

Формалізовано екстремальну задачу по удосконаленню поздовжнього профілю сортувальних пристроїв та розроблено математичну модель забезпечення ресурсозбереження. Для оцінки економічної ефективності удосконалення поздовжнього профілю сортувального пристрою проведено порівняння існуючого, нормативного та запропонованого профілю з урахуванням технічних, технологічних та економічних критеріїв

**Ключові слова:** сортувальні пристрої, поздовжній профіль, удосконалення, економічна ефективність

Формализована экстремальная задача усовершенствования продольного профиля сортировочных устройств и разработана математическая модель обеспечения ресурсосбережения. Для оценки экономической эффективности усовершенствования продольного профиля сортировочного устройства проведено сравнение существующего, нормативного и предложенного профиля с учетом технических, технологических и экономических критериев

**Ключевые слова:** сортировочные устройства, продольный профиль, усовершенствование, экономическая эффективность

*The extreme task of improvement of longitudinal type of sorting devices is formalized and the mathematical model of providing of resources-saving is developed. For the estimation of economical efficiency of improvement of longitudinal type of sorting device the comparison between existing normative profile and new offered profile with taking into account the technical, technological and economic criteria is made*

**Keywords:** sorting devices, longitudinal type, improvement, economic efficiency

# ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕННЯ ПОЗДОВЖЬОГО ПРОФІЛЮ СОРТУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

**І. В. Берестов**

Кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри\*  
Контактний тел.: 8 (057) 730-10-42

**Г. В. Шаповал**

Кандидат технічних наук, доцент\*  
\*Кафедра „Залізничні станції та вузли”  
Українська державна академія залізничного транспорту  
майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050  
Контактний тел.: 8 (057) 730-10-26

**А. І. Луценко**

Інженер

## Вступ

Одним із основних напрямків забезпечення конкурентоспроможності залізничного транспорту в умовах транспортного ринку та інтеграції до Європейської співдружності є розробка і впровадження ресурсозберігаючих технологій в усі ланки перевізного процесу. Вирішення цієї наукової проблеми цілком відповідає Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту України [1], а також основним директивним документам Укрзалізниці. Пошук нових ідей, що спрямовані на створення ресурсозберігаючих технологій роботи технічних і вантажних станцій, при-

легких дільниць, рухомого складу повинен базуватися на відповідності законам транспортного ринку, моніторингу зміни показників експлуатаційної роботи залізниць, дослідженні основних чинників, що впливають на ресурсозбереження в перевізному процесі.

## Постановка проблеми

Сучасні умови утримання та експлуатації сортувальних пристроїв на залізницях України свідчать про наявність різноманітності в конструкціях поздовжнього профілю їх спускної частини, проекти яких були вико-

нані на підставі діючих на той час норм проектування. В останній час все більше уваги приділяється питанням впровадження ресурсозберігаючих технологій та обладнання у технологічні процеси на залізницях України [2].

Враховуючи те, що значна частина експлуатаційних витрат на сортувальних станціях витрачається на утримання та виконання технологічних процесів на сортувальних пристроях, актуальними є дослідження, які спрямовані на суттєве зменшення їх енергоспоживання. Одним з напрямків таких досліджень є аналіз існуючих сортувальних пристроїв та обґрунтування оптимального варіанту їх поздовжнього профілю.

**Аналіз попередніх досліджень**

Основною метою виконаних раніше досліджень вчених-експлуатаційників в частині удосконалення методики розрахунку і проектування сортувальних пристроїв було підвищення ефективності їх функціонування за рахунок прискорення сортувального процесу [3, 4, 5].

Питання розрахунку поздовжнього профілю сортувальних пристроїв з позиції енерго- та ресурсозбереження знайшли відображення в роботах [6, 7]. Запропоновані методики оптимізації поздовжнього профілю сортувальних пристроїв в основному були спрямовані на підвищення їхньої переробної спроможності, що було пов'язане з інтенсивним зростанням обсягів сортувальної роботи.

Існуючі на цей час Правила [8] враховують усі попередні дослідження, але не завжди є доцільними при удосконаленні поздовжнього профілю сортувальних пристроїв, оскільки викликають значні обсяги земляних робіт.

Для усунення цього недоліку в роботі [9] авторами запропоновано при удосконаленні поздовжнього профілю керуватися не лише нормами поздовжнього профілю [8], а й враховувати вимоги щодо забезпечення мінімальних обсягів земляних робіт, які виникають при перебудові. В роботі [9] удосконалення поздовжнього профілю сортувального пристрою розглянуто для станції К та отримано варіанти, які відповідають Правилам [8] та забезпечують мінімальні обсяги земляних робіт [9].

Але для подальших рекомендацій щодо розповсюдження запропонованого підходу необхідно формалізувати поставлену в роботі [9] задачу та провести порівняння отриманих варіантів профілю з визначенням більш ефективного.

**Постановка задачі**

Таким чином, виникає необхідність в розробці математичної моделі для визначення найбільш ефективного підходу до удосконалення поздовжнього профілю сортувальних пристроїв та проведенні економічного, технічного та технологічного аналізу отриманих результатів з визначенням найбільш ефективного варіанту удосконалення.

**Виклад основних матеріалів дослідження**

При оцінці економічної ефективності удосконалення поздовжнього профілю, враховуючи, що процес відбувається поетапно, для формалізації було обрано динамічне програмування. Процес вирішення задачі удосконалення профілю було поділено на етапи, які вирішувалися послідовно у часі та зводилися до бажаного результату.

В основу моделі покладено принцип оптимальності: яке б не було початкове рішення, наступні рішення повинні складати оптимальну стратегію відносно стану, який було отримано в результаті початкового рішення [10].

Таким чином, задача пошуку послідовності рішень, яка оптимізує процес удосконалення поздовжнього профілю, математично виражена через задачу пошуку рішень функціонального рівняння. Для розрахунку вартості перебудови поздовжнього профілю сортувальних пристроїв слід визначати обсяги земляних робіт та обсяги робіт по верхній будові колій.

Для визначення обсягу земляних робіт при удосконаленні поздовжнього профілю сортувальних пристроїв необхідно знайти різницю обсягів земляних робіт двох варіантів профілю. При цьому насипання землі або її зрізання враховується, як загальний обсяг земляних робіт.

Для формалізації екстремальної задачі по удосконаленню поздовжнього профілю сортувальних пристроїв розроблено модель забезпечення ресурсозбереження, цільова функція якої має вигляд складного функціоналу

$$V_{рек} = (V_{існ}, V_{запроп}) \rightarrow \min , \tag{1}$$

де  $V_{рек}$  – обсяги земляних робіт реконструкції поздовжнього профілю;

$V_{існ}$  – обсяги земляних робіт при існуючому профілі;

$V_{запроп}$  – обсяги земляних робіт при запропонованому профілі;

В явному вигляді цільова функція має наступний вигляд

$$V_{рек} = f \left[ b \left[ \left( 0,5 \sum_{k=1}^n i_k l_k^2 + \sum_{k=1}^n i_{k+1} l_{k+1} l_k \right) - \left( 0,5 \sum_{k=1}^m i_k l_k^2 + \sum_{k=1}^n i'_{k+1} l'_{k+1} l'_k \right) \right] \right] \rightarrow \min , \tag{2}$$

при системі обмежень

$$\begin{cases} i_{k(1ГП)} \leq i_{k(шв)} \leq 50; \\ 12 \leq i_{k(1ГП)} \leq 27; \\ i_{k(2ГП)} \leq i_{k(міжпоз)} \leq i_{k(1ГП)}; \\ 7 \leq i_{k(2ГП)} \leq i_{k(міжпоз)}; \\ 1 \leq i_{k(СЗ)} \leq 2,5; \\ 1 \leq i_{k(СП)} \leq 2,5; \\ 1 \leq i_{k(ПП)} \leq 2; \\ 0,6 \leq i_{k(СП2)} \leq 1; \\ i_{k:k-1} \leq 25; \\ n \geq 5; \\ m \geq 10. \end{cases} \tag{3}$$

де  $k$  – число ділянок поздовжнього профілю сортувального пристрою;

$b$  – ширина земляного полотна однієї колії;

$i_k$  – уклон  $k$ -ого елемента існуючого профілю сортувальних пристроїв;

$i'_k$  – уклон  $k$ -ого елемента отриманого профілю сортувальних пристроїв;

$l_k$  – довжина  $k$ -ого елемента існуючого профілю сортувальних пристроїв;

$l'_k$  – довжина  $k$ -ого елемента існуючого профілю сортувальних пристроїв;

$n$  – число елементів існуючого профілю;

$m$  – число елементів отриманого профілю.

Запропонована математична модель є універсальною, тому її можна використовувати для визначення

капітальних витрат на земляні роботи при будь-якій реконструкції поздовжнього профілю сортувальних пристроїв.

Дана цільова функція була вирішена при знаходженні витрат на земляні роботи по удосконаленню існуючого поздовжнього профілю сортувального пристрою станції К для визначення економічного ефекту варіанту, що відповідає Правилам [8] та запропонованому підходу [9].

Для порівняння запропонованого варіанту удосконалення поздовжнього профілю сортувальної гірки було проведено розрахунки динамічних якостей гірки (технічні та технологічні параметри) для існуючого, проектного [8] та запропонованого [9] поздовжнього профілю сортувального пристрою станції К. Результати розрахунків наведені в таблиці 1.

**Таблиця 1**

Результати перевірки динамічних якостей поздовжнього профілю сортувальної гірки (технічні та технологічні параметри)

Поздовжній профіль	Елемент	Гальмування, кДж/кН		ДП – ДХ	ДХ – ДП	T <sub>сум</sub> , с		V <sub>p</sub> , м/с	пг, ваг/доб	α, %
		h <sub>1ГП</sub>	h <sub>2ГП</sub>	T <sub>0</sub>	T <sub>0</sub>	ДП	ДХ			
Існуючий	3 стр.	-	-	4,06	2,41	110,13	107,28	1,14	3570	58
	11 уп.	0	-	6,44	2,87					
	12 уп.	0,50	-	7,04	2,50					
	7 стр.	-	-	7,79	1,76					
	9 стр.	-	-	8,27	1,23					
	21 уп.	-	0,40	9,70	-0,01					
	22 уп.	-	0,40	10,39	-0,31					
	32 стр.	-	-	10,82	-0,46					
	34 стр.	-	-	11,33	-0,68					
36 стр.	-	-	12,25	-1,07						
Нормативний	3 стр.	-	-	6,89	5,48	99,0	86,30	1,93	4780	43
	11 уп.	0,47	-	6,8	3,42					
	12 уп.	0,47	-	6,99	3,45					
	7 стр.	-	-	6,81	3,47					
	9 стр.	-	-	6,73	3,42					
	21 уп.	-	0,42	7,07	3,35					
	22 уп.	-	0,42	7,21	3,63					
	32 стр.	-	-	5,79	2,86					
	34 стр.	-	-	6,92	4,69					
36 стр.	-	-	5,92	3,98						
Запропонований	3 стр.	-	-	6,89	5,48	92,24	88,25	1,73	4647	45
	11 уп.	0,38	-	6,84	3,41					
	12 уп.	0,38	-	6,93	3,22					
	7 стр.	-	-	7,13	3,22					
	9 стр.	-	-	7,31	2,99					
	21 уп.	-	0,60	7,84	2,96					
	22 уп.	-	0,60	8,05	3,60					
	32 стр.	-	-	6,15	3,35					
	34 стр.	-	-	6,63	6,02					
36 стр.	-	-	4,83	5,76						

Для проведення економічної оцінки ефективності запропонованого варіанту удосконалення поздовжнього профілю було визначено витрати на удосконалення по проектному та запропонованому варіанту поздовжнього профілю та проведено порівняння цих витрат з утриманням існуючого поздовжнього профілю.

Економічний ефект було визначено за розрахунковий період. Сукупний економічний ефект проекту, отриманий за весь розрахунковий період, визнача-

ється як сумарне значення економічних ефектів, отриманих у кожному році розрахункового періоду [11].

Проектом передбачається здійснити удосконалення (реконструкцію) поздовжнього профілю сортувальних пристроїв з позиції ресурсозбереження, що дасть можливість скоротити час простою транзитних вагонів з переробкою, підвищити переробну спроможності сортувального пристрою, зменшити експлуатаційні витрати та імовірність комерційних браків в результаті

**Таблиця 2**

**Розрахунок економічного ефекту удосконалення поздовжнього профілю сортувальних пристроїв**

Найменування	Розрахунковий період (роки)				
	2009	2010	2011	2012	2013
1	2	3	4	5	6
Число вагонів з переробкою, ваг/рік	582540	582540	582540	582540	582540
<b>Варіант А – існуючий профіль</b>					
1. Експлуатаційні витрати, що змінюються в результаті удосконалення сортувальних пристроїв і залишаються незмінними впродовж розрахункового періоду, тис.грн.	569,871	569,871	569,871	569,871	569,871
2. Витрати, пов'язані з простоем вагонів, які переробляються на станції і залишаються незмінними впродовж розрахункового періоду, тис.грн.	14108,536	14108,536	14108,536	14108,536	14108,536
3. Всього витрат, тис.грн.	14678,408	14678,408	14678,408	14678,408	14678,408
<b>Варіант Б – профіль за нормами існуючих Правил [8]</b>					
1. Одноразові витрати на удосконалення сортувальних пристроїв, тис.грн	2532,767	---	---	---	---
2. Залишкова вартість капітальних витрат на удосконалення сортувальних пристроїв на кінець розрахункового періоду, тис. грн.	---	---	---	---	1691,888
3. Експлуатаційні витрати, що змінюються в результаті удосконалення сортувальних пристроїв і залишаються незмінними впродовж розрахункового періоду, тис.грн.	409,021	409,021	409,021	409,021	409,021
4. Витрати, пов'язані з простоем вагонів, які переробляються на станції і залишаються незмінними впродовж розрахункового періоду, тис.грн.	10750,768	10750,768	10750,768	10750,768	10750,768
5. Всього витрат, тис.грн.	13692,556	11159,789	11159,789	11159,789	9467,901
<b>Варіант В – профіль, що запропоновано [9]</b>					
1. Одноразові витрати на удосконалення сортувальних пристроїв, тис.грн	1365,457	---	---	---	---
2. Залишкова вартість капітальних витрат на удосконалення сортувальних пристроїв на кінець розрахункового періоду, тис. грн.	---	---	---	---	912,125
3. Експлуатаційні витрати, що змінюються в результаті удосконалення сортувальних пристроїв і залишаються незмінними впродовж розрахункового періоду, тис.грн	411,127	411,127	411,127	411,127	411,127
4. Витрати, пов'язані з простоем вагонів, які переробляються на станції і залишаються незмінними впродовж розрахункового періоду, тис.грн.	10791,554	10791,554	10791,554	10791,554	10791,554
5. Всього витрат, тис.грн.	12568,138	11202,681	11202,681	11202,681	10290,556
1. Економічний ефект варіантів А і Б, тис.грн.	985,852	3518,619	3518,619	5318,619	5210,507
2. Економічний ефект варіантів А і В, тис.грн	2110,270	3475,727	3475,727	3475,727	4387,852
3. Коефіцієнт приведення витрат	1,57	1,4	1,25	1,12	1,0
4. Економічний ефект з урахуванням коефіцієнта приведення витрат варіантів А і Б, тис.грн.	1547,788	4926,067	4398,274	3940,853	5210,507
4. Економічний ефект з урахуванням коефіцієнта приведення витрат варіантів А і В, тис.грн.	3313,124	4866,018	4344,659	3892,814	4387,852
5. Економічний ефект зростаючим підсумком варіантів А і Б, тис.грн.	1547,788	6473,855	10872,125	4812,982	20023,489
6. Економічний ефект зростаючим підсумком варіантів А і В, тис.грн.	3313,124	8179,142	12523,801	16416,615	20804,467

сортувальної роботи. Було проведено випрямлення земляного полотна у профілі (насіп або зрізання) за двома варіантами: що відповідає існуючим Правилам [8] і що забезпечує покращення сортувальної роботи при менших капітальних і експлуатаційних витратах – запропонований [9].

Визначення економічного ефекту проводилось при умові обов'язкового приведення різночасних вартісних оцінок результатів, витрат до розрахункового року, ступінь ризику приймалась на рівні 0,01, рівень інфляції – 0,06, розрахунковий період – 5 років.

Результати розрахунку економічного ефекту від удосконалення поздовжнього профілю сортувальних пристроїв за зазначеними варіантами приведено в таблиці 2.

В результаті проведених розрахунків економічний ефект зростаючим підсумком варіантів А і Б склав 20023,489 тис. грн, а варіантів А і В – 20804,467 тис. грн.

Отже, удосконалення профілю за варіантом В, запропонованим авторами [9], є економічно вигіднішим, ніж існуючий варіант А та варіант Б, що відповідає Правилам [8]. Строк окупності реконструкції сортувальних пристроїв згідно запропонованого варіанту складає 1 рік.

---

### Висновки

---

Таким чином, застосування розробленої моделі забезпечення ресурсозбереження дозволяє отримати варіант поздовжнього профілю сортувального пристрою, який забезпечує мінімальні обсяги земляних робіт та відповідає усім встановленим вимогам, забезпечує необхідні динамічні властивості. Застосування запропонованого підходу та універсальна модель дозволять вирішити проблему ресурсозбереження і тим самим підвищити ефективність функціонування сортувальних пристроїв підсистеми розформування сортувальної станції.

---

### Література

1. Концепція Державної Програми реформування залізничного транспорту України / Схвалено розпорядженням КМУ №651-р від 27.12.2006р. – К.: Магістраль, №1 (11-79)10-16 січня 2007р. – С.6.
2. Данько М.І. Наукові основи ресурсозберігаючих технологій при організації вантажних залізничних перевезень: Авторефер. дис. д-ра техн. наук: 05.22.01 / ХНАМГ. – Харків, 2005. – 40 с.
3. Гуричев Ю.Т., Гуда А.Н., Дегтярев С.Н., Новгородов Н. Н. Об одном подходе к задаче нахождения оптимальных параметров горки. // Микропроцессорные системы управления на железнодорожном транспорте / Труды РИИЖТа. – Ростов-на-Дону, 1984. – С. 35-38.
4. Луговцов М.Н., Негрей В.Я. К вопросу оптимизации параметров плана и профиля головной части горки // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов / Межвуз. сб. тр. – Гомель: БелИИЖТ, 1992. – С. 4-13.
5. Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств / Муха Ю.А., Тишков Л.Б., Шейкин В.П. и др. – М.: Транспорт, 1994. – 220 с.
6. Берестов І.В., Огар О.М. Критеріальний підхід до оцінки варіантів поздовжнього профілю спускної частини сортувальних гірок // Зб. наук. пр. ХарДАЗТ. Вип. 44 – 2000. С. 119-122.
7. Огар О.М. Підвищення ресурсозбереження та ефективності функціонування сортувальних гірок при оптимізації поздовжнього профілю: Авторефер. дис. к-та техн. наук: 05.22.20 / ХарДАЗТ. – Харків, 2002. – 18 с.
8. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР: ВСН 207 – 89. – М.: Транспорт, 1992.
9. Берестов І.В., Шаповал Г.В., Луценко А.І. Удосконалення поздовжнього профілю сортувальних пристроїв з позиції ресурсозбереження // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – 6/3 (36). – С. 20-23.
10. Шевченко В.В., Головкин В.Ф. Дослідження операцій у виробництві, ремонті та експлуатації вагонів: Навчальний посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2006 – 171 с.
11. Балака Є.І., Зоріна О.І., Колеснікова Н.М., Писаревський І.М. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспортні. – Харків, 2005р. – 162с.