

УДК 656.212.5

Т. В. БОЛВАНОВСЬКА^{1*}, П. О. ЯНОВСЬКИЙ^{2*}, А. Р. МІЛЯНИЧ^{3*}

^{1*} Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373-15-12, ел. пошта valentinovna.upr@gmail.com, ORCID 0000-0001-6462-8524

^{2*} Каф. «Військової підготовки», Національний авіаційний університет, пр. Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел. +38 (044)-406-77-44, (067)-403-15-76, ел. пошта niklu@ukr.net, ORCID 0000-0003-4430-5386

^{3*} Каф. «Рухомий склад та колія», Львівська філія Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Іванни Блажкевич, 12, м. Львів, Україна, 79052, тел. +38 (067) 747 46 46, ел. пошта milyan_74@ukr.net, ORCID 0000-0003-3583-792X

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБЛАСТІ ДОПУСТИМИХ РЕЖИМІВ ГАЛЬМУВАННЯ ПРИ ЗМІНІ ШВИДКОСТІ РОЗПУСКУ СОСТАВІВ

Мета. Метою роботи є дослідження конфігурації області допустимих режимів гальмування відцепів при зміні швидкості розпуску составів та її впливу на умови розділення. **Методика.** Дослідження виконані з використанням методів математичного моделювання гіркових процесів. **Результати.** У статті виконано дослідження впливу швидкостей розпуску составів на конфігурацію і площу областей допустимих швидкостей виходу відцепів з гальмівних позицій. Для оцінки якості сортувального процесу використовується ризик нерозділення відцепів на розділових стрілках. Зі збільшенням швидкості розпуску ризик нерозділення відцепів зростає, площа області допустимих швидкостей виходу відцепів з гальмівних позицій зменшується. Початкова швидкість розпуску впливає в основному тільки на величину початкового інтервалу між відцепами на вершині гірки, її вплив на умови прицільного регулювання швидкості скочування відцепів є незначним. Для збільшення площі області допустимих швидкостей можливо змінити обмеження та умови скочування – скоротити дальність скочування відцепів – обмежити її докочуванням відцепу за граничний стовпчик останнього стрілочного перевалу. Для збільшення площі області та сприяння зменшенню ризиків нерозділення доцільно встановлювати на другій гальмівній позиції уповільнювачі, які мають велику допустиму швидкість входу на них. **Наукова новизна.** В результаті виконаних досліджень отримано залежності конфігурації області допустимих режимів гальмування відцепів від його швидкості на вершині гірки, що дозволяє спростити оцінку впливу швидкості розпуску состава на величину інтервалів на розділових елементах. **Практична значимість.** Результати виконаних досліджень можуть бути використані при розробці рекомендацій гірковим операторам, черговим по сортувальним гіркам та маневровим диспетчерам.

Ключові слова: швидкість розпуску, відцеп, сортувальна гірка, область допустимих режимів.

Вступ

Розвиток та конкурентоспроможність залізничного транспорту в значній мірі залежить від швидкої та якісної роботи залізничних станцій. За період свого обороту вагони тривалий час знаходяться на технічних станціях, основними з яких є сортувальні. Покращення роботи сортувальних станцій дає можливість досягти скорочення тривалості знаходження вагонів на них, що зменшує термін доставки вантажів, експлуатаційні витрати на перевезення, дозволяє збільшити переробну спроможність елементів станції та покращує якість використання існуючого технічного оснащення. У сучасній науці існує декілька напрямів покращення якості та ефективності роботи сортувальних станцій, основні з них спрямовані на інтенсифікацію виконання розформування-формування составів.

Сортувальні гірки є основним технічним засобом для розформування-формування составів

поїздів. У зв'язку з цим завдання вдосконалення їх роботи є актуальними для залізничного транспорту [1-4].

Аналіз літературних джерел та постановка задачі дослідження

Швидкість розпуску составів є одним з основних показників, що визначають переробну спроможність сортувальних гірок [5]. В процесі розформування-формування составів швидкість розпуску комплексно впливає на умови прицільного та інтервального регулювання швидкості скочування відцепів. З однієї сторони збільшення швидкості розпуску зменшує прямі витрати часу на вказану операцію та забезпечує зменшення тривалості гіркового циклу. В той же час, збільшення швидкості розпуску составів призводить до скорочення інтервалів між відцепами на вершині гірки і, як наслідок, викликає збільшення кількості нерозділень відче-

пів, що призводить до збільшення обсягу роботи з ліквідації «запусків».

Для оцінки впливу швидкості розпуску на показники роботи гірки виконано побудову областей допустимих режимів гальмування відчепів при різних швидкостях розпуску составів. Область допустимих режимів гальмування відчепів є фігурою, кожна точка якої відповідає режиму гальмування, що забезпечує виконання вимог прицільного та інтервального регулювання швидкості скочування відчепів. Використовувати області допустимих режимів гальмування для оцінки режимів гальмування запропоновано в [3]. У даній роботі ця область будувалася на координатній площині, по вісях якої відкладалися величини енергетичної висоти, яку погашають на першій і другій гальмівних позиціях. З огляду на те, що на реальних сортувальних гірках керуваними параметрами є швидкості виходу відчепів з гальмівних позицій, то в подальших дослідженнях [6, 7] при побудові області допустимих режимів гальмування по координатних вісях відкладалися швидкості виходу відчепів з гальмівних позицій. На рис. 1 наведено загальний вигляд області допустимих швидкостей виходу відчепа важкої вагової категорії.

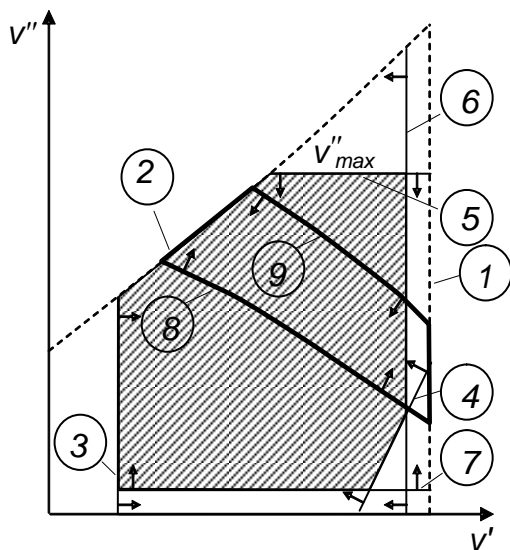


Рис. 1. Конфігурація області допустимих швидкостей виходу відчепа важкої вагової категорії з гальмівних позицій спускної частини гірки

При цьому план і поздовжній профіль сортувальної гірки накладають обмеження за максимальними швидкостями, які можуть бути реалізовані при виході відчепа з першої гальмівної позиції (ВГП) та другої гальмівної позиції (СГП), відповідно обмеження 1 і 2. Зазначені обмеження виділяють в першому ква-

драті область можливих швидкостей виходу відчепів з гальмівних позицій. Технічні характеристики уповільнювачів (номінальна потужність, допустимі швидкості входу), а також положення точки прицілювання вносять додаткові обмеження на швидкості виходу відчепів з гальмівних позицій. Такими обмеженнями є наступні: 3 – за потужністю першої гальмівної позиції; 4 – за потужністю другої гальмівної позиції; 5 – за потужністю третьої (паркової) гальмівної позиції; 6 – за ймовірністю перевищення встановленої швидкості входу відчепа на уповільнювач другої гальмівної позиції; 7 – за ймовірністю зупинки відчепа в уповільнювачах паркової гальмівної позиції [9]. Обмеження 1-7 дозволяють виділити область, в якій забезпечуються допустимі швидкості скочування відчепа та вимоги прицільного регулювання швидкості його скочування Ω_{Π} (заштрихована область на рис. 1).

Якість інтервального регулювання швидкості скочування відчепів може бути оцінена за допомогою ризику нерозділення відчепів на розділових елементах [7, 8]

$$r_n = \sum_{i=1}^{n-1} \Phi \left(\frac{t_{0i} - t_{pe} - M[\tau_i] + M[t_{i+1}]}{\sqrt{D[\tau_i] + D[t_{i+1}]}} \right) m_{i+1} \rightarrow \min, (1)$$

де $\Phi(x)$ – функція Лапласа;

t_{0i} – початковий інтервал між відчепами на вершині гірки;

t_{pe} – мінімальний допустимий інтервал на розділовому елементі;

$M[\tau_i], M[t_{i+1}]$ – відповідно, математичні сподівання випадкової величини часу скочування відчепа від моменту відриву до моментів заняття і звільнення розділових елементів;

$D[\tau_i], D[t_{i+1}]$ – відповідно, дисперсії випадкової величини часу скочування відчепа від моменту відриву до моментів заняття і звільнення розділових елементів;

m_{i+1} – кількість вагонів в $i+1$ відчепі;

n – кількість відчепів.

Вимоги інтервального регулювання швидкості скочування відчепів накладають обмеження, які відповідають максимально допустимому ризику нерозділення відчепа, відповідно з попереднім і наступним на розділових елементах. В цілому обмеження 1, 2 і 8, 9 виділяють область швидкостей виходу відчепів з гальмівних позицій, в якій забезпечуються вимоги інтервального регулювання Ω_{Π} .

Областю допустимих режимів гальмування Ω_d є перетин областей Ω_n і Ω_n : $\Omega_d = \Omega_n \cup \Omega_n$. В якості обмежень області Ω_d виступають ті самі обмеження, що відзначалися для області Ω_n та додаються наступні обмеження: 8 – за умови розділення відчепа з наступним відчепом; 9 – за умови розділення відчепа з попереднім відчепом.

Дослідження залежностей показників регулювання швидкості скочування відчепів від режимів гальмування показує, що оптимальні режими гальмування з області Ω_d , як правило, знаходяться на межах області Ω_n . При цьому, якщо $\sigma_1 > \sigma_2$ (стрілка поділу в першій парі відчепів розташована далі по маршруту скочування ніж у другій) оптимальні режими знаходяться на обмеженнях 7, 4 і 6, а якщо $\sigma_1 < \sigma_2$ (стрілка поділу в першій парі отцепов розташована ближче за маршрутом скочування ніж у другій) то оптимальні режими знаходяться на обмеженнях 3, 5 і 2.

Необхідно відзначити, що в попередніх дослідженнях побудова областей допустимих режимів гальмування виконувалося при постійній швидкості розпуску. Дослідження впливу швидкості розпуску на конфігурацію області допустимих режимів гальмування відчепів дозволить оцінити напрямки вдосконалення конструкції сортувальних гірок для підвищення їх переробної спроможності.

На сортувальних гірках відбувається керуване скочування відчепів. При цьому швидкість розпуску повинна бути такою, щоб на розділових елементах, розташованих до першої гальмівної позиції, забезпечувалося гарантоване розділення відчепів із заданою імовірністю. Якщо розділові елементи розташовуються після гальмівних позицій, то на умови розділення відчепів впливають як початкова швидкість розпуску, так і вибрані режими гальмування.

Аналіз результатів досліджень

Виконані дослідження показали, що швидкість розпуску несуттєво впливає на величину $M[t_{i+1}] - M[\tau_i]$, а також на дисперсії випадкових величин часу скочування відчепа від моменту відриву до моментів заняття і звільнення розділових елементів в порівнянні з впливом гальмівних позицій.

Початковий інтервал між відчепами на вершині гірки визначається за формулою

$$t_{0i} = \frac{l_i - s_{0,i} + s_{0,i+1}}{v_p}, \quad (2)$$

де l_i – довжина i -го відчепа;

$s_{0,i}, s_{0,i+1}$ – відповідно координата відриву i -го відчепа та наступного за ним;

v_p – швидкість розпуску.

Аналіз цього виразу показує, що швидкість розпуску істотно впливає на величину початкового інтервалу на вершині гірки. В цілому збільшення швидкості розпуску призводить до звуження області Ω_n . При цьому, зміна величини ризику нерозділення відчепів пов'язана насамперед зі зміною початкового інтервалу на вершині гірки і може визначатися за формулою [10]

$$r_n = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{t_{0i}(v_0) - t_{pe} - M[\tau_i^*] + M[t_{i+1}^*]}{\sqrt{D[\tau_i^*] + D[t_{i+1}^*]}} \right), \quad (3)$$

де $t_{0i}(v_0)$ – величина початкового інтервалу на вершині гірки в залежності від швидкості розпуску;

$M[\tau_i^*], M[t_{i+1}^*]$ – відповідно, математичні сподівання випадкової величини часу скочування відчепа від моменту відриву до моментів заняття і звільнення розділових елементів при нормативній швидкості розпуску і відповідному їй оптимальному режимі гальмування;

$D[\tau_i^*], D[t_{i+1}^*]$ – відповідно, дисперсії випадкової величини часу скочування відчепа від моменту відриву до моментів заняття і звільнення розділових елементів при нормативній швидкості розпуску і відповідному їй оптимальному режимі гальмування

Для встановлення впливу початкової швидкості розпуску на конфігурацію області Ω_n для відчепів різних вагових категорій було проведено ряд обчислювальних експериментів на ЕОМ, які показали, що зміна швидкості розпуску переважно впливає тільки на розташування обмежень 3 і 6 (див. рис. 2). Дослідження проводилися для $v_0 = 1,0; 1,4; 1,7; 2,0; 2,5$ м/с.

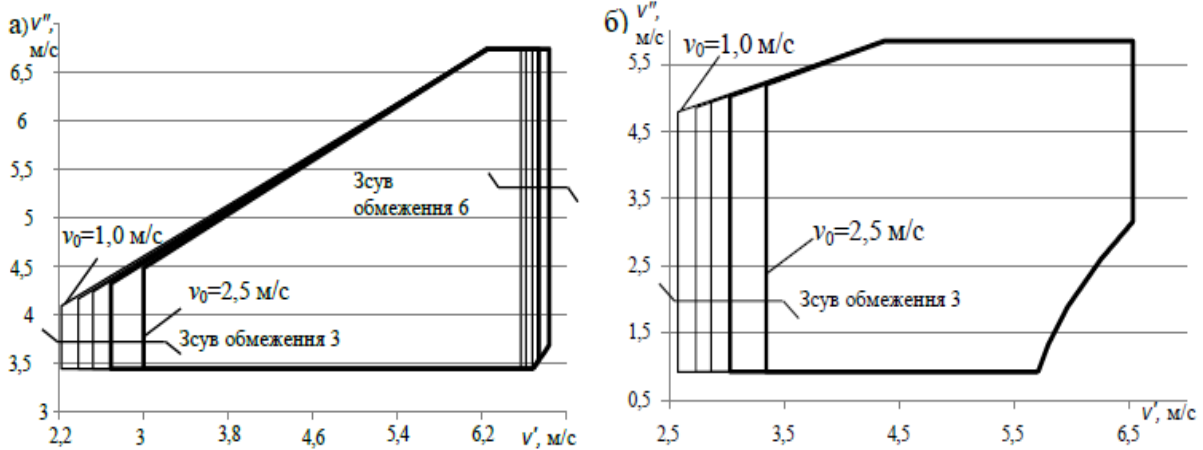


Рис. 2. Конфігурація області допустимих швидкостей виходу відчепа при різних швидкостях розпуску для: а) одновагонного відчепа легкої вагової категорії; б) одновагонного відчепа важкої вагової категорії

Як видно з рис. 2, для відчепа важкої вагової категорії положення обмеження 6, яке відповідає максимальній швидкості входу на СГП не змінюється. Причиною таких змін (положення обмеження 6 не змінюється) є те, що відчеп набирає досить високу швидкість і виникає необхідність його гальмування на СГП.

Для відчепів, що складаються з 3 і 4 вагонів легкої вагової категорії це відбувається при швидкості розпуску 1,7 м/с і більше (див. рис. 3).

Така ситуація є справедливою для всіх типів відчепів, крім одновагонних відчепів легкої вагової категорії. Підвищення швидкості розпуску для цих відчепів дозволяє дещо збільшити швидкість їх входу на СГП і змістити обмеження 6 вправо без перевищення допустимої величини.

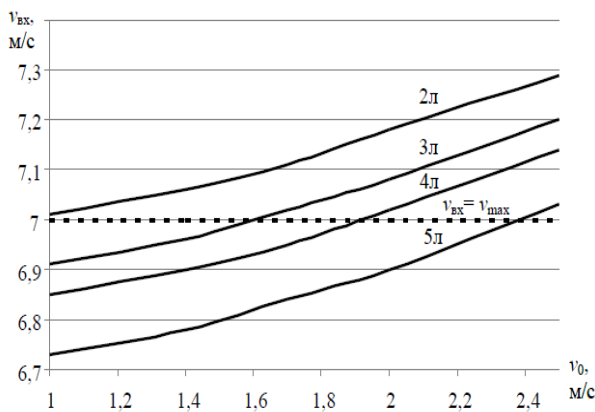


Рис. 3. Залежність швидкості входу відчепів на СГП від швидкості розпуску состава

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що збільшення швидкості розпуску відчепів істотно впливає на розміри

області Ω_{Π} , зменшуючи її площу. У той же час, зменшення Ω_{Π} за рахунок зміни положення обмеження 3 несуттєво погіршує умови розділення відчепів на розрахункових стрілках, оскільки на обмеженні 3 знаходиться не більше 20 % оптимальних режимів гальмування. Також зміна положення цього обмеження не суттєво впливає на умови прицілювання швидкості скочування так, як в його межах паркова гальмівна позиція не працює в граничних режимах. В свою чергу, зміна положення обмеження 6 може значно поліпшити умови розділення відчепів з одновагонними відчепами легкої вагової категорії, оскільки при $\sigma_1 > \sigma_2$ оптимальні режими знаходяться саме на цьому обмеженні.

Для збільшення площі області допустимих швидкостей було змінено обмеження та умови скочування. За умови заочування відчепа за граничний стовпчик останнього стрілочного переходу (координата точки прицілювання зменшена на 110 м) для одновагонного відчепа область має наступний вигляд (рис. 4).

Для отримання більш повного ефекту доцільно обладнати другу гальмівну позицію гальмівними уповільнювачами, які допускають більш високі швидкості входу в них відчепів, що дозволить збільшити площу області Ω_{Π} .

Виконані дослідження дозволяють зробити висновок про те, що початкова швидкість розпуску впливає в основному тільки на величину початкового інтервалу між відчепами на вершині гірки.

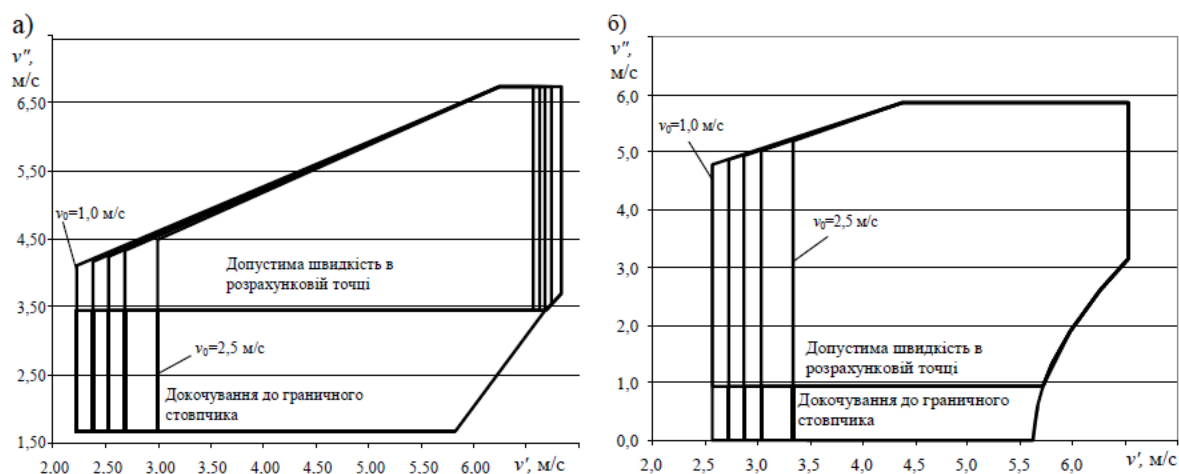


Рис. 4. Конфігурація області допустимих швидкостей виходу відчепа при різних швидкостях розпуску для одновагонного відчепа за умови докочування до граничного стовпчика:
а) легка вагова категорія; б) важка вагова категорія

Висновки

Вплив початкової швидкості розпуску на умови прицільного регулювання швидкості скочування відцепів є незначним.

В цілому, виконані дослідження дозволяють отримувати оцінку впливу швидкості розпуску на сортувальний процес за допомогою аналітичних виразів, а не імітаційного моделювання, що істотно спрощує процедуру аналізу.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бессоненко, С. А. Математическая модель расчета параметров интервального торможения отцепов и переменных скоростей роспуска составов / С. А. Бессоненко, В. Н. Иванченко, А. М. Лященко // Вестник РГУПС. – 2013. – № 1. – С. 55-65.
2. Огар, О. М. Системний підхід до розрахунку раціональних технологічних параметрів діючих сортувальних гірок / О. М. Огар, К. А. Асєєва, А. В. Солянкін // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 6/4 (54). – С. 41-44.
3. Бобровский, В. И. Ограничения режимов торможения отцепов на сортировочных горках / В. И. Бобровский, Р. В. Вернигора, А. В. Кудряшов, Л. О. Ельникова // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 27 – С. 30-35.
4. Шиш, В. О. Особливості розробки Генеральної схеми розвитку залізничного транспорту України на період до 2020 року / В. О. Шиш // Залізничний транспорт України. – 2009. – № 6. – С. 38-40.
5. Козаченко, Д. Н. Исследование влияния скорости роспуска составов на перерабатывающую способность сортировочных горков / Д. Н. Козачен-

ко, И. Е. Левицкий, Т. В. Болвановская // Наука и прогресс транспорта.. – 2012. – № 41. – С. 61-63. – DOI : 10.15802/stp2012/7667.

6. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках : монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Н. П. Божко, Н. В. Рогов, Н. И. Березовый, А. В. Кудряшов. – Днепропетровск : Ю. В. Маковецкий, 2010. – 260 с. – ISBN 978-966-1507-25-7.

7. Bobrovskiy, V. Probabilistic Approach for the Determination of Cuts Permissible Braking Modes on the Gravity Humps / V. Bobrovskiy, D. Kozachenko, A. Dorosh, E. Demchenko [and others] // Transport problems. – 2016. – Vol. 11, Is. 1. – P. 147-155. – DOI : 10.20858/tp.2016.11.1.14.

8. Козаченко, Д. Н. Исследование условий интервального регулирования скорости скатывания отцепов на автоматизированных горках / Д. Н. Козаченко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 34. – С. 46-50.

9. Козаченко, Д. М. Дослідження допустимих режимів гальмування відцепів на сортувальних гірках / Д. М. Козаченко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 4/3 (64). – С. 25-28.

10. Болвановская, Т. В. Исследование влияния скорости роспуска на конфигурацию области допустимых режимов торможения отцепов / Т. В. Болвановская // Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ. – 2015. – Вып. 7. – С. 30-34.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Огарем О. М. (Україна)

Надійшла до редколегії 18.12.2017.

Прийнята до друку 19.12.2017.

Т. В. БОЛВАНОВСКАЯ, П. А. ЯНОВСКИЙ, А. Р. МИЛЯНИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАСТИ ДОПУСТИМЫХ РЕЖИМЕ Торможения при изменении скорости роспуска составов

Цель. Целью работы является исследование конфигурации области допустимых режимов торможения отцепов при изменении скорости роспуска составов и ее влияния на условия разделения. **Методика.** Исследования выполнены с использованием методов математического моделирования горочных процессов. **Результаты.** В статье выполнены исследования влияния скоростей роспуска составов на конфигурацию и площадь областей допустимых скоростей выхода отцепов из тормозных позиций. Для оценки качества сортировочного процесса используется риск неразделения отцепов на разделительных стрелках. С увеличением скорости роспуска риск неразделения отцепов растет, а площадь области допустимых скоростей выхода отцепов из тормозных позиций уменьшается. Начальная скорость роспуска влияет в основном только на величину интервала между отцепами на вершине горки, ее влияние на условия прицельного регулирования скорости скатывания отцепов незначительно. Для увеличения площади области допустимых скоростей возможно изменить ограничения и условия скатывания - сократить дальность скатывания отцепов - ограничить ее докатыванием отцепа за предельный столбик последнего стрелочного перевода. Для увеличения площади области и содействию уменьшению рисков неразделения целесообразно устанавливать на второй тормозной позиции замедлители, которые имеют большую допустимую скорость входа на них. **Научная новизна.** В результате выполненных исследований получены зависимости изменения области допустимых режимов торможения отцепа от его скорости на вершине горки, что позволяет упростить оценку влияния скорости роспуска состава на величину интервалов на разделительных элементах. **Практическая значимость.** Результаты выполненных исследований могут быть использованы при разработке рекомендаций горочным операторам, дежурным по сортировочным горкам и маневровым диспетчерам.

Ключевые слова: скорость роспуска, отцеп, сортировочная горка, область допустимых режимов.

T. V. BOLVANOVSKA, P. O. YANOVSKY, A. R. MILYANYCH

STUDY OF ALLOWED BRAKING MODE WHEN CHANGING THE SPEED OF DISSOLUTION OF THE COMPOSITIONS

Purpose. The aim of the work is to study the configuration of the region of permissible braking regimes for cuts when the dissolution rate of the compositions changes and its effect on the separation conditions. **Methodology.** The research was carried out using the methods of mathematical modeling of dairy processes. **Results.** The article investigates the effect of composition dissolution rates on the configuration and the area of the regions of permissible exit cuts from the braking positions. To assess the quality of the sorting process, the risk of non-separating the cuts on the dividing arrows is used. With the increase in the dissolution rate, the risk of non-separating the hooks increases, and the area of the permissible withdrawal rates of the trailing brakes decreases. The initial rate of dissolution affects mainly only the value of the interval between the cuts at the top of the hump, its influence on the conditions of the aim control of the speed of rolling off the trains is insignificant. To increase the area of the permissible speed range it is possible to change the limitations and conditions of rolling – to shorten the range of rolling off the traps – to limit it by docking the father for the last column of the last switch. To increase the area of the area and to help reduce the risks of non-separation, it is advisable to install retarders at the second braking position, which have a high permissible entry speed on them. **Scientific novelty.** As a result of the performed studies, the dependence of the change in the permissible inhibition regimes of the detachment on its speed at the top of the slide is obtained, which makes it possible to simplify the evaluation of the effect of the dissolution rate on the value of the intervals on the separation elements. **Practical significance.** The results of the research can be used to develop recommendations to the mountain operators, duty on the sorting hump coaster and shunting dispatchers.

Keywords: dissolution rate, cut, sorting hump, range of permissible modes.