

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

*На правах рукопису*

**Демченко Євген Борисович**

УДК 656.212.5

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ  
СОРТУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ЗМІННОЇ  
ІНТЕНСИВНОСТІ ВХІДНОГО ПОТОКУ ПОЇЗДІВ**

05.22.20- експлуатація та ремонт засобів транспорту

**Дисертація**

на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник

**Бобровський Володимир Ілліч**  
доктор технічних наук, професор

Дніпропетровськ – 2016

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ СТАНЦІЙ .....	13
1.1 Аналіз шляхів підвищення ефективності роботи сортувальних комплексів.....	13
1.2 Аналіз методів моделювання функціонування сортувальних комплексів.....	21
1.3 Постановка задач досліджень. Структура, послідовність та методи їх проведення.....	34
1.4 Висновки за розділом 1 .....	36
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ТА УМОВ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ СТАНЦІЙ УКРАЇНИ .....	38
2.1 Аналіз технічного оснащення сортувальних комплексів .....	38
2.2 Аналіз нерівномірності надходження поїздів в розформування ...	40
2.3 Аналіз обсягів переробки вагонопотоків на сортувальних комплексах.....	43
2.4 Аналіз параметрів составів поїздів, що прибувають в розформування	46
2.5 Аналіз тривалості розформування составів вантажних поїздів на сортувальних комплексах станцій .....	53
2.6 Висновки за розділом 2 .....	55
РОЗДІЛ 3 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ.....	56
3.1 Модель сортувальної гірки .....	56

	3
3.2 Модель состава та відчепа .....	59
3.3 Моделювання процесу насуву составу на гірку .....	62
3.4 Моделювання процесу скочування відчепів .....	73
3.5 Методика визначення енергетичних витрат на виконання насуву та розпуску составів на сортувальній гірці.....	75
3.6 Програмна реалізація імітаційної моделі .....	88
3.7 Висновки за розділом 2 .....	89
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ З ГОРБАМИ РІЗНОЇ ВИСОТИ ...	
	91
4.1 Розробка конструкції гірки з горбами різної висоти.....	91
4.2 Дослідження ефективності конструкції сортувальної гірки з горбами різної висоти .....	95
4.3 Висновки за розділом 4 .....	101
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОГО РЕЖИМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ В УМОВАХ НЕРІВНОМІРНОСТІ ВХІДНОГО ПОТОКУ ПОЇЗДІВ.....	
	103
5.1 Удосконалення імітаційної моделі функціонування сортувального комплексу.....	104
5.2 Дослідження ефективності керування швидкістю розпуску.....	107
5.3 Сортувальний комплекс як керована система масового обслуговування.....	110
5.4 Розробка методики оперативного вибору швидкості розпуску та виду сортувального пристрою .....	115
5.5 Висновки за розділом 5 .....	121
ВИСНОВКИ.....	122
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК .....	125

ДОДАТОК А АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	145
ДОДАТОК Б ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ .....	149

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АСК – автоматизована система керування;

ВГ – вершина гірки;

ВГП – верхня гальмова позиція;

ГП – гальмова позиція;

ДГУ – дизель-генераторна установка;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ОГ – основна гірка;

ОДР – область допустимих режимів гальмування;

ПГ – понижена гірка.

ПКМ – позиція контролера машиніста;

РІ – напіврейс типу «розгін-рух за інерцією»;

РК – рейкове коло;

СГ – сортувальна гірка;

СМО – система масового обслуговування;

СП – сортувальний парк;

УСМО – керована система масового обслуговування.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сортивальні станції є важливою ланкою транспортної інфраструктури, ефективність роботи яких істотно впливає на якість залізничних перевезень. В сучасних умовах ринкової економіки одним з основних факторів забезпечення високої ефективності експлуатаційної роботи сортувальних станцій є мінімізація витрат, пов'язаних з переробкою вагонів. У цьому зв'язку набувають важливості питання подальшого розвитку сортувальних комплексів, які є одним з головних елементів станцій, що забезпечують процес переробки вагонопотоків. Удосконалення конструкції і технології роботи сортувальних комплексів дозволить підвищити їх продуктивність, зменшити простій вагонів на станціях і за рахунок цього прискорити доставку вантажів, скоротити обіг вагонів та їх необхідний парк. Крім того, це буде сприяти подальшому покращенню економічних показників роботи станцій, в першу чергу, за рахунок зниження собівартості переробки вагонів.

В теперішній час функціонування сортувальних комплексів станцій характеризується значною нерівномірністю надходження поїздів в розформування. Вказані коливання вхідного потоку суттєво впливають на показники роботи станцій та мають бути враховані при оперативному керуванні сортувальним процесом. У цьому зв'язку дослідження і удосконалення конструкції та технології роботи сортувальних комплексів станцій з метою підвищення ефективності їх роботи в умовах змінної інтенсивності вхідного потоку поїздів є актуальним науково-прикладним завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, роботами, темами.** Дисертаційна робота виконана у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку залізничної галузі, які визначені у Транспортній стратегії України до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України № 2174-р від 20.10.2010), а також пов'язана з НДР, що виконані Дніпропетровським національним університетом

залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: «Удосконалення конструкції та технології роботи сортувальних комплексів на станціях» (№ ДР 0109U000480) та «Удосконалення інформаційних технологій на залізничному транспорті» (№ ДР 0111U003613), у яких автор брав участь у якості виконавця та співавтора звітів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій за рахунок динамічної адаптації режиму роботи до їх поточного стану, що дозволить скоротити загальні витрати, пов'язані з переробкою вагонопотоків. Вказана мета може бути досягнута шляхом оперативного вибору для кожного состава раціональної швидкості розпуску та типу сортувальної гірки (основної чи пониженої) у відповідності з поточною довжиною черги готових до розформування составів.

У зв'язку з цим в дисертації поставлені та вирішені наступні задачі:

1. Аналіз сучасних напрямків підвищення ефективності роботи сортувальних комплексів станцій.
2. Аналіз параметрів вхідного потоку поїздів в розформування, технічного оснащення та показників роботи сортувальних комплексів залізничних станцій України.
3. Аналіз і формалізація процесу насуву та розпуску составів на сортувальних гірках, удосконалення імітаційної моделі процесу розформування составів на сортувальних гірках.
4. Визначення методики розрахунку витрат палива на виконання насуву та розпуску составів на сортувальних гірках.
5. Визначення параметрів та оцінка ефективності спеціалізованої конструкції сортувальної гірки з двома горбами різної висоти.
6. Дослідження впливу швидкості розпуску составів та висоти сортувальної гірки на показники якості сортувального процесу при різних параметрах

вхідного потоку поїздів в розформування.

7. Формалізація процесу функціонування та удосконалення імітаційної моделі сортувального комплексу як керованої системи масового обслуговування.

8. Розробка процедури вибору раціональної швидкості розпуску составів та типу сортувальної гірки в оперативних умовах.

**Об'єктом дослідження** є процес розформування-формування составів вантажних поїздів на сортувальних гірках.

**Предметом дослідження** є взаємозв'язок швидкості розпуску составів та параметрів сортувальної гірки з показниками роботи сортувального комплексу в умовах змінної інтенсивності вхідного потоку поїздів в розформування.

**Методи дослідження.** Імітаційне моделювання, чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь та теорія маневрової роботи використані при моделюванні процесів насуву та розпуску составів на сортувальну гірку, дослідженнях впливу швидкості розпуску составів та висоти сортувальної гірки на показники роботи сортувального комплексу в умовах змінної інтенсивності вхідного потоку поїздів.

Методи теорії ймовірностей та математичної статистики використані для аналізу параметрів вхідного потоку поїздів в розформування та дослідження ефективності методик визначення витрат палива на виконання насуву і розпуску составів на сортувальних гірках.

Теорія масового обслуговування, методи планування експериментів та оптимізації використані для розробки процедури вибору раціональної швидкості розпуску составів та типу сортувальної гірки в оперативних умовах.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в наступному:

1. Вперше формалізовано процес функціонування сортувального комплексу станції як системи масового обслуговування з керованою інтенсивністю



обслуговування вимог, а також розроблено процедуру вибору для кожного состава раціональної швидкості розпуску в залежності від довжини черги готових до розформування составів, що дозволяє підвищити ефективність процесу переробки вагонопотоків на станціях.

2. Вперше досліджено та обґрунтовано можливість застосування для розформування составів сортувальної гірки з двома горбами різної висоти, оперативний вибір яких дозволяє зменшувати витрати на розформування составів при низькій інтенсивності вхідного потоку поїздів та скорочувати їх простій в умовах збільшення черги составів в розформування.

3. Удосконалено імітаційну модель процесу розформування составів на сортувальних гірках за рахунок доповнення її модулем, який імітує роботу маневрового тепловоза в процесі руху состава, що, на відміну від існуючих моделей, дозволяє визначати витрати палива гірковим локомотивом та початкову швидкість кожного відчепа в момент його відриву на вершині гірки.

4. Удосконалено імітаційну модель процесу функціонування сортувального комплексу станції за рахунок реалізації можливості оперативного вибору швидкості розпуску для кожного состава, що, на відміну від існуючих моделей, дозволяє отримати комплексну оцінку ефективності сортувального процесу в умовах змінної інтенсивності вхідного потоку поїздів.

**Практичне значення отриманих результатів.** Наукові результати, отримані у дисертаційній роботі, висновки та рекомендації, а також розроблені моделі та процедури можуть бути використані для оперативного керування процесом розформування составів на сортувальних станціях. Це дозволить в оперативних умовах для кожного состава вибирати тип сортувальної гірки та раціональну швидкість розпуску з урахуванням поточного стану комплексу і, за рахунок цього, мінімізувати загальні витрати станції, пов'язані з переробкою вагонів.

На основі розробленої процедури керування розформуванням составів

може бути побудована автоматизована система підтримки прийняття рішень оперативно-диспетчерським персоналом станції, використання якої дозволить підвищити ефективність функціонування сортувальних комплексів в умовах змінної інтенсивності вхідного потоку поїздів в розформування.

Результати роботи використані при розробці проектної документації для будівництва сортувального парку та сортувальної гірки парку «Южний» станції «Хімічна» (ТОВ з П «Трансінвестсервіс») та у навчальному процесі при підготовці спеціалістів та магістрів зі спеціальності 7(8).07010102 «Організація перевезень і управління на залізничному транспорті» під час виконання дипломних робіт та в курсах лекцій з дисциплін «Основи теорії транспортних процесів та систем» і «Розрахунок та проектування сортувальних пристроїв на станціях».

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

**Особистий внесок автора.** Всі наукові положення, розробки та результати теоретичних та експериментальних досліджень, що виносяться на захист, отримані автором особисто.

Статті [51, 161] опубліковані одноосібно. В основних статтях, які опубліковані в співавторстві, особистий внесок автора наступний. В роботі [131] виконано аналіз шляхів підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій; проведено дослідження впливу швидкості розпуску та висоти гірки на показники сортувального процесу; розроблено методику техніко-економічного обґрунтування застосування диференційованої швидкості розпуску. В статті [28] розроблено конструкцію та модель сортувальної гірки з горбами різної висоти; за допомогою розробленої моделі виконано дослідження залежності величини витрат палива гірковим локомотивом від швидкості розпуску та висоти гірки. В роботі [160] розроблено модель плану та поздовжнього профілю сортувальної гірки. В статті [27] удосконалено модель

розпуску составів. В статті [29] формалізовано роботу сортувального комплексу як керованої системи масового обслуговування, виконано постановку задачі та розроблено методику оперативного вибору швидкості розпуску составів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на: 72-й, 73-й, 74-й та 75-й науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2012-2015 рр.); III-й міжнародній науково-практичній конференції «Інтеграція України в міжнародну транспортну систему» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2011 р.); XI міжнародній студентській науковій конференції «Engineer of the 3-rd Millenniums» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2012 р.), науково-технічній конференції молодих вчених, магістрантів та студентів «Удосконалення технології та технічного оснащення транспортних систем» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2013 р.), VI-й та VII-й міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2012, 2013 рр.); III-й науково-практичній конференції «Інноваційні технології на залізничному транспорті» (Луганськ, СЛУ ім. В. Даля, 2010, 2012 рр.); V та VI міжнародних науково-практичних конференціях «Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2014, 2015 рр.); міжнародній науково-технічній конференції «Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом» (Москва, МИИТ, 2014 р.); науково-практичній конференції «Розвиток теорії та практики функціонування залізничних станцій та вузлів» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2014 р.); 7-й міжнародній науково-практичній конференції «Транселектро-2014» (Одеса-Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2014 р.); 2-й та 4-й науково-практичних конференціях «Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий» (Кострина, 2013 р., Дніпропетровськ, ДНУЗТ,

2015 р.); 76-й та 77-й міжнародних науково-практичних конференціях «Развитие научной и инновационной деятельности на транспорте» (Харків, Укр-ДАЗТ, 2014, 2015 рр.). У повному обсязі дисертація доповідалась та була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (грудень 2015 р.).

**Публікації.** За результатами дисертації опубліковано 33 наукові праці: 1 монографія, 8 наукових статей, з яких 1 стаття в іноземному виданні, включеному до наукометричної бази *Scopus*, 4 статті у фахових виданнях, затверджених Департаментом атестації кадрів МОН України та включених до міжнародних наукометричних баз, 3 статті в інших виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз, та 24 тези доповідей у матеріалах і тезах конференцій.