

**ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Огар Олександр Миколайович

УДК 656.212.5

**Підвищення ресурсозбереження та ефективності функціонування  
сортувальних гірок при оптимізації поздовжнього профілю**

05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2002

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Харківській державній академії залізничного транспорту на кафедрі “Залізничні станції, вузли та організація митного контролю” Міністерства транспорту України

**Науковий керівник** – кандидат технічних наук, доцент

Берестов Ігор В'ячеславович, Харківська державна академія залізничного транспорту, кафедра “Залізничні станції, вузли та організація митного контролю”, завідувач кафедрою

**Офіційні опоненти** – доктор технічних наук, доцент

Жуковицький Ігор Володимирович, Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту, кафедра “Електронно-обчислювальні машини”, завідувач кафедрою

кандидат технічних наук, доцент

Шиш Володимир Олексійович, Управління науково-технічного забезпечення розвитку залізничного транспорту Укрзалізниці, м. Київ, ведучий фахівець

Провідна установа: Східноукраїнський національний університет,  
кафедра транспортних технологій, Міністерство освіти і науки  
України, м. Луганськ

Захист відбудеться «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2002 р. о \_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 Харківської державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківської державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7

Автореферат розісланий «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2002 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Запара В.М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Вступ.** Основною задачею при розробці проектної документації сортувального пристрою є вибір оптимального варіанта його конструкції і технічного оснащення. У сучасних умовах функціонування залізничного транспорту України особливе місце в системі критеріїв оцінки його роботи займають економічність і якість сортувального процесу, вагомий вплив на який робить один з найважливіших елементів конструкції сортувальної гірки - поздовжній профіль спускної частини. Зміна пріоритетів в області енергетики, дефіцит енергоносіїв, перехід на світові ціни, що обумовив збільшення витрат на амортизацію і запасні частини гіркових пристроїв, невеликі обсяги вагопотоків, що переробляються, низький рівень автоматизації, знос основних фондів і ряд інших факторів стали причиною значного збільшення собівартості переробки одного вагона і вказують на необхідність наукового обґрунтування застосування тих чи інших варіантів поздовжнього профілю.

До теперішнього моменту задача оптимізації поздовжнього профілю з урахуванням відзначених факторів не розглядалася.

**Актуальність теми.** Основною метою виконаних досліджень вченими-експлуатаційниками в частині удосконалювання методики розрахунку і проектування поздовжнього профілю спускної частини було підвищення ефективності їхнього функціонування за рахунок прискорення сортувального процесу і зниження числа браків у роботі. При цьому була приділена недостатня увага ув'язуванню розрахунку профілю гірки з застосовуваними гальмовими засобами, режимами регулювання швидкості скочування відчепів і ресурсозбереженням.

Таким чином, виникає потреба в перегляді критерію оптимізації поздовжнього профілю й удосконалюванні методики його розрахунку, що кваліфікує тему дисертації як актуальну і спрямовану на рішення важливої наукової задачі.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалася відповідно до Концепції і Програми реструктуризації залізничного транспорту України, прийняті державною адміністрацією залізничного транспорту України в 1998 році, а також з науково-дослідною темою «Теоретичні основи та розробка алгоритмів для систем автоматизованого управління розформуванням і формуванням составів на сортувальних станціях» (УДК 656.25-52: 656.212.5, державна реєстрація №0196U001422), що виконувалася на кафедрі «Станції і вузли, вантажна і комерційна робота» Харківської державної академії залізничного транспорту в 1995-1997 роках.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності функціонування сортувальних гірок за рахунок застосування раціональних конструкцій поздовжнього профілю на основі ресурсозберігаючого підходу до цих транспортних споруд. Поставлена мета визначила наступні основні задачі досліджень:

- аналіз існуючих конструкцій і методик оптимізації поздовжнього профілю,

впливу його конструктивних параметрів і технічного оснащення на ефективність функціонування сортувальних гірок;

- вибір і обґрунтування критерію оптимізації поздовжнього профілю сортувальних гірок, спрямовані на рішення проблеми ресурсозбереження;
- дослідження залежності критерію оптимізації від конструктивних параметрів поздовжнього профілю;
- обґрунтування вимог до поздовжнього профілю сортувальних гірок;
- розробка методики оптимізації значень параметрів поздовжнього профілю й імітаційної моделі для визначення чисельних значень критерію оптимізації;
- розробка методик критеріальної і економічної оцінок варіантів поздовжнього профілю;
- оцінка ефективності функціонування сортувальних гірок при застосуванні раціональних конструкцій поздовжнього профілю.

*Об'єкт дослідження.* Сортувальна гірка.

*Предмет дослідження.* Поздовжній профіль спускної частини сортувальної гірки.

*Методами дослідження є:*

- при розробці методики визначення оптимальних значень параметрів поздовжнього профілю сортувальних гірок використовувались математичний апарат нелінійного програмування і чисельні методи;
- при розробці імітаційної моделі скочування розрахункових бігунів для визначення чисельних значень критерію оптимізації використовувались методи імітаційного моделювання з використанням ПЕОМ;
- при розробці методик критеріальної і економічної оцінок варіантів поздовжнього профілю використовувались теорія подоби та економічний аналіз.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Уперше запропонований новий критерій оптимізації поздовжнього профілю – потрібна потужність паркової гальмівної позиції, що є одним з найбільш значимих факторів, що впливають на ресурсозбереження сортувальних гірок.

Вперше отримані залежності критерію оптимізації від уклонів другої гальмівної позиції і стрілочної зони та висоти гірки при різних варіантах поздовжнього профілю ділянки від вершини сортувального пристрою до кінця проміжної зони.

Уточнені і запропоновані нові вимоги до уклонів швидкісних елементів, гальмівних позицій спускної частини і стрілочної зони.

Розроблено новий підхід до визначення середньої швидкості скочування дуже доброго бігуна для конструктивних розрахунків сортувальних гірок, заснований на застосуванні поправочного коефіцієнту.

Уперше визначені оптимальні значення параметрів поздовжнього профілю на основі ресурсозберігаючого підходу з використанням моделі нелінійного програмування.

Уперше проведена критеріальна оцінка варіантів поздовжнього профілю за основними показниками, що характеризують застосовуваний профіль і профіль, що рекомендується: обсягом і вартістю виробництва земляних робіт, питомою витратою електроенергії, енергоємністю засобів регулювання швидкості скочування відчепів і ін..

З нових позицій визначена ефективність функціонування сортувальних гірок при різних варіантах поздовжнього профілю: з урахуванням витрат на електроенергію для відшкодування втрат стиснутого повітря з гальмових циліндрів і пневматичних вузлів уповільнювачів і витрат на відшкодування втрат від ушкодження вагонів і вантажів при наявності недостатньої потужності паркової гальмівної позиції.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.** Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій обумовлена коректністю постановки і рішення задач, адекватністю імітаційної моделі реальним об'єктам, коректністю використаного математичного апарата. Підтвердженням достовірності є задовільний збіг результатів експериментів на імітаційній моделі з результатами обробки даних натурних спостережень, виконаних на сортувальних комплексах станції Основа Південної залізниці (не менше 95%).

**Практичне значення отриманих результатів.** Розроблена методика оптимізації поздовжнього профілю дозволяє визначити раціональні параметри конструкції сортувальних гірок, що забезпечують ресурсозбереження, і рекомендувати ефективний варіант їхньої механізації.

Розроблена імітаційна модель скочування розрахункових бігунів дає можливість не тільки визначати оптимальні значення конструктивних параметрів поздовжнього профілю сортувальних гірок, а і здійснювати перевірку потужності гальмових засобів і якості запроєктованого профілю реальних об'єктів.

Запропонована методика критеріальної оцінки варіантів поздовжнього профілю дозволяє одержати порівняльну оцінку основних показників, що характеризують профіль.

Запропоновані конструктивні рішення спрямовані на підвищення ефективності функціонування сортувальних гірок і рекомендовані для використання при коректуванні поздовжнього профілю спускної частини сортувальних гірок станцій Ясинувата Донецької залізниці, Дарниця Південно-Західної залізниці та Основа Південної залізниці і рішенні питань технічного переоснащення гальмівних позицій.

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, наведеними в додатку до роботи.

**Особистий внесок здобувача.** Усі положення і результати, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить: вибір і обґрунтування апроксимуючої поздовжньої профілю кривої й оцінка погрішності його опису [1,2]; вибір основних показників, що характеризують поздовжній профіль, для критеріальної оцінки їхніх варіантів,

обґрунтування критеріїв подоби і визначення масштабів моделювання [3]. У роботі [4] автору належить постановка задачі і методика, що забезпечує її рішення.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертації повідомлені, обговорені і схвалені на: міжнародній науково-практичній конференції «Ресурсо- і енергозберігаючі технології на транспорті і будівельному комплексі» (Гомель, 1995 р.); II міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні проблеми розвитку залізничного транспорту» (Москва, МІІТ, 1996 р.); науково-технічних конференціях кафедр ХарДАЗТ і працівників підприємств залізничного транспорту в 1995-2000 роках.

**Публікації.** По темі дисертації опубліковано 4 наукові праці у виданнях, що затверджені ВАК України.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку використаних джерел і 5 додатків. Повний обсяг роботи складає 194 сторінки, з них обсяг основного тексту 103 сторінки; додатків, переліку використаних джерел, рисунків і таблиць 91 сторінка. Робота ілюстрована 23 рисунками, наведено 28 таблиць. Перелік використаних джерел складається з 118 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність проблеми, сформульовані мета і задачі досліджень, відображена наукова новизна, практичне значення отриманих результатів і особистий внесок, наведена інформація про апробації і публікації результатів дослідження.

У **першому розділі** проведений аналіз існуючих конструкцій і методик оптимізації поздовжнього профілю сортувальних гірок і значень його окремих елементів.

У світовій практиці широке застосування знайшли гірки американського і німецького типів. Аналіз конструкцій поздовжнього профілю спускної частини зазначених гірок, зроблений на початку 40-х років, показав, що в зв'язку з наявністю в країнах колишнього Союзу інших умов експлуатації, вагонного парку і закономірностей змін величини опору руху вагона, вищезгадані конструкції поздовжнього профілю не можуть бути прийняті за основу при проектуванні вітчизняних сортувальних гірок. Проте, ряд вимог, пропонованих до крутості і довжини її елементів профілю, був запозичений із закордонного досвіду. Інші вимоги визначилися в результаті аналізу особливостей вітчизняних систем комплексної автоматизації процесу розформування поїздів на гірках і засобів регулювання швидкості скочування відчепів, кліматичних умов, вагонопотоку, що переробляється, розмірів потрібної зміни швидкостей руху відчепів на елементах профілю гірки, їхнього розташування і технологічного призначення.

Досвід експлуатації вітчизняних сортувальних гірок підтвердив ефективність застосування циклоїдальної форми поздовжнього профілю з погляду забезпечення високої перероблювальної спроможності при раціональному режимі регулювання

швидкості скочування відчепів.

Питаннями удосконалювання значень конструктивних параметрів сортувальних гірок займалися такі вчені як Є.О. Гибшман, І.І. Страковський, В.Є. Павлов, Є.В. Нагорний, М.І. Федотов, Б.О. Кривошей, С.О. Бессоненко, М.П. Божко, К.С. Ахвердієв, В.П. Жуков, В.І. Смирнов, М.М. Дашков, І.Б. Феоктистов, В.В. Стрельникова, Ю.Т. Гуричев, А.І. Гуда, С.Н. Дегтярьов, Н.Н. Новгородов, А.С. Писанко та ін.

Запропоновані перерахованими вище авторами методики оптимізації поздовжнього профілю сортувальних гірок і значень його окремих елементів були спрямовані на підвищення їхньої перероблювальної спроможності, що обумовлювалося інтенсивним зростанням розмірів сортувальної роботи. До основних недоліків окремих методик варто віднести відсутність достатнього обґрунтування мінімальних і максимальних значень уклонів елементів профілю, прийнятих допущень при урахуванні сил опору руху і режимів регулювання швидкості скочування відчепів чи, узагалі, їх відсутність (визначення оптимального профілю тільки при вільному скочуванні розрахункових бігунів). Загальним недоліком зазначених методик була відсутність енерго- і ресурсозберігаючого підходу при оптимізації поздовжнього профілю. Це питання в умовах переходу України до ринкової економіки здобуває особливу актуальність і вказує на гостру необхідність у застосуванні економічно доцільних варіантів поздовжнього профілю.

**В другому розділі** теоретично обґрунтована методика розрахунку й оптимізації значень конструктивних параметрів поздовжнього профілю.

Для рішення проблеми ресурсозбереження було запропоновано прийняти потрібну потужність паркової гальмівної позиції (ПГП), що є одним з найбільш значимих ресурсів сортувальної гірки, як критерій оптимізації поздовжнього профілю спускної частини.

Відповідно до діючих Правил і норм проектування сортувальних пристроїв (далі Правилам) потрібна потужність ПГП гірок підвищеної, великої і середньої потужності, а також гірок малої потужності з двома гальмівними позиціями на спускній частині визначається в ході оптимізаційних розрахунків за методикою, розробленою в ДПТі.

Результати імітаційного моделювання скочування розрахункових бігунів показали, що в сприятливих метеорологічних умовах при розрахованому традиційним методом поздовжньому профілю:

- 1) необхідна більша потужність ПГП, що не враховано в даній методиці;
- 2) режим регулювання, що рекомендується, швидкості скочування дуже доброго бігуна (ДДБ) не завжди є оптимальним.

Для зменшення потрібної потужності ПГП запропонований наступний режим регулювання швидкості скочування ДДБ:

- на першій гальмівній позиції (І ГП) за умовою забезпечення максимально припустимої швидкості входу на другу при наявності достатніх інтервалів на розділових елементах, розташованих на дільниці від кінця І ГП до початку стрілочної зони (СЗ);

- на другій гальмівній позиції (II ГП) – за умовою забезпечення максимального інтервалу на останній розділовій стрілці при скочуванні дуже поганого бігуна (ДПБ) вслід ДДБ.

Виявлено залежність інтервалу на вершині гірки (ВГ) від розподілу необхідної величини гальмування між уповільнювачами кожної з гальмівних позицій. Установлено, що найбільш повне використання потужності останнього по ходу уповільнювача гальмівної позиції спускної частини дозволить створити додатковий резерв інтервалу на ВГ, який можна використовувати для підвищення ступеня гальмування ДДБ на I(II) ГП і, відповідно, зменшення потрібної потужності ПГП.

З метою дослідження впливу поздовжнього профілю на критерій оптимізації проведено імітаційне моделювання скочування бігунів у розрахунковому сполученні ДПБ-ДДБ-ДПБ, у результаті чого встановлено:

1) вибір обрису поздовжнього профілю дільниці від ВГ до II ГП (ВГ-II ГП) залежить від висоти гірки й уклонів II ГП, СЗ, ПГП і сортувальних колій до розрахункової точки (РТ);

2) мінімальна величина гальмування ДДБ на ПГП забезпечується або при положистому профілі дільниці ВГ-II ГП ( $I_1 = I_1^{\min}, I_2 = I_2^{\min}, \text{де } I_1 \geq I_2 \geq I_3$ ), який у деяких випадках здобуває східчастий характер, тобто  $I_2 < I_3$  (назвемо такий поздовжній профіль положисто-східчастим), або при швидкісному ( $I_1 = I_1^{\max}, I_2 = I_2^{\max}, \text{де } I_2 > I_1 - 25, I_2 - I_3 \leq 25$ ).

Ця особливість характерна і для гірок з розташуванням I ГП до 1-ої розділової стрілки (1-й тип) і для гірок з розташуванням I ГП після 1-ої розділової стрілки (2-й тип).

Таким чином, у якості варіантних немає необхідності розглядати східчастий профіль дільниці від ВГ до II ГП ( $I_1 = I_1^{\min}, I_2 = I_2^{\max}, \text{де } I_1 < I_2, I_2 - I_3 \leq 25$ ) і профіль, який рекомендується Правилами ( $I_1 = I_1^{\max}, I_2 = I_1 - 25, \text{де } I_2 \geq I_3$ ), що, також як і положистий профіль, при визначеній висоті зазначеної дільниці може мати східчастий вид ( $I_2 < I_3$ );

3) вибір оптимальних значень уклонів II ГП і СЗ необхідно здійснювати в залежності від співвідношення швидкостей входу ДДБ на II ГП ( $V_{\text{вх ДДБ}}^{\text{II}}$ ) при вільному скочуванні і максимально припустимої на зазначену позицію ( $V_{\text{max}}$ ) за результатами імітаційного моделювання скочування розрахункових бігунів виходячи з умов, наведених у табл. 1.

Таблиця 1

Умови вибору оптимальних значень уклонів II ГП і СЗ

Швидкість входу ДДБ на II ГП, м/с	Уклон, ‰	
	II ГП	СЗ
більше $V_{\text{max}}$	приймати найбільшим	визначати у ході моделювання
менше $V_{\text{max}}$	визначати у ході моделювання	приймати найменшим



Задача визначення оптимальних значень уклонів елементів поздовжнього профілю при відомих їхніх довжинах і положенні вершини гірки є задачею нелінійного програмування. Цільова функція має вид

$$h_{\text{ППП}} = B \cdot (H - T - (\sum_{j=1}^{Z_1} P_j \cdot (C_j + R_j \cdot I_1) + \sum_{j=Z_1+1}^{Z_2} P_j \cdot (C_j + R_j \cdot I_2) + \dots + \sum_{j=Z_{X-2}+1}^{Z_{X-1}} P_j \cdot (C_j + R_j \cdot I_{X-1}) + \sum_{j=Z_{X-1}+1}^{Z_X} P_j \cdot (C_j + R_j \cdot I_X))) + F \rightarrow h_{\text{ППП}}^{\min}, \quad (1)$$

де  $B = 1 - 1,593 \cdot \alpha_{\text{ППП}} \cdot 10^{-3}$ ,

де  $\alpha_{\text{ППП}}$  – кут повороту на ППП (при розташуванні ППП у кривій);

$$H = \frac{V_0^2}{2g_{\text{ДДБ}}} + H_{\Gamma} - (I_{\text{ППП}} \cdot l_{\text{ППП}} + I_{\text{РТ}} \cdot l_{\text{РТ}}) \cdot 10^{-3} - l^{\text{ВГ-ППП}} \cdot \omega_0^{\text{ДДБ}} \cdot 10^{-3},$$

де  $V_0$  - початкова швидкість розпуску, м/с;

$g_{\text{ДДБ}}$  - прискорення вільного падіння з урахуванням моменту інерції мас, що обертаються, ДДБ, м/с<sup>2</sup>;

$H_{\Gamma}$  - висота гірки, м;

$l_{\text{ППП}}, I_{\text{ППП}}$  - відповідно довжина, м, і уклон ППП, ‰;

$l_{\text{РТ}}, I_{\text{РТ}}$  - відповідно уклон, ‰, і довжина, м, ділянки від кінця ППП до розрахункової точки;

$l^{\text{ВГ-ППП}}$  - довжина ділянки від ВГ до початку ППП, м;

$\omega_0^{\text{ДДБ}}$  - основний питомий опір ДДБ, Н/кН;

$$T = h_{\Gamma},$$

де  $h_{\Gamma}$  - потрібна величина гальмування ДДБ на гальмівних позиціях спускної частини, кДж/кН;

$Z_1, Z_2, \dots, Z_X$  - відповідно номер останнього технологічного елемента першого елемента профілю, другого, ... і X-го;

$$P_j = S_{\text{СК}_j} \cdot K_j^2,$$

де  $S_{\text{СК}_j} = (0,56 \cdot n_{\text{СТР}_j} + 0,23 \cdot \alpha_j) \cdot 10^{-3}$ ,

де  $n_{\text{СТР}_j}, \alpha_j$  - відповідно число стрілок і кут повороту на j-ому технологічному елементі;

$K_j$  - поправочний коефіцієнт, використовуваний для визначення новим способом середньої швидкості руху ДДБ на елементах профілю, що зменшує

погрішність її обчислення в порівнянні з традиційним способом:

$$K_j = -0.0576191 \cdot e^{-0,5710201V_{j-1}} + 0.9966873,$$

де  $V_{j-1}$  - швидкість ДДБ на початку  $j$ -го технологічного елемента, м/с.

$V_{j-1} = f(V_0, i_1, \dots, i_{j-1})$ , де  $i_1, \dots, i_{j-1}$  - уклони технологічних елементів, ‰;

$$C_j = V_{j-1}^2 - g'_{\text{ДДБ}} \cdot l_j \cdot \omega_O^{\text{ДДБ}} \cdot 10^{-3},$$

$$R_j = g'_{\text{ДДБ}} \cdot l_j \cdot 10^{-3},$$

де  $l_j$  - довжина  $j$ -го технологічного елемента, м;

$I_1, \dots, I_X$  - уклони елементів поздовжнього профілю, ‰;

$$F = l_{\text{ПГП}} \cdot (I_{\text{ПГП}} - \omega_O^{\text{ДДБ}}) \cdot 10^{-3} - 0,102.$$

Зважаючи на те, що мінімальна величина гальмування ДДБ на ПГП при фіксованих значеннях уклонів П ГП і СЗ разом з частиною сортувальних колій до ПГП (у (1) відповідно  $I_{X-1}$  і  $I_X$ ) забезпечується або при положистому профілі ділянки ВГ-П ГП ( $I_1^n, I_2^n, \dots, I_{X-2}^n$ ) або при швидкісному ( $I_1^u, I_2^u, \dots, I_{X-2}^u$ ), мінімізацію цільової функції (1) необхідно здійснювати при лінійних обмеженнях-рівностях

$$\left[ \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} I_1 = I_1^n \\ I_2 = I_2^n \\ \dots \\ I_{X-2} = I_{X-2}^n \end{array} \right. \\ \left\{ \begin{array}{l} I_1 = I_1^u \\ I_2 = I_2^u \\ \dots \\ I_{X-2} = I_{X-2}^u ; \end{array} \right. \end{array} \right.$$

$$H_{Г \text{ ДДБ}}^{\text{ПГП}} = 0; V_{\text{ВИХ ДДБ}}^{\text{ПГП}} = 1,4,$$

де  $H_{Г \text{ ДДБ}}^{\text{ПГП}}$  - потрібна величина гальмування ДДБ на гальмівній позиції, кДж/кН;

$V_{\text{ВИХ ДДБ}}^{\text{ПГП}}$  - швидкість виходу ДДБ з ПГП, м/с,

лінійних обмеженнях-нерівностях



2) розрахунок витрачених енергетичних висот від середовища і вітру здійснюється з урахуванням наявності кривих дільниць колії;

3) на підставі отриманих результатів розрахунків тривалості скочування бігунів визначаються інтервали на розділових елементах у сполученнях ДПБ – ДДБ і ДДБ – ДПБ.

Розроблене програмне забезпечення дозволило одержати оптимальні значення уклонів елементів поздовжнього профілю гірок великої, середньої і малої потужності при застосуванні різних засобів регулювання швидкості скочування відчепів на спускній частині.

Отримані результати розрахунків свідчать про те, що:

1) варіанти поздовжнього профілю, що рекомендуються, спускної частини сортувальних гірок забезпечують:

- ресурсозбереження - зменшення потрібної потужності ПГП (при використанні уповільнювачів ВНУ-2 їхнє число зменшується на 1-3);

- мінімальну потрібну потужність І ГП (при будь-яких умовах скочування не перевищуючу потужність одного вагонного уповільнювача) для досягнення припустимої швидкості входу ДДБ на ІІ ГП;

- енергозбереження - відсутність необхідності гальмування ДПБ для одержання достатніх інтервалів на розділових елементах;

- зменшення різниці енергетичних висот, що погашаються, на І ГП при застосуванні засобів регулювання швидкості скочування відчепів з різною припустимою швидкістю входу;

2) гірки 2-го типу є більш кращими стосовно гірок 1-го типу з погляду необхідної потужності ПГП;

3) застосування більш потужних уповільнювачів на спускній частині гірок (ВУПГ-5, НК-114) дозволить зменшити необхідну потужність ПГП за рахунок появи можливості переносу частки її роботи на І ГП і ІІ ГП;

4) застосування на спускній частині гірок малої потужності уповільнювачів ВНУ-2 дозволить зменшити тільки інтервал на останній стрілці в сполученні ДДБ-ДПБ. З метою забезпечення ресурсозбереження - скорочення необхідного числа зазначених уповільнювачів на ПГП - необхідно збільшити потужність І ГП за рахунок укладання на ній уповільнювачів типу ВУПГ-3, КВ-3, НК-114 чи трьох ланок КНП.

**У четвертому розділі** розроблені методики критеріальної і економічної оцінок варіантів поздовжнього профілю і визначена ефективність застосування варіантів профілю, що рекомендуються, реальних об'єктів.

Найбільше поширення одержала оцінка ефективності по приведених питомих витратах, що, як відомо, складаються з річного ефекту від використовуваних капітальних вкладень основних фондів і експлуатаційних витрат.

Аналізуючи складові цих показників і їхньої структури, можна зробити висновок про те, що вони не дають можливості вказати на фактор, який робить вирішальний вплив на ефективність.

Відомі методики оцінки впливу складових капітальних вкладень і

експлуатаційних витрат на кінцевий результат дозволяють аналізувати вплив кожного фактора лише на основі вартісної оцінки їхнього впливу.

У той же час, показники, застосовувані для оцінки технічної досконалості (металоємність, питома потужність і т.д.), також не є досить об'єктивними, тому що дають оцінку тільки окремим якостям технічних засобів. Для одержання найбільш повної оцінки ефективності можна об'єднати зазначені вище методи на основі узагальненого критеріального підходу теорії подоби, відповідно до якого складова вартості переробки одного вагона є функцією ряду кількісних і вартісних параметрів, а також параметрів, що залежать від обрису поздовжнього профілю сортувальної гірки

$$C_{II} = f(C_3, V, T_p, C_{zp}, E, R_e, M_{zp}, M_e, O, C_e, C_B, N),$$

де  $C_{II}$  - складова вартості переробки одного вагона від параметрів кількісних, вартісних і залежних від обрису поздовжнього профілю сортувальної гірки, грн/ваг.;

$C_3$  - вартість виробництва земляних робіт, грн/м<sup>3</sup>;

$V$  - обсяг земляних робіт, м<sup>3</sup>;

$T_p$  - час розпуску, с;

$C_{zp}$  - питома вартість засобів регулювання швидкості скочування відчепів, грн·Н/Дж;

$E$  - енергоємність засобів регулювання швидкості скочування відчепів, Вт·с·Н/Дж;

$R_e$  - питома витрата електроенергії, Вт·с/ваг.;

$M_{zp}$  - питома потужність засобів регулювання швидкості скочування відчепів, Дж/Н·ваг.;

$M_e$  - питома металоємність, кг·Н/Дж;

$O$  - питома трудомісткість обслуговування, чол.-с·Н/Дж;

$C_e$  - вартість 1 Вт·с електроенергії, грн/Вт·с;

$C_B$  - питома вартість вантажної маси, грн/кг;

$N$  - обсяг вагонопотоку, що переробляється, ваг./с.

Функція для критеріальної оцінки варіантів поздовжнього профілю має вид

$$M_{Cn} = M_{C_3} \cdot M_{C_{zp}}^{-1} \cdot M_{C_e}^2 \cdot M_{C_B}^{-1} \cdot M_V \cdot M_{T_p}^{-1} \cdot M_E \cdot M_{R_e} \cdot M_{M_{zp}}^{-2} \cdot \\ \cdot M_{M_e}^{-1} \cdot M_O^{-1} \cdot M_N^{-2}$$

У капітальні включені витрати на засоби регулювання швидкості скочування

відчепів, пристрої автоматизованого керування розформуванням составів, земляні роботи і гіркові локомотиви.

Оскільки розміщення пристроїв автоматизації не накладає додаткових вимог на колійний розвиток і профіль гірок, капітальні витрати в розглянутому варіанті

$$K = n_{сч} e_{сч} + n_{сн} e_{сн} + V_з e_з + M_Г e_Г ,$$

де  $n_{сч}, n_{сн}$  - число засобів регулювання швидкості скочування відчепів відповідно на спускній частині гірки і сортувальних коліях;

$e_{сч}, e_{сн}$  - вартість одного засобу, встановленого відповідно на спускній частині гірки і сортувальних коліях, тис.грн;

$V_з, e_з$  - відповідно обсяг, м<sup>3</sup>, і вартість виробництва земляних робіт, тис.грн;

$M_Г$  - потрібне число гіркових локомотивів;

$e_Г$  - вартість гіркового локомотива, тис.грн.

При порівнянні варіантів конструкції і технічного оснащення сортувальних гірок в експлуатаційні витрати включаються витрати на амортизацію ( $\mathcal{E}_a$ ), матеріали і запасні частини ( $\mathcal{E}_{зч}$ ), технічне обслуговування і ремонт технічних засобів ( $\mathcal{E}_{ГО}$ ), електроенергію, необхідну для регулювання швидкості скочування відчепів ( $\mathcal{E}_{ел}^p$ ), відшкодування втрат від ушкодження вагонів і вантажів ( $\mathcal{E}_{ушк}$ ) і додаткові витрати, зв'язані з простоєм поїздів у парку прийому ( $\Delta \mathcal{E}_{ПП}$ ) у чеканні розформування.

В експлуатаційних витратах не врахована дуже важлива складова – витрати на електроенергію для відшкодування втрат стиснутого повітря з гальмових циліндрів і пневматичних вузлів уповільнювачів ( $\mathcal{E}_{ел}^n$ ).

Крім того, при визначенні  $\mathcal{E}_{ушк}$  пропонується враховувати тільки ті вагони, що ушкоджуються унаслідок відсутності необхідної потужності ПГП. Число таких вагонів за рік

$$N_{ушк} = \frac{N q_о q_{стр} q_{ушк} M_{стр}}{n_в^{відч}} ,$$

де  $N$  - обсяг вагонопотоку, що переробляється, ваг.;

$q_о$  - частка відчепів з добрими ходовими властивостями, що скочуються перед відчепами з поганими ходовими властивостями;

$q_{стр}$  - частка відчепів, що розділяються на останній розділовій стрілці;

$q_{ушк}$  - частка вагонів, що ушкоджуються, з числа тих, що перевищили припустиму швидкість зіткнення;

$M_{спр}$  - число сприятливих для скочування днів у році;

$n_v^{відч}$  - середнє число вагонів у відчепі.

Таким чином, експлуатаційні витрати в розглянутому варіанті

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_a + \mathcal{E}_{зч} + \mathcal{E}_{то} + \mathcal{E}_{ел}^p + \mathcal{E}_{ел}^n + \mathcal{E}_{ушк} + \Delta \mathcal{E}_{тп} ,$$

а приведені річні витрати

$$E_{np} = eK + \mathcal{E} .$$

На підставі розробленої методики економічної оцінки варіантів поздовжнього профілю визначена ефективність застосування варіантів профілю, що рекомендуються, сортувальних гірок станцій Основа, Дарниця і Ясинувата.

У додатках роботи наведені існуючі типи і варіанти поздовжнього профілю сортувальних гірок, формули з розрахунку профілю й окремих його параметрів, результати імітаційного моделювання скочування розрахункових бігунів при різному обрисі поздовжнього профілю спускної частини сортувальних гірок і початку підгіркових колій, алгоритм і програмне забезпечення по визначенню оптимальних значень конструктивних параметрів поздовжнього профілю і документи, що підтверджують упровадження результатів, отриманих у дисертації.

## ВИСНОВКИ

Дисертація містить отримані автором наукові результати, що у сукупності дають можливість зробити висновок про те, що їхнє застосування дозволить вирішити проблему ресурсозбереження і тим самим підвищити ефективність функціонування сортувальних гірок, тобто поставлена мета і задачі вирішені.

На підставі проведених у дисертації досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Проблема оптимізації значень конструктивних параметрів поздовжнього профілю спускної частини сортувальних гірок з погляду ресурсозбереження не вирішена. Застосовувана в даний час методика розрахунку характеризується попереднім вибором значень уклонів ряду елементів профілю, визначенням значень невідомих уклонів і, при необхідності, наступним коректуванням розрахунків. У той же час діючі Правила і норми проектування сортувальних пристроїв не повною мірою враховують вимоги якісного виробництва сортувальної роботи при безумовному забезпеченні безпеки процесу розформування.

Ефективність функціонування сортувальних гірок істотно залежить від конструктивних параметрів поздовжнього профілю, особливо в питаннях енергоспоживання, ресурсозбереження і безпеки гіркового технологічного процесу.

2. Для рішення актуальної проблеми економії енергоспоживання і ресурсозбереження обґрунтований новий критерій оптимізації поздовжнього профілю спускної частини сортувальних гірок - потрібна потужність ПГП - з умови його мінімізації.

3. У результаті досліджень і аналізу впливу конструктивних параметрів поздовжнього профілю на критерій оптимізації встановлено:

- недотримання вимоги безпеки виробництва сортувальної роботи при сприятливих умовах скочування дуже доброго бігуна на II гальмівній позиції і необхідність укладання трьох ланок вагонних уповільнювачів;

- наявність у ряді випадків надлишкового числа вагонних уповільнювачів на парковій гальмівній позиції;

- відсутність достатнього обґрунтування застосування для будь-яких метеорологічних умов обрису поздовжнього профілю, що рекомендується Правилами і нормами проектування сортувальних пристроїв;

- відсутність мінімальних нормативних значень уклонів швидкісних елементів профілю для гіркових горловин.

4. Для підвищення ефективності функціонування сортувальних гірок і забезпечення безпеки роботи гіркових технологічних ліній уточнені й обґрунтовані вимоги до поздовжнього профілю сортувальних гірок України, а саме:

- мінімальні значення уклону швидкісного елемента повинні бути не менше 30 ‰ на гірках з розташуванням I ГП до першої розділової стрілки і не менше 33,3 ‰ на гірках з розташуванням I ГП за першою розділовою стрілкою;

- мінімальне значення уклону I ГП повинно бути не менше 7 ‰;

- крутість II ГП при укладанні трьох уповільнювачів ВУПГ-5 не повинна перевищувати 12,4 ‰, КНП-5 – 22,4 ‰, КВ-3 – 11,8 ‰, НК-114 – 18,7 ‰, при укладанні двох із зазначених уповільнювачів - 7 ‰;

- мінімальне значення уклону стрілочної зони - 0 ‰;

- перевірка достатності потужності паркової гальмівної позиції повинна вироблятися при сприятливих умовах скочування.

5. Для визначення оптимальних значень параметрів поздовжнього профілю розроблена нова методика з використанням моделі нелінійного програмування і запропонованого підходу до розрахунку середньої швидкості скочування дуже доброго бігуна, що дозволяє одержати раціональний профіль для заданої швидкості розпуску, що є однією з відмітних її рис.

За результатами імітаційного моделювання на основі розробленого програмного забезпечення встановлено:

- можливість застосування в якості раціонального східчастого поздовжнього профілю спускної частини сортувальної гірки;

- оптимізація поздовжнього профілю дає економію до 3-х уповільнювачів ВУ-2 у порівнянні з результатами розрахунків потрібної потужності ПГП при профілі, що рекомендується Правилами і нормами проектування сортувальних пристроїв;



- наявність необхідності удосконалювання планів гіркових горловин гірок малої потужності з розташуванням I ГП за першою розділовою стрілкою з метою забезпечення можливості укладання потужних вагонних уповільнювачів;

- у більшості випадків раціональним поздовжнім профілем сортувальних гірок для умов експлуатації залізниць України є профіль, що характеризується положистим профілем дільниці ВГ-II ГП, розташуванням II ГП на максимальному уклоні і стрілочної зони на площадці.

6. Запропонована методика критеріальної оцінки ефективності конструкцій поздовжнього профілю дає можливість поряд з визначенням економічної ефективності одержати порівняльну оцінку показників, що характеризують застосовуваний профіль і профіль, що рекомендується. До основних показників варто віднести:

- обсяг і вартість виробництва земляних робіт;
- питома витрата електроенергії;
- енергоємність засобів регулювання швидкості скочування відчепів.

7. На основі застосування удосконаленої методики визначення ефективності функціонування сортувальних гірок встановлено, що найбільша частка експлуатаційних витрат приходить на незалежні від обсягів вагонопотоку, що переробляється на гірці, показники: амортизацію і запасні частини (не менш 80%). Це вказує на правильність і важливість обраного напрямку оптимізації поздовжнього профілю.

8. Запропоновані конструктивні і технічні рішення використані при розробці робочого проекту коректування поздовжнього профілю спускної частини і технічного переоснащення Східної сортувальної гірки станції Ясинувата Донецької залізниці, сортувальної гірки непарної системи станції Дарниця Південно-Західної залізниці і Південної сортувальної гірки станції Основа Південної залізниці. Очікуваний ефект від упровадження запропонованих заходів відповідно складає 611, 73 і 110 тис. грн у рік.

## **ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ РОБІТ З ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Берестов І.В., Огарь А.Н. О некоторых предложениях по математическому описанию продольного профиля сортировочных горок//Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті: Міжвуз. зб. наук. пр. Вип. 33,- Харків: ХарДАЗТ. – 1998. – С. 34-37.

2. Берестов І.В., Огарь О.М. Математичний опис поздовжнього профілю сортувальних гірок з застосуванням поліномів високого порядку//Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1998.- №3.- С. 89-91.

3. Берестов І.В., Огарь О.М. Критеріальний підхід до оцінки варіантів поздовжнього профілю спускної частини сортувальних гірок//Зб. наук. пр. ХарДАЗТ.- Вип. 44.- 2000. – С. 119-122.

4. Огарь А.Н. Методика оптимизации значений уклонов элементов продольного профиля сортировочных горок// Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001.- №3.- С. 18-22.

## АНОТАЦІЯ

Огар О.М. Підвищення ресурсозбереження та ефективності функціонування сортувальних гірок при оптимізації поздовжнього профілю. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.22.20 – «Експлуатація і ремонт засобів транспорту». – Харківська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2002.

Дисертація присвячена питанням удосконалення конструкції поздовжнього профілю сортувальних гірок на основі ресурсозберігаючого підходу. Обґрунтовано новий критерій оптимізації поздовжнього профілю, спрямований на підвищення ресурсозбереження й ефективності функціонування сортувальних гірок у частині витрати електроенергії. Розроблено нову методику оптимізації профілю з використанням моделі нелінійного програмування. Для розрахунку оптимальних значень параметрів профілю сортувальних гірок розроблена імітаційна модель скочування розрахункових бігунів. Запропоновано методику критеріальної оцінки варіантів поздовжнього профілю.

Запропоновані конструктивні рішення і варіанти технічного оснащення включені в робочий проект коректування поздовжнього профілю сортувальних гірок станцій Ясинувата, Дарниця й Основа.

Ключові слова: ресурсозбереження, функціонування, сортувальна гірка, оптимізація, поздовжній профіль, конструкція.

## THE SUMMARY

Ogar A.N. Increasing of resource saving and effective functioning of the sorting humps at optimization of longitudinal profile. – Manuscript.

Thesis on a scientific degree award of the candidate of technical science on a speciality 05.22.20 – “Operation and maintenance of transport mean.” - Kharkov state academy of a railway transport, Kharkov, 2002.

The dissertation is devoted to the questions of design improvement of longitudinal profile humps at the basis of resource saving approach. New criterion of longitudinal profile optimization is proved. This criterion is directed to increasing of resource saving and effective functioning of the sorting humps. New procedure of longitudinal profile optimization with use of nonlinear programming model is developed. Simulation model of cuts rolling for the account of optimal parameter profile is developed. The procedure of critical valuation longitudinal profile is offer.

The constructive decision and variant of technical equipment are included at the adjustment project of longitudinal profile humps of stations Yasinovataya, Darnica and Osnova.

Key words: resource saving, functioning, sorting humps, optimization, longitudinal profile, design.

## АННОТАЦИЯ

Огарь А.Н. Повышение ресурсосбережения и эффективности функционирования сортировочных горок при оптимизации продольного профиля. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – «Эксплуатация и ремонт средств транспорта». – Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2002.

Диссертация посвящена вопросам совершенствования конструкции продольного профиля сортировочных горок на основе ресурсосберегающего подхода. Выполнен анализ известных конструкций и методик оптимизации значений элементов профиля и эффективности функционирования сортировочных горок с точки зрения энергопотребления, ресурсосбережения и безопасности горочного технологического процесса.

В работе обоснован новый критерий оптимизации продольного профиля для повышения ресурсосбережения и эффективности функционирования сортировочных горок в части расхода электроэнергии. На основании полученных результатов имитационного моделирования скатывания расчетных бегунов при различных вариантах продольного профиля оценено влияние его конструктивных параметров на критерий оптимизации. Результатом выполненной оценки стала возможность определения в первом приближении характера профиля спускной части, обеспечивающего повышение ресурсосбережения и уменьшение энергопотребления, для конкретных исходных данных.

На базе проведенных исследований и уточненных требований к продольному профилю сортировочных горок Украины разработана новая методика его оптимизации, в которой использована модель нелинейного программирования и предложенный подход к расчету средней скорости скатывания очень хорошего бегуна. Данная методика позволяет получить рациональный профиль для заданной скорости роспуска.

Оценена возможность практического использования полиномов высокого порядка для описания продольного профиля при разработке АСУ расформированием составов на горках, а также для моделирования сортировочного процесса на ЭВМ.

Для расчета оптимальных значений параметров профиля сортировочных горок разработана имитационная модель скатывания расчетных бегунов при любых

метеорологических условиях. Предложенная модель наряду с определением расчетных параметров продольного профиля вновь строящихся или реконструируемых горок позволяет осуществлять проверку мощности тормозных средств и качества запроектированного профиля существующих горок.

С целью получения сравнительной оценки показателей, характеризующих применяемый или рекомендуемый профиль, разработана методика критериальной оценки его вариантов. К основным показателям относятся объем и стоимость производства земляных работ, удельный расход электроэнергии и энергоемкость средств регулирования скорости скатывания отцепов.

Экономическая оценка вариантов продольного профиля выполнена с использованием усовершенствованной методики, в которой учтены затраты на электроэнергию для возмещения потерь сжатого воздуха из тормозных цилиндров и пневматических узлов замедлителей и затраты на возмещение потерь от повреждения вагонов и грузов при наличии недостаточной мощности парковой тормозной позиции.

Предложенные конструктивные решения и варианты технического оснащения спускной части и подгорочных путей включены в рабочий проект корректировки продольного профиля Восточной сортировочной горки станции Ясиноватая Донецкой железной дороги, сортировочной горки нечетной системы станции Дарница Юго-Западной железной дороги и Южной сортировочной горки станции Основа Южной железной дороги.

Ключевые слова: ресурсосбережение, функционирование, сортировочная горка, оптимизация, продольный профиль, конструкция.