодженням вагонів, (рис. 3 і 4) для двох випадків: 1) $i_{ск} = 0,6 \text{ ‰}$; 2) $i_{ск} = 1,5 \text{ ‰}$.

Прийнято, що: 1) добовий обсяг переробки на сортувальній гірці становить 3 500 вагонів; 2) тривалість виконання операцій з пошкодженим вагоном дорівнює 8 год.; 3) середньозважена вартість одного вагона дорівнює 1 360 000 грн.; 4) сума середньої вартості ремонту пошкодженого вагона з урахуванням вартості втрачених та (або) пошкоджених частин і середніх витрат на відшкодування вантажовла-

сникам, перевантаження та ліквідацію зсуву вантажу у розрахунку на один пошкоджений вагон дорівнює 4 000 грн.

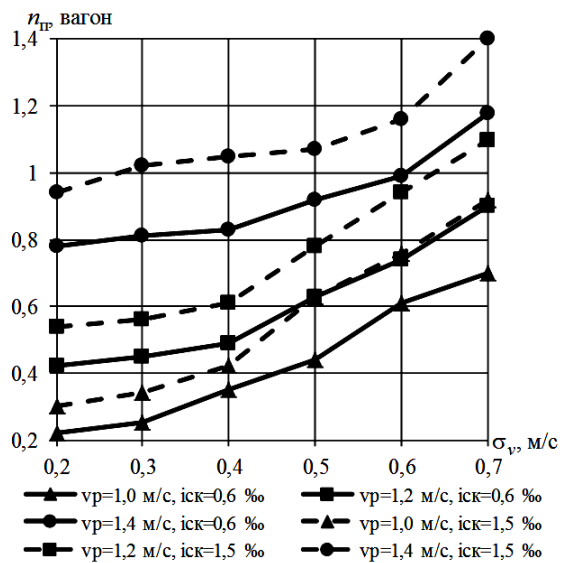


Рис. 2. Графіки залежності можливої кількості пошкоджених вагонів на 1000 перероблених вагонів від похибки гальмування відцепів

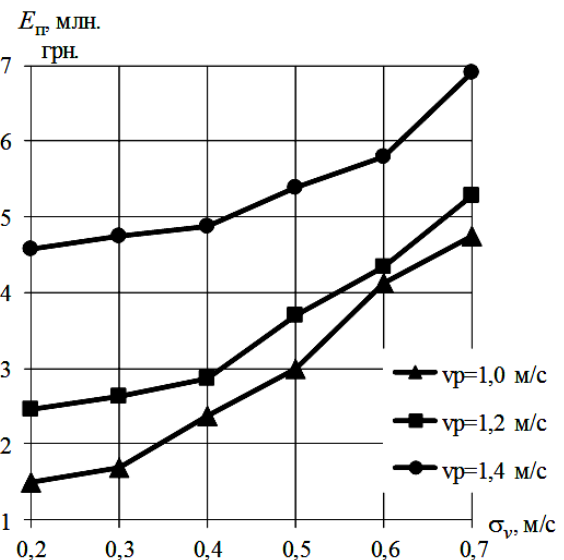


Рис. 3. Графіки залежності річних експлуатаційних витрат, які пов'язані з пошкодженням вагонів, від похибки гальмування відцепів при $i_{ск} = 0,6 \text{ ‰}$

Аналіз отриманих даних дозволив встановити наступне:

1. За $i_{ск} = 0,6 \text{ ‰}$:

– зменшення v_p від 1,4 м/с до 1,2 м/с викликає зменшення витрат $E_{п}$ на 2,109603 млн. грн. при $\sigma_v = 0,2 \text{ м/с}$ і на 1,640802 млн. грн. при $\sigma_v = 0,7 \text{ м/с}$. У цілому дані витрати зменшуються у 1,3...1,9 рази;

– зменшення v_p від 1,4 м/с до 1,0 м/с викликає зменшення витрат $E_{п}$ на 3,079168 млн. грн.

при $\sigma_v = 0,2$ м/с і на 2,168687 млн. грн. при $\sigma_v = 0,7$ м/с. У цілому дані витрати зменшуються у 1,5...3,1 рази;

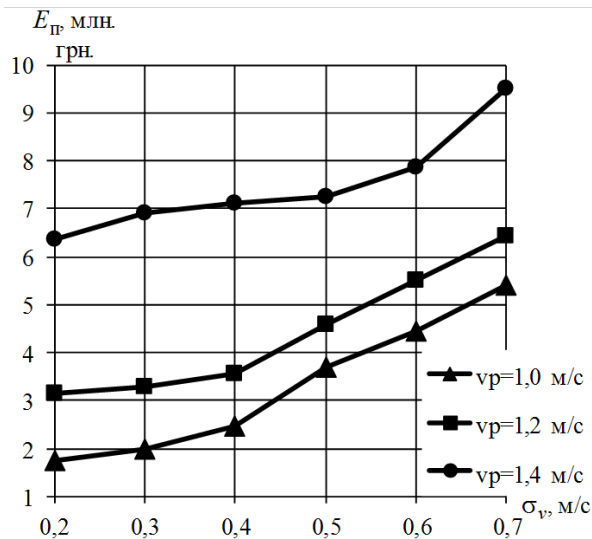


Рис. 4. Графіки залежності річних експлуатаційних витрат, які пов'язані з пошкодженням вагонів, від похибки гальмування відчепів при $i_{ск} = 1,5$ ‰

2. За $i_{ск} = 1,5$ ‰:

– зменшення v_p від 1,4 м/с до 1,2 м/с викликає зменшення витрат E_p на 3,20896 млн. грн. при $\sigma_v = 0,2$ м/с і на 3,046236 млн. грн. при $\sigma_v = 0,7$ м/с. У цілому дані витрати зменшуються у 1,4...2,1 рази;

– зменшення v_p від 1,4 м/с до 1,0 м/с викликає зменшення витрат E_p на 4,615362 млн. грн. при $\sigma_v = 0,2$ м/с і на 4,101038 млн. грн. при $\sigma_v = 0,7$ м/с. У цілому дані витрати зменшуються у 1,8...3,6 рази;

3. Збільшення $i_{ск}$ від 0,6 ‰ до 1,5 ‰ викликає збільшення витрат E_p на 4...24 % при $v_p = 1,0$ м/с, 22...29 % при $v_p = 1,2$ м/с і на 35...46 % при $v_p = 1,4$ м/с.

Висновки

Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Зменшення розрахункової швидкості підходу відчепів до вагонів, які знаходяться на сортувальних коліях, від 1,4 м/с до 1,0 м/с викликає зменшення можливої кількості пошкоджених вагонів на 1 000 перероблених у цілому в 1,5...3,5 рази і, як наслідок, зменшення річних експлуатаційних витрат, які пов'язані з пошкодженням вагонів.

2. Збільшення похибки гальмування відчепів від 0,2 м/с до 0,7 м/с викликає зростання мож-

ливої кількості пошкоджених вагонів на 1 000 перероблених у цілому в 1,5...3,3 рази.

3. Збільшення крутості ухилу сортувальних колій від 0,6 ‰ до 1,5 ‰ викликає зростання можливої кількості пошкоджених вагонів на 1000 перероблених у цілому на 16...43 %, і, як наслідок, зростання річних експлуатаційних витрат, які пов'язані з пошкодженням вагонів, на 4...46 %.

4. Зменшення розрахункової швидкості підходу відчепів до вагонів, які знаходяться на сортувальних коліях, призводить до збільшення довжини «вікон» між групами вагонів та витрат, пов'язаних з їх ліквідацією. Таким чином, найбільш раціональним буде варіант, який забезпечує мінімум загальних витрат.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Мойсесенко, В. І. Оцінювання стану безпеки руху залізничного транспорту [Текст] / В. І. Мойсесенко, М. М. Чепцов, С. В. Панченко, О. О. Самсонкін // Зб. наук. праць Донецького інст. залізн. тр-ту Укр. держ. академії залізн. трансп. – Донецьк, 2011. – Вип. 28. – С. 83-87.

2. Козаченко, Д. М. Исследование требований к системам прицельного регулирования скорости скапывания отцепов при автоматизации расформирования составов [Текст] / Д. М. Козаченко // Зб. наук. праць Донецького інст. залізн. тр-ту Укр. держ. академії залізн. трансп. – Донецьк, 2010. – Вип. 22. – С. 5-13.

3. Prokop, J. Design of Hump Profile in Railroad Classification Yard [Tekst] / J. Prokop, S. Myojin // Memoirs of the Faculty of Engineering, Okayama University. – 1993. – № 2. – Р. 41-58.

4. Негрей, В. Я. Совершенствование подходов к обоснованию уровня технического оснащения и оптимизации параметров конструкции сортировочных горок [Текст] / В. Я. Негрей, С. А. Пожидаев, Е. А. Филатов // Наука и транспорт : вестник Белорусского гос. ун-та трансп. – Гомель, 2012. – № 1 (24). – С. 49-53.

5. Огар, О. М. Системний підхід до управління безпекою розформування составів на гірках [Текст] / О. М. Огар, І. В. Берестов, С. О. Бантюкова, В. О. Амосов // Зб. наук. праць УкрДАЗТ, – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 134. – С. 14-22.

6. Берестов, І. В. Удосконалення методики економічного порівняння варіантів технічного оснащення сортувальних пристроїв [Текст] / І. В. Берестов, О. М. Огар, М. Ю. Куценко, О. В. Розсоха // Зб. наук. праць УкрДАЗТ, – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 119. – С. 42-47.

7. Луханін, М. І. Удосконалення методики визначення оптимальних технічних засобів на сортувальних гірках малої потужності [Текст] / М. І. Луханін, В. Ф. Чеклов, Ю. Ю. Панченко // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2011. – № 5. – С. 57-60.

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

9. Журавель, В. В. Аналіз показників роботи сортувальних гірок і параметрів вагонопотоків, які підлягають переробці на них [Текст] / В. В. Журавель, І. Л. Журавель, В. М. Мірча // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. праць Дніпропетр. націон. ун-ту залізн. трансп. ім. академіка В. Лазаряна «». – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2013. – Вип. 6. – С. 47-50.

10. Березовий, М. І. Підвищення ефективності роботи залізничних станцій шляхом удосконалення спеціалізації сортувальних колій [Текст]: дис. ...канд. техн. наук: 05.22.20 / Березовий Микола Іванович. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2010. – 198 с.

11. Автоматизация и механизация переработки вагонов на станциях [Текст] / [Муха Ю. А., Харламович И. В., Шейкин В. П. и др.]. – Москва: Транспорт, 1985. – 248 с.

12. Журавель, В. В. Вплив наявності вагонів, які заборонено спускати з гірки, на процес розпуску составів. [Текст] / В. В. Журавель // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 4/3 (58). – С. 38-44.

13. 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.

14. 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. – Дніпропетровськ, 2010. – № 32. – С. 237-241.

15. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР [Текст]: ВСН 207-89 (МПС СССР) – М.: Транспорт, 1992. – 105 с.

16. Журавель, В. В. Визначення раціональних варіантів процесу розформування-формування составів на сортувальних гірках [Текст] / В. В. Журавель // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 3/3 (57). – С. 24–30.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Альошинским Е. С. (Україна)

Надійшла до редколегії 20.12.2014.

Прийнята до друку 22.12.2014.