

Міністерство освіти і науки України

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна



Гревцов Сергій Веніамінович

УДК 656.212.5

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ РОЗФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ
НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ З НЕМЕХАНІЗОВАНИМИ ПАРКОВИМИ
ГАЛЬМОВИМИ ПОЗИЦІЯМИ**

05.22.20 –експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро– 2018

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі «Управління експлуатаційною роботою» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор **Козаченко Дмитро Миколайович**,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, професор кафедри «Управління експлуатаційною роботою».

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Огар Олександр Миколайович**,
Український державний університет залізничного транспорту, завідувач кафедри «Залізничні станції та вузли»;

кандидат технічних наук, доцент **Яновський Петро Олександрович**, Національний авіаційний університет, професор кафедри військової підготовки

Захист відбудеться «20»грудня 2018р. о 13 год 30 хв на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: вул. Лазаряна, 2, зал засідань, к. 314, м. Дніпро, 49010.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, 49010.

Автореферат розісланий «20» листопада 2018р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,

доктор технічних наук, професор



І. В. Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Основним засобом розформування-формування составів вантажних поїздів на залізницях є сортувальні гірки. Якість їх роботи багато в чому визначає як собівартість перевізного процесу, так і його безпеку, збереження рухомого складу й вантажів, що перевозяться. На 87 % сортувальних гірок України для регулювання швидкості скочування відчепів застосовується башмачне гальмування. Окрім того, у зв'язку зі значним зносом гальмових уповільнювачів, башмачне гальмування інтенсивно використовується й на гірках, де механізовані всі гальмові позиції. Тому тема дисертації є актуальною для залізничного транспорту України.

Зв'язок теми з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до пріоритетних напрямків розвитку залізничної галузі, які визначені в Транспортній стратегії України до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010), а також пов'язана з НДР, що виконані Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: «Визначення умов та розробка рекомендацій з безпечної організації розпуску составів на сортувальних гірках станції Нижньодніпровськ-Вузол для різних ступенів зменшення гальмової потужності уповільнювачів спускної частини гірки та паркової гальмівної позиції»(номер державної реєстрації 0115U007067), «Удосконалення методів імітаційного моделювання сортувального процесу на гірках»(номер державної реєстрації 0117U006815), у яких автор є виконавцем та автором звітів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності розформування-формування составів вантажних поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями за рахунок оптимізації управління швидкістю скочування відчепів.

Поставлена мета досягається в результаті вирішення таких **задач дослідження:**

- аналіз сучасних методів організації роботи сортувальних гірок;
- удосконалення методів оцінки показників безпеки процесу розформування составів поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями;
- дослідження умов розділення відчепів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями;
- розробка методів вибору режимів розформування составів на сортувальних гірках з немеханізованими парковими гальмовими позиціями;
- розробка вимог до організації сортувального процесу в умовах зменшення

гальмової потужності уповільнювачів;

– удосконалення методів оцінки переробної спроможності сортувальних гірок.

Об'єктом дослідження є процес розформування-формування составів поїздів на сортувальних станціях.

Предметом дослідження є взаємозв'язки режимів розформування составів поїздів з показниками ефективності сортувального процесу.

Методи дослідження. Математична статистика та кореляційний аналіз, методи управління ризиками використані для оцінки показників безпеки процесу розформування составів поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями. Імітаційне моделювання, числові методи розв'язання диференціальних рівнянь, методи математичного програмування застосовувалися для розробки методів вибору режимів розформування составів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями та для розробки вимог до організації сортувального процесу в умовах зменшення гальмової потужності уповільнювачів. Теорія ймовірностей, теорія маневрової роботи, імітаційне моделювання, математична статистика – для удосконалення методів оцінки переробної спроможності сортувальних гірок.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вирішенні актуального наукового завдання – підвищення ефективності розформування-формування составів вантажних поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями за рахунок оптимізації управління швидкістю скочування відчепів. Зокрема, наукова новизна роботи полягає в такому:

– вперше розроблено метод оптимізації розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів, який дозволяє забезпечити мінімальний час розпуску состава з виконанням умов безпеки сортувального процесу;

– вперше отримано комплекс залежностей, що визначають експлуатаційні вимоги до потужності уповільнювачів сортувальних гірок і дозволяють оперативному персоналу вводити обґрунтовані обмеження режимів розпуску составів для забезпечення безпеки сортувального процесу;

– удосконалено методи побудови області допустимих режимів гальмування відчепів за рахунок урахування обмежень, які накладаються на умови розпуску при наявності башмачних гальмових позицій, що дозволяє врахувати умови їх роботи в імітаційних моделях роботи сортувальних гірок;

– удосконалено методи визначення переробної спроможності сортувальних гірок, які, на відміну від існуючих, дозволяють враховувати технологічні обмеження, викликані вимогами безпеки сортувального процесу, і можуть застосову-

ватись для оцінки показників роботи гірок в умовах башмачного регулювання швидкості руху вагонів та параметричних відмов уповільнювачів.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові результати, які отримані в дисертаційній роботі, а також розроблені методи можуть бути використані під час складання технологічних процесів роботи станцій, планування штату регулювальників швидкості вагонів, для розробки рекомендацій гірковим операторам, черговим по сортувальних гірках та маневровим диспетчерам. Результати роботи використані для удосконалення роботи служби перевезень Регіональної філії «Львівська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця», в експертній практиці Львівського науково-дослідного інституту судових експертиз, а також у навчальному процесі в ході підготовки бакалаврів та магістрів зі спеціальності 275 «Транспортні технології», під час виконання дипломних магістерських робіт та в курсі лекцій з дисциплін «Станції та вузли» та «Управління експлуатаційною роботою».

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, що наведені в додатках до дисертації.

Особистий внесок здобувача. Усі наведені в роботі результати теоретичних та експериментальних досліджень отримані автором самостійно. Статті [1, 2] опубліковані без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає в такому: у статті [3] удосконалено методи управління гальмовими позиціями в умовах втрати уповільнювачами гальмової потужності; у статті [4] удосконалено методи оцінки впливу технічного стану уповільнювачів на переробну спроможність гірок; у статті [5] розроблено метод управління розпуском составів з немеханізованими парковими гальмовими позиціями; у статті [6] розроблено метод оптимізації розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені: на 77-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, ДНУЗТ, 2017 р.); на 78-й та 79-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, УДУЗТ, 2016, 2017рр.); на XI Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті» (Дніпро, ДНУЗТ, 2017 р.). У повному обсязі дисертація доповідалась і була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (2018 р.).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 10 наукових праць, з них 6 наукових публікацій у фахових виданнях, які входять до переліку МОН України, у тому числі одна наукова стаття у виданні, що входить до наукометрич-

ної бази Index Copernicus, та одна наукова стаття у виданні, що входить до наукометричної бази Ulrich's Periodicals Directory, 4 тези доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків і 3 додатків. Повний обсяг роботи – 164 сторінки, з них: основний текст – на 134 сторінках; рисунки і таблиці на окремих сторінках, додатки, список використаних джерел – на 30 сторінках. Робота проілюстрована 32 рисунками, наведено 15 таблиць. Список використаних джерел налічує 105 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету і завдання досліджень, наукову новизну, що захищається автором, наведено дані про практичне використання результатів дисертації.

У першому розділі виконано аналіз сучасних методів організації роботи сортувальних гірок та існуючих наукових методів дослідження та удосконалення сортувального процесу на залізничному транспорті.

Значний внесок у вирішення проблем удосконалення роботи сортувальних станцій та сортувальних гірок зробили вчені Березовий М. І., Бессоненко С. А., Берестов І. В., Бобровський В. І., Божко М. П., Грунтов П. С., Єфименко Ю. І., Журавель В. В., Жуковицький І. В., Козаченко Д. М., Колесник А. І., Кудряшов А. В., Муха Ю. О., Нагорний Є. В., Негрей В. Я., Образцов В. М., Огар О. М., Пожидаєв С. О., Шафіт Є. М., Шабалін М. М., Ющенко М. Р., Яновський П. О. та інші. У працях цих науковців наведено математичні моделі для дослідження процесу розформування составів, розв'язання задач управління роботою автоматизованих сортувальних гірок та ін. Основними задачами, які пов'язані з роботою сортувальних гірок з немеханізованими гальмовими позиціями, є зниження пошкодження коліс вагонів під час руху їх юзом та техніко-економічна оцінка ефективності механізації. Водночас виявлено, що задачі управління швидкістю скочування відчепів у разі використання башмачного гальмування приділялася недостатня увага. На підставі виконаного аналітичного огляду наукових робіт сформульовано мету дослідження, визначено основні задачі дослідження, обрано порядок та методи їх розв'язання.

У другому розділі удосконалено методи оцінки показників безпеки процесу розформування составів поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями та виконано дослідження умов розділення відчепів на них.

Дослідження щорічних «Аналізів стану безпеки руху в структурі Укрзалізниці» за період з 2006 по 2015 рік показують, що для сортувального процесу характерна значна кількість порушень безпеки руху. На рис. 1 наведено динаміку кількості працівників (загальної кількості та пов'язаних з гірковими процесами), причетних до транспортних подій по господарству перевезень. Аналіз вказаної залежності свідчить про те, що на розформування-формування составів на сортуваль-

них гірках припадає 20–30 % транспортних подій по господарству перевезень. Додаткове навантаження на оперативний персонал створює технічний стан гіркових пристроїв, насамперед незадовільний стан гальмових уповільнювачів. Зокрема, значна частина уповільнювачів на залізницях України не забезпечує нормативного натиснення шин на колеса.

Вказаний факт призводить до необхідності застосування башмачного гальмування навіть на сортувальних гірках з повністю механізованими гальмовими позиціями. Таким чином, задача підвищення безпеки процесу розформування составів є актуальною для залізничного транспорту України. При цьому важливим є дослідження ризиків, що притаманні башмачному гальмуванню.

Нормування показників безпеки для сортувальних

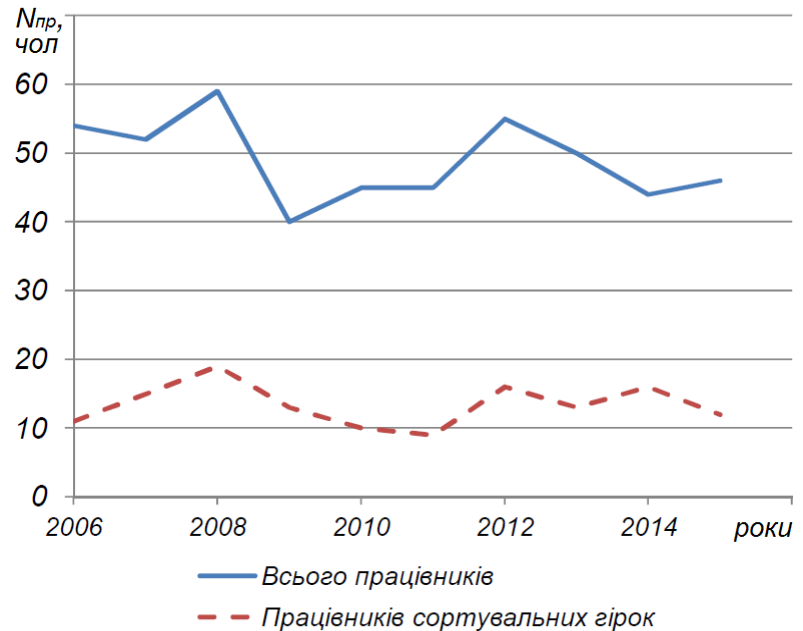


Рисунок 1 – Динаміка кількості працівників, причетних до транспортних подій по господарству перевезень

гірок може бути виконано з використанням методів менеджменту ризику. Під час сортувального процесу на залізничному транспорті можуть виникати загрози інфраструктурі залізниць, рухомому складу, вантажам, персоналу, а у випадку перевезення небезпечних вантажів і суспільству та навколишньому середовищу. У зв'язку з цим вказаний процес пов'язаний з ризиками.

Аналіз гіркових процесів показує, що разом з вимогами до управління сортувальним процесом, аналогічними до механізованих сортувальних гірок, сортувальні гірки з немеханізованими гальмовими позиціями мають певні особливості.. Насамперед режими гальмування відчепів повинні забезпечувати інтервали часу на башмачних гальмових позиціях, достатні для безпечного переходу регулювальників між сортувальними коліями, які вони обслуговують. На підставі аналізу гіркових процесів та рекомендованих рівнів небажаних подій у дисертації запропоновано рівні імовірностей цих подій, які наведено в табл. 1.

Для розробки методу розрахунку тривалості операції регулювання швидкості скочування відчепат_{рг} виконано спостереження за роботою сортувальних гірок станцій Львів та Клепарів.

Таблиця 1 – Рівні ймовірностей небажаних подій під час розпуску составів

Показник	Імовірність
Перевищення встановленої швидкості підходу відчепів до вагонів, що перебувають на сортувальних коліях	0,1
Перевищення встановленої швидкості входу на уповільнювач	0,05
Перевищення встановленої швидкості входу вагонів на башмаки	0,05
Нерозділення відчепів по маршруту	0,005
Нерозділення відчепів на башмачній гальмовій позиції	0,005

За результатами спостереження розроблено методи розрахунку величини $t_{рг}$. Так, на рис. 2 наведено розрахункову схему для визначення тривалості операції регулювання швидкості відчепа у випадку, коли він не гальмується уповільнювачем у момент входу в зону башмачного регулювання. На схемі позначено: $l_{обв}$ – довжина бази відчепа; $l_{зр}$ – довжина зони регулювання; $l_{г}$ – довжина зони гальмування; $l_{р}$ – відстань від входу відчепа в зону регулювання до його виходу з гальмової позиції.

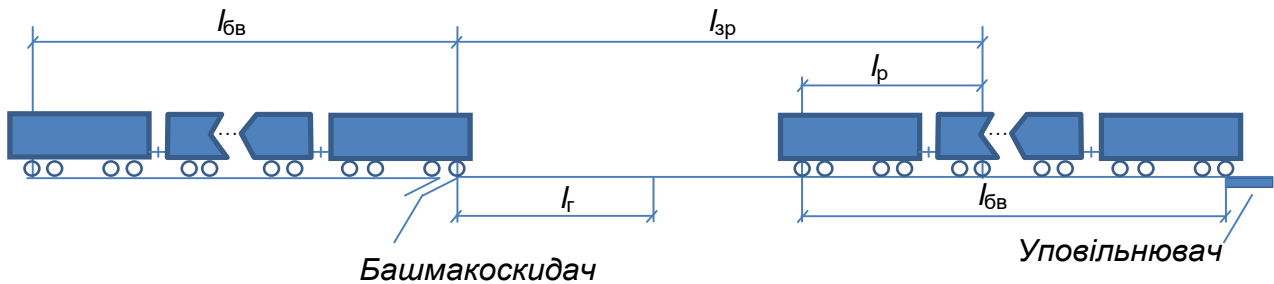


Рисунок 2 – Розрахункова схема для визначення тривалості операції регулювання швидкості скочування відчепа при $l_{зр} \geq l_{г} + l_{р}$

Витрати часу при цьому визначаються виразом

$$t_{рг} = \tau_{вхг} - \tau_{вхр} + \frac{l_{пр}}{v_{пр}} + \frac{2(l_{г} + l_{обв})}{v_{вхг} + v_{вихг}}, \quad (1)$$

де $\tau_{вхг}$, $\tau_{вхр}$ – відповідно моменти входу відчепа в зони гальмування та регулювання швидкості; $l_{пр}$, $v_{пр}$ – відповідно відстань та середня швидкість проходу регулювальника між коліями (для першого відчепа состава $l_{пр} = 0$); $v_{вхг}$, $v_{вихг}$ – відповідно швидкість відчепа в момент входу його першої осі в зону гальмування та в момент перетину його останньою віссю башмакоскидача.

У випадку коли в момент входу в зону регулювання відчеп продовжує гальмуватися уповільнювачем механізованої гальмової позиції, тривалість зайнятості регулювальника гальмуванням відчепа визначається виразом

$$t_{рг} = \tau_{виху} - \tau_{вхр} + \frac{l_{пр}}{v_{пр}} + \frac{2(l_{зр} + l_{обв} - l_{р})}{v_{виху} + v_{вихг}}, \quad (2)$$

де $\tau_{\text{виху}}$, $v_{\text{виху}}$ – відповідно момент та швидкість виходу останньої осі відчепа з уповільнювача.

Башмачні гальмові позиції, які обслуговуються одним регулювальником швидкості вагонів, при виборі швидкості виходу відчепів з першої та другої гальмових позицій спускної частини гірки повинні розглядатись як додаткові розділові елементи. Приклад області допустимих режимів гальмування відчепа (ОДР), де

враховані обмеження, які накладають на умови розпуску паркової башмачні гальмові позиції (ПГП), наведено на рис. 3. При цьому враховано такі обмеження: 1 – за потужністю першої гальмової позиції; 2 – за допустимою швидкістю входу відчепа на уповільнювач другої гальмової позиції; 3 – за допустимою швидкістю входу відчепа на башмак; 4 – за умовою звільнення відчепом башмачної гальмової позиції; 5 – за умовою розділення першого та

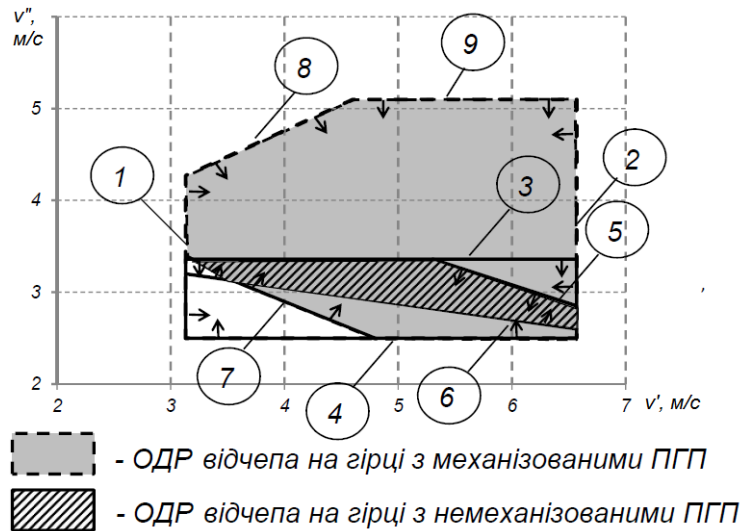


Рисунок 3 – Область допустимих швидкостей виходу відчепа з гальмових позицій спускної частини гірки

другого відчепів на башмачній ПГП; 6 – за умовою розділення другого та третього відчепів на башмачній ПГП; 7 – за умовою звільнення розділової стрілки перед наступним відчепом; 8 – за величиною прискорення на ділянці профілю між першою та другою гальмовими позиціями. Для порівняння на рис. 3 також наведена ОДР того самого відчепа на гірці з механізованими гальмовими позиціями. При цьому обмеження 9 пов'язано з потужністю ПГП. У дисертації виконано аналіз впливу різних параметрів на конфігурацію та розміри ОДР.

У третьому розділі розроблено методи вибору режимів розформування составів на сортувальних гірках з немеханізованими ПГП.

Вибір режимів гальмування окремих відчепів на сортувальних гірках являє собою складну багатофакторну задачу, у результаті розв'язання якої повинні бути забезпечені вимоги як інтервального, так і прицільного регулювання швидкості їх скочування. Характерними умовами роботи сортувальних гірок з немеханізованими гальмовими позиціями є, по-перше, ручне управління процесом гальмування на основі даних перевізних документів, а також візуальної оцінки ходових характеристик відчепів і умов їх скочування; по-друге, перебування людей у небезпечній зоні, що різко підвищує вимоги до безпеки сортувального процесу. У зв'язку з цим, для сортувальних гірок з немеханізованими гальмовими позиціями зна-

чну роль відіграє етап планування розпуску, на якому повинні бути встановлені несприятливі групи відчепів у складі та вжиті заходи щодо організації безпечного перебігу сортувального процесу.

Як керовані параметри при розформуванні складу прийнято: кількість послідовних колій, які обслуговуються кожним регулювальником швидкості, $x_r \in \mathbf{X}$, $r=1 \dots R$ (тут R – кількість регулювальників швидкості вагонів); кількість відчепів у групі, що розформується без перерви в розпуску, g_s , $s=1 \dots S$ (тут S – кількість груп відчепів у складі); швидкості розпуску окремих груп відчепів $v_{p,s}$; швидкості виходу відчепів із гальмових позицій $\mathbf{v}_j \in \mathbf{V}$, $j=1 \dots B$ (тут B – кількість гальмових позицій на гірці).

Метою розв'язання задачі управління розпуском складу обрано мінімальний час розформування T_p , що забезпечує максимальну переробну спроможність гірки:

$$T_p = \sum_{s=1}^S T_{p,s}(v_{p,s}, \mathbf{V}, \mathbf{X}) + (S-1)t_{\text{пер}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

де $T_{p,s}(v_{p,s}, \mathbf{V}, \mathbf{X})$ – тривалість розпуску вагонів s -ї групи відчепів залежно від встановленого закріплення регулювальників за сортувальними коліями \mathbf{X} , швидкості їх розпуску $v_{p,s}$ та режиму гальмування відчепів \mathbf{V} ; $t_{\text{пер}}$ – тривалість перерви в розпуску після розформування групи відчепів.

Наведена задача має такі обмеження:

$$\left\{ \begin{array}{l} v_{\min} \leq v_{p,s} \leq v_{\max}, \quad (4) \\ P(\delta t_{kjh}(v_{p,s}, \mathbf{V}) \leq t_{\text{pe},h}) \leq p_{\text{д},h}, \quad (5) \\ P(\mathbf{v}_j \notin \Omega_{\text{п},j}(v_{p,s})) \leq p_{\text{дп}}, \quad (6) \\ 0 \leq x_i \leq x_{\max}, \quad i = 1 \dots R, \quad (7) \\ \sum_{i=1}^R x_i = N, \quad (8) \\ Rx_{\max} \geq N, \quad (9) \end{array} \right.$$

де v_{\min} , v_{\max} – допустимі мінімальна й максимальна швидкості розпуску відповідно; $P(\delta t_{kjh}(v_{p,s}, \mathbf{V}) \leq t_{\text{pe},h})$ – імовірність того, що величина інтервалу δt_{kjh} між k та j -м відчепом на h -му розділовому елементі менша, ніж мінімально допустиме значення $t_{\text{pe},h}$; $p_{\text{д},h}$ – допустима ймовірність нерозділення відчепів на h -му розділовому елементі; $P(\mathbf{v}_j \notin \Omega_{\text{п},j}(v_{p,s}))$ – імовірність того, що режим гальмування відчепа

буде поза межами допустимої області; $p_{\text{дп}}$ – допустима ймовірність виходу режиму гальмування відчепа за межі області допустимих режимів; x_{max} – максимальна кількість колій, яку може обслуговувати один регулювальник швидкості вагонів; N – кількість колій у сортувальному парку.

Оцінка варіантів вибору параметрів розпуску составів здійснюється на основі методів імітаційного моделювання скочування відчепів із сортувальних гірок.

У результаті аналізу задачу вибору режимів розформування составів на сортувальних гірках з немеханізованими ПГП запропоновано розділити на три підзадачі. На нижньому рівні розв'язується задача вибору режимів гальмування відчепів за фіксованого розподілу сортувальних колій між регулювальниками та фіксованої швидкості розпуску групи відчепів. У якості режиму гальмування обирається максимально швидкий режим скочування, який забезпечує виконання обмежень (5) та (6).

На середньому рівні розв'язується задача оптимізації поділу состава на групи та вибору швидкості розпуску для кожної групи відчепів за умов фіксованого розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів. Необхідність забезпечення розділення відчепів на розділових елементах формують умови інтервального регулювання швидкості скочування відчепів. Розділовими елементами при цьому є стрілочні переводи, уповільнювачі механізованих гальмових позицій та регулювальники швидкості руху вагонів на башмачних гальмових позиціях. У випадку коли жоден режим гальмування відчепа не забезпечує його розділення по маршруту скочування з попередніми відчепами, необхідно знизити швидкість розпуску або зробити перерву в розпуску з метою збільшення початкового інтервалу на вершині гірки. Максимально допустимою швидкістю розпуску групи відчепів будемо називати найбільшу швидкість розпуску $v_{\text{рд}} (v_{\text{min}} \leq v_{\text{рд}} \leq v_{\text{max}})$, перевищення якої призводить до порушення умов інтервального регулювання швидкості скочування відчепів. Зменшення швидкості розпуску груп вагонів состава призводить до зростання часу, який витрачається на розпуск. Водночас зменшення швидкості розпуску може призводити до об'єднання груп і скорочення кількості перерв у розпуску. Необхідно зауважити, що мінімально можлива кількість перерв у розпуску відповідає мінімальній швидкості розпуску v_{min} ; максимально доцільна кількість перерв у розпуску відповідає максимальній швидкості розпуску v_{max} . У зв'язку з цим оптимізація поділу состава на групи відчепів здійснюється шляхом аналізу доцільності скорочення кількості перерв за рахунок зменшення швидкості розпуску. Мінімальна швидкість розпуску двох груп відчепів, при якій доцільним є виключення перерви між ними, визначається виразом

$$v_{\text{кр}12} = \max \left(v_{\text{min}}, \frac{(l_1 + l_2)v_{\text{рд}1}v_{\text{рд}2}}{l_1v_{\text{рд}2} + l_2v_{\text{рд}1} + t_{\text{пер}}v_{\text{рд}1}v_{\text{рд}2}} \right), \quad (10)$$

де l_1, l_2 – відповідно довжина першої та другої групи відчепів; $v_{\text{рд}1}, v_{\text{рд}2}$ – відповідно допустимі швидкості розпуску першої та другої груп відчепів.

Мінімальна швидкість розпуску состава з n груп відчепів визначається виразом

$$v_{\text{кр}1n} = \max \left(v_{\text{min}}, \min \left(\frac{(l_{1,n-1} + l_n)v_{\text{рд}1,n-1}v_{\text{рд}n}}{l_{1,n-1}v_{\text{рд}n} + l_2v_{\text{рд}1,n-1} + t_{\text{пер}}v_{\text{рд}1,n-1}v_{\text{рд}n}}, \frac{(l_1 + l_{2,n})v_{\text{рд}1}v_{\text{рд}2,n}}{l_1v_{\text{рд}2,n} + l_2v_{\text{рд}1} + t_{\text{пер}}v_{\text{рд}2,n}v_{\text{рд}1}} \right) \right), \quad (11)$$

де $l_{1,n-1}, l_{2,n}$ – відповідно загальна довжина відчепів з 1-го по $(n-1)$ -й та з 2-го по n -й; l_n – довжина n -го відчепа; $v_{\text{рд}1,n-1}, v_{\text{рд}2,n}$ – відповідно допустимі швидкості розпуску без перерви груп відчепів з 1-го по $(n-1)$ -й та з 2-го по n -й; $v_{\text{рд}n}$ – допустима швидкість розпуску n -го відчепа.

Для пошуку оптимального поділу состава на групи в дисертації розроблена така процедура:

Крок 1. Виконати моделювання розпуску состава зі швидкістю v_{max} і встановити множину відчепів, після яких можуть бути зроблені перерви в розпуску Q_6 . Визначити тривалість розпуску кожної з утворених груп.

Крок 2. Виконати моделювання розпуску состава зі швидкістю v_{min} та встановити множину відчепів, після яких повинні бути зроблені перерви в розпуску Q_m .

Крок 3. Якщо множини Q_6 та Q_m збігаються, то оптимальна швидкість розпуску всіх груп состава v_{max} . Кінець розв'язку.

Крок 4. Додати в множину можливих варіантів об'єднання груп **R** варіант організації розпуску состава з необ'єднаними групами.

Крок 5. Прийняти $i=1$.

Крок 6. Прийняти $i=i+1$.

Крок 7. Якщо $i > n$, то для варіантів множини **R** визначити загальну тривалість розформування й вибрати найменшу. Кінець розв'язку.

Крок 8. Розглянути можливість об'єднання i послідовних груп відчепів. Якщо об'єднання доцільно – додати можливі варіанти розпуску составів з об'єднанням груп у множину **R**.

Крок 9. Перейти на крок 6.

На верхньому рівні розв'язується задача розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів.

У цьому дослідженні прийнято, що призначення регулювальників на сортувальні колії виконується до початку розпуску состава та не змінюється в його процесі. При цьому i -й регулювальник обслуговує x_i послідовних колій сортувального парку. З огляду на те що при обслуговуванні однієї сортувальної колії одним

регулювальником швидкості вагонів досягається мінімум ймовірності нерозділення відчепів, що надходять в обслуговування на башмачні гальмові позиції, то при $R \geq N$ задача має тривіальний розв'язок: на кожен колію повинен бути призначений один регулювальник; при цьому частина регулювальників може бути не задіяна. У разі якщо $Rx_{\max} = N$, розв'язок задачі також є тривіальним, оскільки кожен регулювальник повинен обслуговувати максимально можливу кількість сортувальних колій. Якщо $R < N < Rx_{\max}$, то необхідно оцінювати вплив розподілу сортувальних колій між регулювальниками на умови розформування составів. При цьому має дотримуватися умова $1 \leq x_i \leq x_{\max}$, тому що залишати незадіяними частину регулювальників швидкості вагонів у цих умовах є нераціональним. Для ілюстрації в табл. 2 наведено приклад аналізу впливу розподілу 8 сортувальних колій між трьома регулювальниками на умови розділення відчепів на башмачних ПГП, коли кожен з регулювальників може обслуговувати не більше чотирьох колій.

Таблиця 2 – Вплив розподілу сортувальних колій між регулювальниками на умови розділення відчепів на башмачних ПГП

Варіант	Кількість колій			Номери відчепів															Кількість розділень			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
	Колії призначення відчепів															Z ₁ Z ₂ Z ₃ Z ₄						
	14	11	17	11	13	18	13	14	16	17	14	12	15	17	12							
x ₁	x ₂	x ₃	Номери регулювальників, які здійснюють гальмування відчепів															Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	
1	4	3	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	2	1	1	2	2	1	6			
2	4	2	2	1	1	3	1	1	3	1	1	2	3	1	1	2	3	1	4			
3	4	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	3	3	1	1	2	3	1	5			
4	3	4	1	2	1	2	1	1	3	1	2	2	2	2	1	2	2	1	5			
5	3	3	2	2	1	3	1	1	3	1	2	2	3	2	1	2	3	1	2	4		
6	3	2	3	2	1	3	1	1	3	1	2	3	3	2	1	2	3	1	2	3	4	1
7	3	1	4	2	1	3	1	1	3	1	2	3	3	2	1	3	3	1	3			
8	2	4	2	2	1	3	1	2	3	2	2	2	3	2	1	2	3	1	2	4		
9	2	3	3	2	1	3	1	2	3	2	2	3	3	2	1	2	3	1	2	3	4	2
10	2	2	4	2	1	3	1	2	3	2	2	3	3	2	1	3	3	1	3			
11	1	4	3	2	1	3	1	2	3	2	2	3	3	2	2	2	3	2	4			
12	1	3	4	2	1	3	1	2	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2	4			

З огляду на обмежену кількість варіантів розподілу, задача може бути розв'язана шляхом повного перебору. Водночас кількість варіантів розподілу сортувальних колій між регулювальниками може бути досить значною (рис. 4).

Метою дослідження є зменшення кількості аналізованих варіантів за рахунок використання направленої їх перебору, що є важливим для систем управління, які працюють у реальному часі.

Як математичний метод розв'язання задачі використано метод гілок і меж, який полягає у визначенні верхньої межі розв'язку $T_{\text{в}}$, яка відповідає відомому на

певному етапі розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів, що задовольняє обмеження(4)–(9) з найменшою тривалістю розпуску (3), і нижніх меж розв'язку $T_{н,b}$, що відповідають відомій оцінці тривалості розпуску состава за b -м варіантом такій, що заздалегідь не перевищує фактичну тривалість розпуску. Вибираючи початковий розподіл сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів, для визначення верхньої межі розв'язку доцільно вибрати варіант з найменшою кількістю розділових груп з послідовних відчепів Z_1 .

За наявності декількох варіантів з однаковою кількістю таких розділень вибір найкращого варіанта серед них виконується за кількістю поділів груп з одним проміжним відчепом Z_2 і т.д. Для оцінки нижніх меж розв'язку доцільно використовувати такі властивості задачі:

- допустима швидкість розпуску групи відчепів є меншою або дорівнює швидкості розпуску частини послідовних відчепів цієї групи;

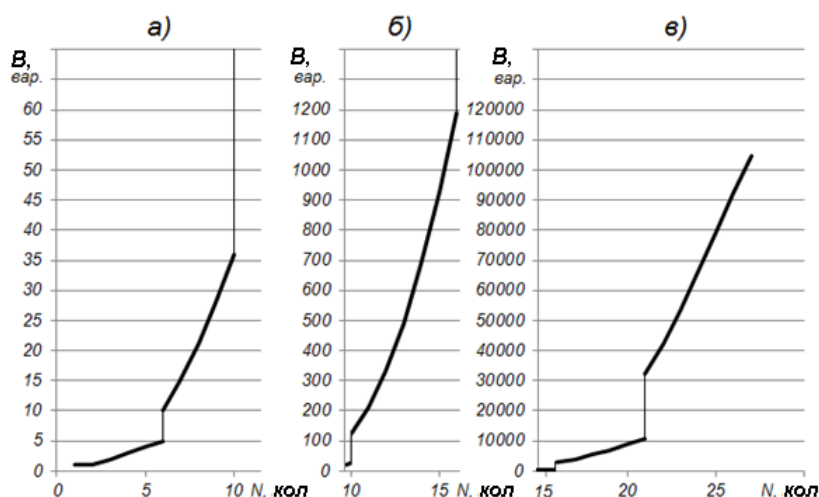
- найкращі умови для розділення відчепів на ПГП наявні в тому випадку, коли перший відчеп групи скочується у швидкому режимі (з урахуванням обмежень за умовами розділення на елементах спускної частини гірки з попередніми відчепами), а останній – у повільному режимі (з урахуванням обмежень за умовами розділення на елементах спускної частини гірки з такими відчепами).

Нижня межа тривалості розпуску состава для кожного b -го варіанта може бути встановлена за формулою

$$T_{н,bz} = \sum_{s=1}^{S^*} T_{p,sz}^{opt} (v_{p,sz}^*) + (S^* - 1)t_{пер}, \quad (12)$$

де S^* – кількість груп, утворених через обов'язкові перерви в розпуску;

$v_{p,sz}^*$ – максимально допустимі швидкості розпуску для окремих груп відчепів, коли перевірка умов розділення відчепів здійснюється в послідовностях не більше ніж z відчепів;



$$a - N=1..10; \text{ б} - N=10..15; \text{ e} - N=15..27$$

Рисунок4 – Залежність між кількістю колій N і кількістю можливих варіантів їх розподілу V між регулювальниками швидкості вагонів

$T_{p,sz}^{\text{опт}}(\mathbf{v}_{p,sz}^*)$ – мінімальна тривалість розпуску групи відчепів.

Варіанти, такі що $T_{n,bz} \geq T_B$, із розгляду виключаються. У випадку якщо в процесі аналізу встановлені значення усіх інтервалів на розділових елементах та час розпуску состава є меншим за T_B , то виконується заміна значення T_B .

Для составу, наведеного в табл. 2, оптимальним варіантом розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів є варіант б; тривалість розпуску состава при цьому становитиме 227,2 с. Для порівняння найгіршим варіантом розподілу є варіант 1, при якому тривалість розпуску становитиме 301,2 с.

У четвертому розділі розроблено вимоги до організації сортувального процесу в умовах зменшення гальмової потужності уповільнювачів та удосконалено методи оцінки переробної спроможності сортувальних гірок.

Однією з гострих проблем механізованих сортувальних гірок є зношений стан вагонних уповільнювачів, які в результаті цього повністю або частково відключаються або не можуть реалізовувати нормативну гальмову потужність. Методологічною основою вирішення проблеми функціонування сортувальних гірок в умовах втрати уповільнювачами гальмової потужності слугує теорія безпеки руху. При цьому для роботи сортувальних гірок у захищеному режимі можуть бути використані резерви, що були в них закладені на стадії проектування, а також ті, які утворилися через значне скорочення обсягів сортувальної роботи. У дисертації обґрунтовано використання методів організації сортувальної роботи залежно від ступеня втрати уповільнювачами гальмової потужності.

Потужності першої гальмової позиції (ГП1) має бути достатньо для забезпечення входу хорошого бігуна на другу гальмову позицію з допустимою швидкістю. Якщо ця умова не виконується, то розпуск припиняється через ризик пошкодження уповільнювачів.

Потужності першої та другої (ГП2) гальмових позицій повинно бути достатньо для забезпечення входу хорошого бігуна на третю гальмову позицію з допустимою швидкістю. Якщо ця умова не виконується, то розпуск у відповідний пучок припиняється через ризик пошкодження уповільнювачів.

Перша і друга гальмові позиції спільно повинні забезпечити зупинку відчепа на другій гальмовій позиції. У разі невиконання цієї вимоги спуск з гірки відчепа у відповідний пучок повинен здійснюватися лише за умов звільнення маршруту скочування і, якщо є потреба, повинні бути передбачені перерви в розпуску.

На гірках з прискорюючими ухилами гальмові позиції по маршруту повинні забезпечити зупинку відчепа на ПГП. У разі невиконання цієї умови має застосовуватися додаткове башмачне гальмування.

Потужність гальмових позицій по маршруту скочування повинна забезпечити вхід відчепів на додаткову башмачну гальмову позицію зі швидкістю, яка не перевищує 3,5 м/с. У разі невиконання цієї умови розпуск відчепів на цю сортувальну колію припиняється.

Графічно вказані правила можуть бути зображені у вигляді системи обмежень, індивідуальних для кожної гірки. Приклад таких обмежень у вигляді ліній U_1 , U_2 і U_3 , які виділяють три області Ω_1 , Ω_2 і Ω_3 , наведено на рис. 5. Якщо наявні потужності ГП1 і ГП2 відповідають області Ω_1 , то роз-

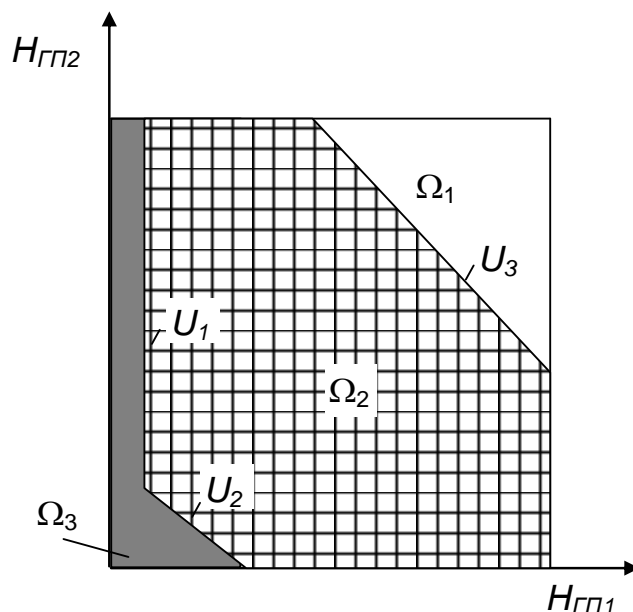


Рисунок 5 – Графічне зображення обмежень потужності гальмових позицій спускної частини гірки

пуск виконується в нормальному режимі; якщо області Ω_2 – у режимі обмежень; області Ω_3 – розпуск припиняється. Контроль гальмової потужності уповільнювачів при цьому здійснюється шляхом контролю зусилля натиснення їх шин.

Запровадження додаткових обмежень під час виконання розформування составів вантажних поїздів призводить до зниження переробної спроможності сортувальної гірки. Величина збільшення тривалості розпуску состава у випадку, коли потужність гальмових позицій забезпечує виконання вимог прицільного регулювання швидкості скочування відчепів, може бути визначена за виразом

$$T_{зр} = \frac{n_3}{n} \sum_{i=1}^n P_i t_{mi}, \quad (13)$$

де n_3 – кількість відчепів, перед якими може передбачатися затримка у розпуску; P_i – імовірність розділення i -го відчепа з попереднім у межах стрілочної зони; t_{mi} – тривалість руху відчепа від вершини гірки до розділової стрілки з попереднім відчепом.

На основі методів теорії імовірностей та теорії гіркових процесів у дисертації розроблено аналітичні методи визначення складових виразу (13). Втрата переробної спроможності гірки при роботі одного локомотива при цьому становить 15–20 %. Для випадків коли потужність гальмових позицій не забезпечує виконання вимог прицільного регулювання швидкості скочування відчепів, переробна спроможність визначається за допомогою імітаційного моделювання розпуску составів з урахуванням методів імітації роботи немеханізованих гальмових позицій, розроблених у розділі 3.

У додатках наведено дані для розрахунків, допоміжні математичні розрахунки, а також довідки про впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують наукове завдання підвищення ефективності розформування-формування составів вантажних поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими парковими гальмовими позиціями за рахунок оптимізації управління швидкістю скочування відчепів.

Виконані в роботі дослідження дозволяють зробити такі висновки:

1. На 87 % сортувальних гірок України для регулювання швидкості скочування відчепів застосовується башмачне гальмування. Окрім того, у зв'язку зі значним зносом гальмових уповільнювачів, башмачне гальмування інтенсивно використовується і на гірках, де механізовано всі гальмові позиції. Особливості експлуатації сортувальних гірок з немеханізованими гальмовими позиціями насамперед пов'язані з перебуванням людей у небезпечній зоні. Аналіз наукових праць, присвячених сортувальному процесу, свідчить про те, що задача управління швидкістю скочування відчепів за умов використання башмачного гальмування не вирішена остаточно і потребує додаткових досліджень.

2. Розформування-формування составів на сортувальних гірках є відповідальним технологічним процесом, на який припадає 20–30 % транспортних подій по господарству перевезень. Основними об'єктами ризику, характерними для сортувальних гірок, є регулювальники швидкості скочування вагонів, що працюють у небезпечній зоні (індивідуальний ризик), інфраструктура сортувальних гірок, рухомий склад та вантажі, що в ньому перевозяться (технічний ризик), та збільшення витрат на сортувальний процес (економічний ризик). У рамках дослідження визначено основні причини виникнення порушення безпеки руху на сортувальних гірках та допустимі рівні ризику.

3. Характерною особливістю роботи сортувальних гірок з немеханізованими парковими гальмовими позиціями є обслуговування одним регулювальником декількох сортувальних колій. У цих умовах паркові башмачні гальмові позиції є додатковими елементами сортувальних гірок, на яких необхідно виконувати перевірку умов розділення відчепів. Тривалість зайнятості регулювальника операцією гальмування відчепа на сортувальній колії залежить від довжини відчепа, швидкості його входу в зону регулювання та заданої швидкості виходу з неї й не залежить від кількості гальмових башмаків, що укладаються під вагони. Розроблено формули для розрахунку тривалості цієї операції.

4. Розроблено метод вибору параметрів управління розпуском составів, що

враховує особливості роботи сортувальних гірок з немеханізованими гальмовими позиціями. В основу пропонованої методики покладено методи математичного моделювання скочування відчепів із сортувальних гірок і математичної статистики. Розроблено метод пошуку оптимального розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів, який ґрунтується на оцінці тривалості розпуску составів на підставі аналізу умов поділу в окремих розрахункових групах відчепів і відкидання нераціональних варіантів на основі методу гілок і меж, що дозволяє підвищити швидкість пошуку оптимального розв'язку.

5. Чинна нормативна документація залізниць не встановлює жорстких критеріїв щодо відключення уповільнювачів для ремонту через недостатню гальмову потужність, а також науково обґрунтованих методів експлуатації сортувальних гірок у таких умовах. У результаті на сортувальних гірках підвищується ймовірність порушення вимог ПТЕ і виникнення транспортних подій. Для забезпечення сортувального процесу в умовах втрати гальмової потужності уповільнювачами можуть застосовуватися заходи, які базуються на зниженні швидкості розпуску, його перериванні, використанні додаткового башмачного гальмування, більш частого осаджування й підтягування вагонів у процесі підготовки колій до розпуску. У роботі наведено методику, що дозволяє встановити граничні значення зусиль натискання шин уповільнювачів на колесо, при яких необхідно виконувати перехід у різні захищені стани сортувального процесу.

6. Методи визначення переробної спроможності сортувальних гірок, що покладені в основу чинних 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 безпечних нероботоспроможних станів у роботоспроможний стан. У випадку якщо гальмової потужності уповільнювачів спускної частини гірки недостатньо для зупинки відчепів, під час розпуску повинні передбачатися перерви для звільнення попередніми відчепами маршрутів скочування. З використанням методів теорії ймовірностей визначено 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 відчепів, необхідно використовувати додаткове башмачне гальмування. У роботі розроблено методи, які на основі імітаційного моделювання сортувального процесу дозволяють встановлювати потрібну величину збільшення тривалості розпуску, що забезпечує безпеку руху при заданій кількості регулювальників швидкості руху вагонів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**Основні праці:**

1. Гревцов С. В. Дослідження умов розділення відцепів на немеханізованих гальмових позиціях // Транспортні системи і технології перевезень. 2016. № 11. С. 26–32. doi: 10.15802/tstt2016/7682
2. Гревцов С. В. Дослідження ризиків, пов'язаних з розформуванням составів поїздів на сортувальних гірках // Транспортні системи і технології перевезень. 2016. № 12. С. 10–15. doi: 10.15802/tstt2016/85879.
3. 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 // Наука та прогрес транспорту. 2016. № 3 (63). С. 28–40. doi: 10.15802/stp2016/74710.
4. Козаченко Д. М., Гревцов С. В., Болвановська Т. В. Дослідження впливу технічного стану гальмових уповільнювачів на переробну спроможність сортувальних гірок // Наука та прогрес транспорту. 2016. № 4 (64). С. 37–46. doi: 10.15802/stp2016/77878.
5. Козаченко Д. Н., Гревцов С. В., Болвановская Т. В. Управление роспуском составов на сортировочных горках с немеханизированными парковыми тормозными позициями // Вісник нац. техн. ун-ту «ХПІ». Сер. : Механіко-технологічні системи та комплекси : зб. наук. пр. Харків, 2017. № 19 (1241). С. 72–80.
6. Козаченко Д. Н., Бобровский В. И., Гревцов С. В. Оптимизация распределения сортировочных путей между регулировщиками скорости вагонов // Транспортні системи і технології перевезень. 2017. Вип. 13. С. 26–36. doi: 10.15802/tstt2017/110766.

Праці апробаційного характеру:

7. Козаченко Д. Н., Гревцов С. В., Болвановская Т. В. Оптимизация роспуска составов на сортировочных горках с немеханизированными тормозными позициями // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези доп. 77-ї міжнар. науково-практ. конф. (Дніпро, ДНУЗТ, 2017 р.). Дніпро: ДНУЗТ, 2017. С. 155–157.
8. Козаченко Д. Н., Гревцов С. В. Обеспечение безопасности сортировочного процесса в условиях потери вагонными замедлителями тормозной мощности // Збірник наукових праць Українського держ. ун-ту залізничного транспорту. 2016. Вип. 160 (додаток). С. 122–123
9. Козаченко Д. М., Гревцов С. В., Болвановська Т. В. Вплив технічного стану гальмових уповільнювачів на переробну спроможність сортувальних гірок // Збірник наукових праць Українського держ. ун-ту залізничного транспорту. 2017. Вип. 169 (додаток). С. 149–150
10. Козаченко Д. М., Гревцов С. В. Метод пошуку оптимального розподілу сортувальних колій між регулювальниками швидкості вагонів // Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті: тези

доп. XI науково-практ. конф. (Дніпро, 13–14 грудня 2017 р.). Дніпро: ДНУЗТ, 2017. С. 36, 37.

АНОТАЦІЯ

Гревцов С. В. Підвищення ефективності процесу розформування составів на сортувальних гірках з немеханізованими парковими гальмовими позиціями. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація і ремонт засобів транспорту, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2018.

Дисертація присвячена проблемі управління розформуванням составів на сортувальних гірках, де використовується башмачне регулювання швидкості скочування відчепів. На залізничному транспорті України на 87 % сортувальних гірок застосовують башмачне гальмування для регулювання швидкості скочування відчепів. Окрім того, у зв'язку зі значним зносом гальмових уповільнювачів, башмачне гальмування інтенсивно використовується і на гірках, де механізовані всі гальмові позиції.

З використанням методів математичної статистики та кореляційного аналізу, методів управління ризиками виконано оцінку показників безпеки процесу розформування составів поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями. Імітаційне моделювання, числові методи розв'язання диференціальних рівнянь, методи математичного програмування застосовувалися для розробки методів вибору режимів розформування составів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями та для розробки вимог до організації сортувального процесу в умовах зменшення гальмової потужності уповільнювачів. Теорія ймовірностей, теорія маневрової роботи, імітаційне моделювання, математична статистика – для удосконалення методів оцінки переробної спроможності сортувальних гірок.

Отримані в дисертаційній роботі результати вирішують наукове завдання підвищення ефективності розформування-формування составів вантажних поїздів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями за рахунок оптимізації управління швидкістю скочування відчепів і можуть бути використані для складання технологічних процесів роботи станцій, планування штату регулювальників швидкості вагонів, розробки рекомендацій гірковим операторам, черговим по сортувальних гірках та маневровим диспетчерам.

Ключові слова: залізничний транспорт, сортувальна станція, розформування поїздів, сортувальна гірка, оптимізація, моделювання.

АННОТАЦИЯ

Гревцов С. В. Повышение эффективности процесса расформирования составов на сортировочных горках с немеханизированными парковыми тормозными позициями.– Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днипро, 2018.

Диссертация посвящена проблеме управления расформированием составов на сортировочных горках, на которых используется башмачное регулирование скорости скатывания отцепов. На железнодорожном транспорте Украины на 87 % сортировочных горок применяют башмачное торможение для регулирования скорости скатывания отцепов. Кроме того, в связи со значительным износом тормозных замедлителей, башмачное торможение интенсивно используется и на горках, где механизированы все тормозные позиции.

С использованием методов математической статистики и корреляционного анализа, методов управления рисками выполнена оценка показателей безопасности процесса расформирования составов на сортировочных горках с немеханизированными тормозными позициями. Разработаны методы оценки времени занятия регулировщиков скорости вагонов в процессе торможения отцепов на сортировочных путях и усовершенствованы требования по взаимодействию процессов торможения отцепов на спускной части горки с процессами регулирования их скорости башмачными тормозными позициями на сортировочных путях. Установлено, что башмачные тормозные позиции необходимо рассматривать как дополнительные разделительные элементы поскольку на них нужно обеспечивать достаточные интервалы времени для перехода регулировщиков скорости вагонов между путями. Это обстоятельство приводит к возникновению дополнительных ограничений по скорости выхода отцепов из тормозных позиций спускной части горки и вызывает сокращение области допустимых режимов торможения.

Имитационное моделирование, численные методы решения дифференциальных уравнений, методы математического программирования использовались для разработки методов выбора режимов расформирования составов на сортировочных горках с немеханизированными тормозными позициями. Задача решалась на трех уровнях. На первом уровне решена задача оптимизации управления тормозными позициями спускной части сортировочной горки с целью обеспечения допустимых интервалов на парковых башмачных тормозных позициях при фиксированной скорости роспуска и фиксированном распределении сортировочных путей между регулировщиками. На втором уровне решена задача разделения состава на группы вагонов и выбора скорости роспуска этих групп для поиска минимального времени роспуска составов при фиксированном распределении сортировочных путей между регулировщиками скорости вагонов. На третьем уровне

решена задача поиска оптимального распределения сортировочных путей между регулировщиками скорости вагонов для обеспечения минимальной продолжительности роспуска при полном соблюдении требований безопасности сортировочного процесса.

Разработаны требования к организации сортировочного процесса в условиях уменьшения тормозной мощности замедлителей. Установлены области применения таких мер, как снижение скорости роспуска, перерывы в роспуске, дополнительное башмачное торможение, закрытие сортировочных путей для роспуска в условиях эксплуатации замедлителей с параметрическими отказами. Теория вероятностей, теория маневровой работы, имитационное моделирование, математическая статистика использованы для совершенствования методов оценки перерабатывающей способности сортировочных горок.

Полученные в диссертационной работе результаты решают научную задачу повышения эффективности расформирования-формирования составов грузовых поездов на сортировочных горках с немеханизированными тормозными позициями за счет оптимизации управления скоростью скатывания отцепов и могут быть использованы при составлении технологических процессов работы станций, планировании штата регулировщиков скорости вагонов, разработке рекомендаций горочным операторам, дежурным по сортировочным горкам и маневровым диспетчерам.

Результаты работы использованы для усовершенствования работы службы перевозок Регионального филиала «Львовская железная дорога» ОАО «Укрзалізниця», в экспертной практике Львовского научно-исследовательского института судебных экспертиз, а также в учебном процессе в ходе подготовки бакалавров и магистров по специальности 275 «Транспортные технологии».

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, сортировочная станция, расформирование поездов, сортировочная горка, оптимизация, моделирование.

ANNOTATION

Grevtsov S. V. Improving the efficiency of the trains breaking-up process on-sorting humps with non-mechanized target retarding positions. – Manuscript.

The thesis for the degree of Candidate of Science, specialty 05.22.20 –Operation and Repair of Railway Transport, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, 2018.

The dissertation is devoted to the problem of control of train breaking-up at the gravity humps where the brake shoe control of the rolling speed of cuts is used. At the railway transport of Ukraine, 87% of gravity humps use braking shoes to control the speed of cut rolling. In addition, due to the considerable wear of brake retarders, the brake shoes are also intensively used at the gravity humps, where all retarder positions are mechanized.

Using the methods of mathematical statistics and correlation analysis, and the methods of risk management, the safety indicators of train breaking-up at the gravity

humps with non-mechanized retarder positions were evaluated. Simulation modeling, numerical methods for solving differential equations, and the methods of mathematical programming were used to develop the methods to select the modes of train breaking-up at the gravity humps with non-mechanized retarders positions. They also were used to develop the requirements for the organization of sorting process under conditions of reducing the braking power of retarders. The theory of probabilities, the theory of shunting operation, simulation modeling, and mathematical statistics were used to improve the methods for evaluating the estimated capacity of gravity humps.

The results obtained in the thesis research solve the scientific task of increasing the efficiency of breaking- and making-up of freight trains at the gravity humps with non-mechanized retarder positions by optimizing the speed control of cuts rolling. They can be used when drawing up the technological processes of the stations operation, when planning the staff of car speed controllers, developing recommendations for hump operators, hump duty officers, and shunting dispatchers.

Keywords: railway, marshalling yard, breaking-up of train, sorting hump, optimization, simulation.

Наукове видання

ГРЕВЦОВ СЕРГІЙ ВЕНІАМІНОВИЧ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ РОЗФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ
НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ З НЕМЕХАНІЗОВАНИМИ ПАРКОВИМИ
ГАЛЬМОВИМИ ПОЗИЦІЯМИ

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку 14.11..2018 р.

Формат 60x48 1/16. Ум. др. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,0.

Тираж 100 пр. Зам. № 4

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності ДК № 1315 від 31.03.03

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010