

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

**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

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ  
2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі «Станції та вузли» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:**

доктор технічних наук, професор **Бобровський Володимир Ілліч**,  
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна, професор кафедри «Станції та вузли»

**Офіційні опоненти:**

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

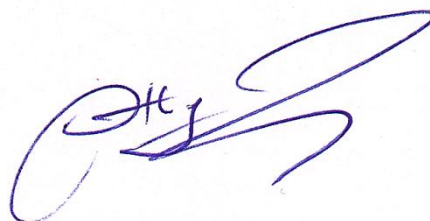
кандидат технічних наук, доцент **Яновський Петро Олександрович**,  
Національний авіаційний університет, професор кафедри «Організація  
авіаційних перевезень»

Захист відбудеться «26» травня 2016 р. 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: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314, зал засідань.

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

Автореферат розісланий «23» квітня 2016 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
д.т.н., професор



І. В. Жуковицький

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сортувальні 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 сортуваль-

них 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 гiрковим локомотивом та початкову швидкiсть кожного вiдчепа в момент його вiдриву на вершинi гiрки.

4. Удосконалено iмiтацiйну модель процесу функцiонування сортувального комплексу станцiї за рахунок реалiзацiї можливостi оперативного вибору швидкостi розпуску для кожного состава, що, на вiдмiну вiд iснуючих моделей, дозволяє отримати комплексну оцiнку ефективностi сортувального процесу в умовах змiнної iнтенсивностi вхiдного потоку поїздiв.

**Практичне значення отриманих результатiв.** Науковi результати, отриманi у дисертацiйнiй роботi, висновки та рекомендацiї, а також розробленi моделi та процедури можуть бути використанi для оперативного керування процесом розформування составiв на сортувальних станцiях. Це дозволить в оперативних умовах для кожного состава вибирати тип сортувальної гiрки та рацiональну швидкiсть розпуску з урахуванням поточного стану комплексу i, за рахунок цього, мiнiмiзувати загальнi витрати станцiї, пов'язанi з переробкою вагонiв.

На основi розробленої процедури керування розформуванням составiв може бути побудована автоматизована система пiдтримки прийняття рiшень оперативно-диспетчерським персоналом станцiї, використання якої дозволить пiдвищити ефективнiсть функцiонування сортувальних комплексiв в умовах змiнної iнтенсивностi вхiдного потоку поїздiв в розформування.

Результати роботи використанi при розробцi проектної документацiї для будiвництва сортувального парку та сортувальної гiрки парку «Южний» станцiї «Хiмiчна» (ТОВ з П «Трансiнвестсервiс») та у навчальному процесi при пiдготовцi спецiалiстiв та магiстрiв зi спецiальностi 7(8).07010102 «Органiзацiя перевезень i управлiння на залiзничному транспортi» пiд час виконання дипломних робiт та в курсах лекцiй з дисциплiн «Основи теорiї транспортних процесiв та систем» i «Розрахунок та проектування сортувальних пристроїв на станцiях».

Практичне впровадження результатiв роботи пiдтверджується вiдповiдними документами, що наведенi у додатках до дисертацiї.

**Особистий внесок автора.** Всi науковi положення, розробки та результати теоретичних та експериментальних дослiджень, що виносяться на захист, отриманi автором особисто.

Статтi [4, 9] опублiкованi одноосiбно. В основних статтях, якi опублiкованi в спiвавторствi, особистий внесок автора наступний. В роботi [1] виконано аналiз шляхiв пiдвищення ефективностi функцiонування сортувальних комплексiв станцiй; проведено дослiдження впливу швидкостi розпуску та висоти гiрки на показники сортувального процесу; розроблено методику технiко-економiчного обгрунтування застосування диференцiйованої швидкостi розпуску. В статтi [2] розроблено конструкцiю та модель сортувальної гiрки з горбами рiзної висоти; за допомогою розробленої моделi виконано дослiдження залежностi величини витрат палива гiрковим локомотивом вiд швидкостi розпуску та висоти гiрки. В роботi [3] розроблено модель плану та поздовжнього профiлю сортувальної гiрки. В статтi [5] удосконалено модель розпуску составiв. В статтi [6] формалiзовано роботу сортувального комплексу як керованої системи масового обслуговування, виконано постановку задачi та розроблено методику оперативного вибору швидкостi розпуску составiв.

**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, СНУ 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, УкрДАЗТ, 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.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків і 2 додатків. Повний обсяг роботи – 154 сторінки, з яких основний текст знаходиться на 124 сторінках, які містять 29 рисунків та 21 таблицю; список використаних джерел із 169 найменувань викладено на 20 сторінках; додатки викладені на 10 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У вступі обґрунтована актуальність проблеми підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій, сформульовані мета і задачі досліджень, відображені наукова новизна, практичне значення отриманих результатів та особистий внесок автора, наведено відомості про апробацію та публікацію результатів досліджень.

**В першому розділі** виконано аналіз сучасних напрямків підвищення ефективності роботи сортувальних комплексів станцій.

Значний внесок у вирішення проблем удосконалення роботи сортувальних комплексів станцій зробили вчені Акулінічев В. М., Альошинський Є. С. Березовий М. І., Бессоненко С. А., Берестов І. В., Бледний А. М., Бобровський В. І., Божко М. П., Бутько Т. В., Вернигора Р. В., Грунтов П. С., Данько М. І., Єфіменко Ю. І., Журавель В. В., Жуковицький І. В., Козаченко Д. М., Колесник А. І., Кудряшов А. В., Ломотько Д. В., Мацкель С. С., Муха Ю. О., Нагорний Є. В., Негрей В. Я., Образцов В. М., Огар О. М., Правдін М. В., Сотніков Є. А., Сотніков І. Б., Торопов Б. І., Шабалін М. М., Шафіт Є. М., Шиш В. О., Шабалін М. М., Ющенко М. Р., Яновський П. О. та ін.

У працях цих науковців розроблені методичні підходи, математичні моделі та методи підвищення ефективності функціонування залізничних станцій; при цьому, як показав аналіз, основна частина вказаних праць присвячена вирішенню проблеми інтенсифікації перевізного процесу та пошуку шляхів підвищення переробної спроможності станцій. Проте в сучасних умовах, у зв'язку з падінням обсягів перевезень та зміною структури і параметрів вагонопотоків, першочерговими стають проблеми скорочення експлуатаційних витрат, пов'язаних з розформуванням составів вантажних поїздів.

В теперішній час вирішення вказаної проблеми проводиться за кількома основними напрямками: концентрація переробки вагонопотоків; приведення потужності, переробної спроможності та експлуатаційного штату сортувальних комплексів у відповідність обсягам роботи; удосконалення конструктивно-технологічних параметрів сортувальних пристроїв; впровадження ресурсозберігаючих технологій переробки вагонопотоків та визначення раціональних режимів функціонування підсистем розформування; комплексна автоматизація сортувального процесу.

Проведений аналіз дозволив сформулювати мету дисертаційного дослідження, яка полягає в скороченні експлуатаційних витрат станцій за рахунок вибору раціональних технічних засобів та технологій розформування составів. На основі цього визначені основні задачі, які були вирішені у процесі виконання дисертаційної роботи.

**В другому розділі** виконано аналіз параметрів вхідного потоку поїздів в розформування, технічного оснащення та показників роботи сортувальних комплексів залізничних станцій України.

Найбільший обсяг роботи з розформування составів вантажних поїздів виконується на сортувальних станціях; при цьому основним технічним засобом, що використовується для розформування составів, є сортувальна гірка. В теперішній час на мережі залізниць України функціонує 35 сортувальних станцій та 49 сортувальних гірок.

Як показав аналіз, функціонування сортувальних комплексів станцій України характеризується значною нерівномірністю надходження поїздів в розформування. Так, в результаті обробки статистичних даних встановлено, що для ст. Нижньодніпровськ-Вузол випадкова величина інтервалу  $I$  прибуття поїздів в розформування розподілена за законом Ерланга з параметром  $K = 2$ ; числові характеристики випадкової величини  $I$  наведено в табл. 1.

Основні параметри розподілу випадкової величини інтервалу прибуття поїздів  
в розформування на ст. Нижньодніпровськ-Вузол

| Система | $n$   | $I_{\min}$ ,<br>хв | $I_{\max}$ ,<br>хв | $M[I]$ ,<br>хв | $M[I^2]$ ,<br>хв <sup>2</sup> | $D[I]$ ,<br>хв <sup>2</sup> | $\sigma[I]$ ,<br>хв | $\lambda$ ,<br>сост/хв | $v_{\text{вх}}$ | $K$ |
|---------|-------|--------------------|--------------------|----------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|-----|
| Непарна | 11553 | 0,0                | 437,0              | 45,61          | 3614,51                       | 1534,24                     | 39,2                | 0,022                  | 0,86            | 2   |
| Парна   | 10335 | 0,0                | 458,0              | 50,98          | 4572,69                       | 1973,73                     | 44,4                | 0,020                  | 0,87            | 2   |

Як видно з таблиці, коефіцієнт варіації вхідного потоку  $v_{\text{вх}}$  для обох систем знаходиться на рівні 0,86-0,87, що свідчить про високий ступінь добової нерівномірності надходження поїздів в розформування. В цих умовах доцільною є адаптація інтенсивності сортувального процесу до вказаних коливань вхідного потоку, що дозволить скоротити експлуатаційні витрати станції. Проте задача оперативного вибору раціонального режиму функціонування сортувального комплексу в залежності від його поточного стану до теперішнього часу остаточно не вирішена.

В третьому розділі виконано аналіз і формалізацію процесу насуву та розпуску составів на сортувальних гірках, на основі чого удосконалено імітаційну модель процесу розформування составів на сортувальних гірках та визначено методику розрахунку пов'язаних з цим витрат палива гірковим тепловозом.

Як показав аналіз, розформування составів на сортувальних гірках виконується, головним чином, маневровими тепловозами і лише в окремих випадках – магістральними тепловозами або електровозами. При цьому режими роботи гіркових тепловозів значно відрізняються від режимів роботи поїзних локомотивів. Так, в результаті експериментальних досліджень процесу розформування составів на ст. Одеса-Застава I встановлено, що гіркові локомотиви працюють під навантаженням в основному на 1-4-й позиціях контролера  $n_k$ ; при цьому контролер при насуві не переміщувався далі 5-ої позиції (рис. 1). Як показав аналіз, маневрові переміщення на 8-й позиції складають не більше 0,8 % від сумарного часу роботи маневрових тепловозів. Крім того, режим роботи тепловозів на сортувальній гірці відрізняється частою зміною положення контролера (рис. 2). Проте в даний час моделювання маневрових пересувань виконується на основі методики тягових розрахунків для поїзної роботи (ПТР), яка не враховує вказані особливості.

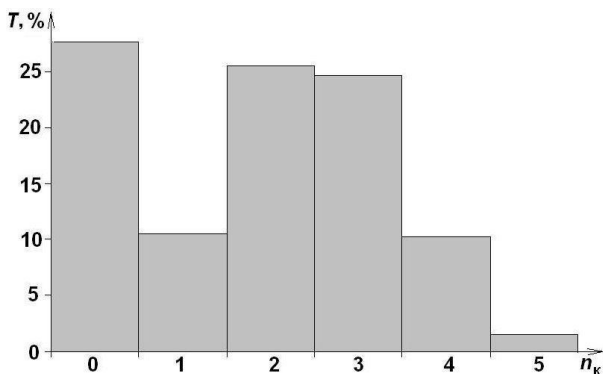


Рис. 1. Розподіл часу роботи гіркових тепловозів за позиціями контролера

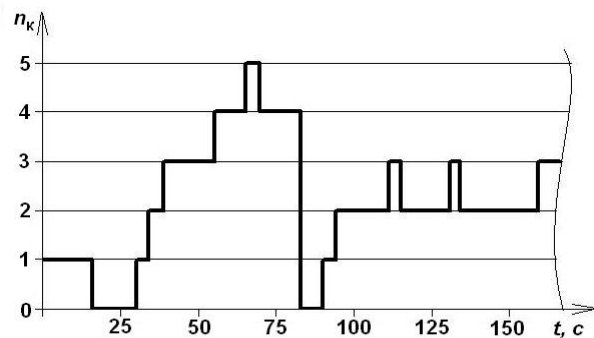


Рис. 2. Динаміка переведу контролера при розформуванні состава на гірці

сті роботи маневрових локомотивів на сортувальних гірках. Це, в свою чергу, не дає можливості визначати з достатньою точністю витрати часу і палива на насув і розпуск составів, величини яких необхідні для вибору раціонального режиму розформування.

Для вирішення вказаної задачі було удосконалено імітаційну модель процесу розформування составів на сортувальних гірках. Дана модель складається з двох взаємопов'язаних модулів, між якими встановлено інформаційний інтерфейс, і дозволяє сумісно імітувати процеси насуву составів на гірку та розпуску вагонів на сортувальні колії.

В модулі насуву на основі адаптованих до умов маневрової роботи тягових розрахунків виконується детальне моделювання режиму роботи гіркового тепловоза та процесу руху состава. Так, состав, що насувається на гірку, представляється в моделі сукупністю відчепів з певними параметрами (кількість вагонів, їх тип, довжина, маса та основний питомий опір руху) і розглядається як нерозтяжний гнучкий стержень з рівномірно розподіленою по довжині масою. Така модель состава дозволяє найбільш повно врахувати зміни умов його руху при переходах з одного елемента профілю на інший та після відриву від состава чергового відчепа.

При моделюванні насуву та розпуску розглядається керований поступальний рух маневрового состава, в процесі якого враховуються сили:  $F_k$  – дотична сила тяги локомотива;  $W_k$  – сила опору руху состава;  $B_T$  – гальмова сила локомотива. В рівняннях руху маневрового состава розглядаються відповідні питомі сили  $f_k$ ,  $w_k$ ,  $b_T$ ; рівнодіюча вказаних сил  $f_p$  залежить від режиму роботи гіркового локомотива та дорівнює  $f_p = f_k \pm w_k$  в режимі тяги,  $f_p = \pm w_k$  – в режимі вибігу та  $f_p = \pm w_k - b_T$  – в режимі гальмування.

Дотична сили тяги локомотива  $f_k$  в розробленій моделі визначається за частковими (проміжними) тяговими характеристиками, які можуть бути реалізовані за умовами зчеплення, і далі по наступним проміжним характеристикам аж до виходу на автоматичну (зовнішню) характеристику. Вказані характеристики були отримані на основі аналізу паспортних даних локомотивів та результатів реостатних випробувань.

Питома сила опору руху  $w_k$  визначається як

$$w_k = w'_0 + w''_0 + w_{cb} + w_{ck} + w_i + w_{zp}, \quad (1)$$

де  $w'_0$  – основний питомий опір руху локомотива;  $w''_0$  – основний питомий опір руху вагонів состава;  $w_{cb}$  – додатковий питомий опір від середовища та вітру;  $w_{ck}$  – додатковий питомий опір від стрілок та кривих;  $w_i$  – додатковий питомий опір від ухилу;  $w_{zp}$  – додатковий питомий опір при зрушенні состава з місця.

Основний питомий опір руху локомотива  $w'_0$  та додатковий питомий опір при зрушенні состава з місця  $w_{zp}$  визначаються за методикою ПТР. Основний питомий опір руху вагонів состава  $w''_0$  розраховується як середньозважена величина основного питомого опору руху його відчепів і корегується після відриву

від состава чергового відчепа; при цьому величина  $w''_{0i}$  для кожного вагону входить в структуру моделі состава. Додатковий питомий опір від ухилу  $w_i$  приймається чисельно рівним середньому ухилу  $i$ , на якому знаходиться маневровий состав. Середній ухил  $i(S_j)$ , на якому знаходиться состав, коли його перша вісь перебуває в точці  $S_j$ , визначається за різницею відміток першої  $h(S_j)$  та останньої  $h(S_j - l_c)$  осей состава:

$$i(S_j) = \frac{h(S_j) - h(S_j - l_c)}{l_c}, \quad (2)$$

де  $l_c$  – довжина маневрового состава, м.

Питоме значення гальмівної сили  $b_T$  розраховується за формулою

$$b_T = 1000 \theta_p \varphi_{кр}, \quad (3)$$

де  $\theta_p$  – розрахунковий гальмівний коефіцієнт;  $\varphi_{кр}$  – розрахунковий коефіцієнт тертя гальмівних колодок.

Значення величин  $\theta_p$  та  $\varphi_{кр}$  визначаються в залежності від кількості гальмівних осей локомотива; при цьому гальмівний коефіцієнт  $\theta_p$  в (3) розглядається як функція від тривалості гальмування  $t_{гал}$ .

Особливістю моделювання процесу розпуску состава є зміна його параметрів при відриві відчепів. В цьому зв'язку при імітації руху состава на кожному кроці  $\Delta t$  контролюється можливість відриву чергового відчепа. Після фіксування відриву відчепа в моделі виконується відповідне зменшення довжини та маси состава; при цьому змінюється координата його першої осі  $S_j$  та корегується основний питомий опір  $w''_0$ . Це, в свою чергу, викликає відповідні зміни в режимі роботи гіркового локомотива, що спрямовані на підтримання заданої швидкості розпуску  $v_0$ .

Рух состава моделюється за допомогою диференційного рівняння другого порядку  $S'' = f(t, S, S')$ , в якому незалежною змінною є час  $t$ :

$$S'' = \frac{d^2 S}{dt^2} = g' f_p 10^{-3}, \quad (4)$$

де  $g'$  – прискорення сили тяжіння з урахуванням інерції мас, що обертаються.

Відомо, що рівняння (4) має єдиний розв'язок, якщо його права частина  $f(S, V)$  неперервна та диференційована. Проте характер зміни сили  $f_p$  не завжди відповідає вказаній умові. Так, в моменти переключення позицій контролера може відбуватися стрибкоподібна зміна дотичної сили тяги  $f_k$ . Гальмівна сила  $b_T$  в процесі зменшення швидкості состава також змінюється нерівномірно. Опір руху в кривих являє собою ступінчасту функцію, розриви якої мають місце в точках заняття та звільнення маневровим составом криволінійних ділянок колії. Крім того, в момент відриву чергового відчепа змінюються параметри состава. Тому в моделі було прийнято, що в межах кроку інтегрування  $\Delta t$  режим руху

маневрового состава залишається постійним; з цією метою обраний достатньо малий крок  $\Delta t$  ( $\Delta t = 1$  с). В режимі тяги в межах  $\Delta t$  позиція контролера не змінюється; при цьому в кінці кроку здійснюється аналіз швидкості состава і при необхідності корегується режим роботи локомотива та моделювання повторюється.

Аналогічно, гальмівна сила  $b_t$  на кожному кроці  $\Delta t$  приймається постійною і, якщо швидкість состава в кінці кроку стала нижче допустимої, то, в залежності від умов руху, відбувається перехід до режиму тяги або вибігу.

Крім того, в межах кроку інтегрування  $\Delta t$  ні голова маневрового состава, ні його хвіст не повинні переходити границі початку або кінця кривої. Якщо на окремому кроці ця умова не виконується, то цей крок розділяється на окремі частини з відомою довжиною  $\Delta S_1, \Delta S_2, \dots, \Delta S_n$ . При цьому на кроках  $1 \dots (n-1)$  моделювання переміщення состава виконується з використанням диференційного рівняння руху першого порядку  $V' = f(S, V)$  з незалежною змінною  $S$ :

$$V' = \frac{dV}{dS} = g' \frac{f_p}{V}, \quad V > 0 \quad (5)$$

На останньому  $n$ -му кроці моделювання переміщення состава виконується за допомогою рівняння (4) на час  $\Delta t' = \Delta t - \Delta t^*$ , що залишився до кінця початкового кроку  $\Delta t$ . Аналогічний підхід використовується і для моделювання руху состава при відриві від нього чергового відчепа.

Для забезпечення неперервності функцій  $i(S)$  та  $f_k(V)$  в моделі використовується сплайн-апроксимація поздовжнього профілю колії та тягових характеристик локомотива. Вирішення диференціальних рівнянь руху (4) та (5) виконувалось за методом Рунге-Кутта IV порядку.

В роботі була розроблена методика моделювання керування гірковим тепловозом, який забезпечує плавний розгін та подальший рух состава з швидкістю, близькою до встановленої швидкості розпуску  $v_0$ . При цьому фактична швидкість  $v_\phi$  на кожному кроці  $\Delta t$  може відхилитись від заданої швидкості руху  $v_0$  на величину похибки реалізації  $\delta$ :  $v_\phi = [v_0 \pm \delta]$ .

В роботі виконані дослідження ефективності існуючих методик розрахунку витрат палива  $G$  на розформування составів на гірці. Результати моделювання витрат палива з використанням вказаних методик були порівняні з даними натурних спостережень за процесом розформування составів, отриманих за допомогою системи «БИС-Р». В результаті статистичного аналізу встановлено, що витрати палива доцільно розраховувати на основі виконаної механічної роботи сили тяги локомотива  $R_{mj}$ :

$$G = \sum_{j=1}^n k_j R_{mj}, \quad (6)$$

де  $k_j$  – перехідний коефіцієнт,  $R_{mj}$  – механічна робота сили тяги, т·км.

Величина  $R_{mj}$  визначається як

$$R_{mj} = F_{kj} \Delta S_j, \quad (7)$$

де  $\Delta S_j$  – переміщення состава на кроці, км.

Коефіцієнт  $k_j$  являє собою питому величину витрат палива на виконання тепловозом 1 т·км механічної роботи, та визначається як:

$$k_j = \begin{cases} -0,00002v_j^2 - 0,0021v_j + 0,969 & \text{для ТЭМ2,} \\ 0,00002v_j^2 - 0,0030v_j + 0,920 & \text{для ЧМЭЗ.} \end{cases} \quad (8)$$

Отримані в результаті моделювання насуву початкові швидкості відчепів використовуються в модулі розпуску для подальшого моделювання процесу їх скочування, в результаті якого визначаються витрати електроенергії  $E$  на гальмування відчепів, величини інтервалів між відчепами на розділових стрілках  $\delta t$ , довжини вікон  $L_{\text{вік}}$  та швидкості співударяння вагонів  $V_c$  на сортувальних коліях. На основі отриманих в результаті імітаційного моделювання показників сортувального процесу визначається величина експлуатаційних витрат на виконання розформування составів на гірці висотою  $h_r$  з заданою швидкістю  $v_0$ .

**В четвертому розділі** визначені параметри та виконано оцінку ефективності спеціалізованої конструкції сортувальної гірки з двома горбами різної висоти.

Для зміни інтенсивності процесу розпуску в залежності від черги готових до розформування составів було запропоновано конструкцію сортувальної гірки (СГ) з горбами різної висоти (рис. 3). Вказаний сортувальний пристрій складається з основної (ОГ) та пониженої (ПГ) гірок. Висота ОГ розраховується згідно діючих вимог та забезпечує скочування відчепів до розрахункової точки в несприятливих метеорологічних умовах. Зменшення висоти ПГ відносно ОГ здійснюється за рахунок використання мінімально допустимого ухилу, передбаченого для швидкісної ділянки спускної частини гірок.

Поздовжній профіль ОГ відрізняється від профілю ПГ тільки в межах між початком насувної частини гірок та першою розділовою стрілкою (рис. 3). Таким чином, кожна з вказаних гірок може використовуватись як самостійний сортувальний пристрій, що забезпечує розформування составів на всі колії сортувального парку.

Оцінка запропонованої конструкції СГ з горбами різної висоти виконана

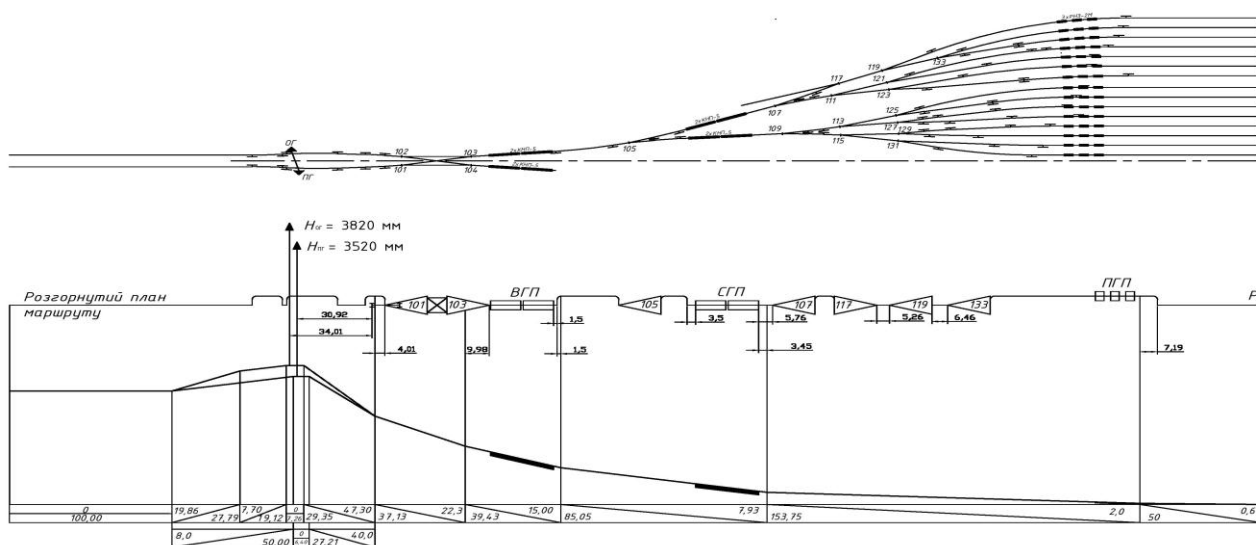


Рис. 3. Сортувальна гірка з горбами різної висоти

на основі імітаційного моделювання процесу розформування потоку составів. З цією метою було побудовано моделі ОГ і ПГ та підготовлено 20 составів, які складаються з 57 вагонів, об'єднаних в 35 відчепів. Потрібна дальність пробігу для кожного відчепа визначалась з врахуванням надходження на відповідні сортувальні колії вагонів з попередніх розформованих составів. Моделювання процесу насуву та розпуску виконувалось за допомогою розробленої моделі процесу розформування составів та проводилось окремо для кожної гірки при різній швидкості розпуску ( $v_0 = 1,2; 1,5$  та  $1,7$  м/с) для зимових та літніх погодних умов. При цьому було прийнято, що розформування составів виконується маневровим тепловозом ЧМЭЗ, а колії парку прийому, з яких виконується насув, мають підйом 2 ‰ в бік СГ.

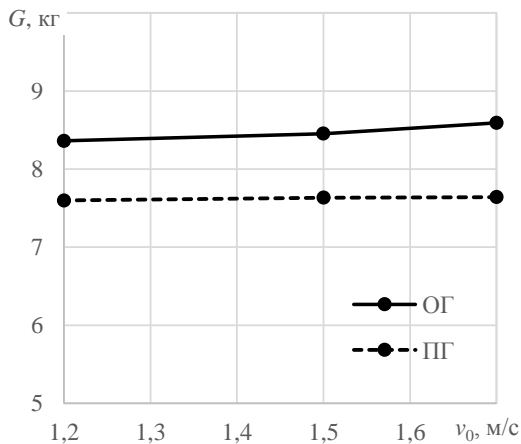


Рис. 4. Витрати палива на насув та розпуск составів

В результаті моделювання були визначені витрати палива  $G$  гірковим тепловозом на розформування составів при різній швидкості розпуску на кожній СГ (рис. 4). Як видно з рисунка, витрати палива на розформування одного состава на ПГ в середньому на 10 % менші ніж на ОГ; при цьому вказана різниця зростає зі збільшенням швидкості розпуску. В той же час величина  $G$  для кожної з гірок з підвищенням швидкості  $v_0$  від 1,2 м/с до 1,7 м/с збільшується неістотно. Вказана обставина пояснюється тим, що зміна швидкості руху на 0,5 м/с (1,8 км/год)

несуттєво впливає на режим роботи дизеля тепловоза; при цьому зниження швидкості  $v_0$  призводить до відповідного зростання тривалості операцій насуву та розпуску.

Як зазначалося раніше, висота ПГ менша за розрахункову висоту, яка забезпечує докочування розрахункового поганого бігуна за несприятливих умов до розрахункової точки. В цьому зв'язку були виконані дослідження дальності пробігу  $S_{\text{п}}$  поганого бігуна при його скочуванні з ОГ та ПГ на розрахункову важку колію при різних значеннях початкової швидкості  $v_0$ , температури навколишнього середовища  $t$ , швидкості вітру  $v_{\text{в}}$  та його напрямку  $\beta$ . В результаті досліджень встановлено, що з вказаної множини факторів на величину дальності  $S_{\text{п}}$  істотно впливають лише швидкість та напрямок вітру; при цьому величина пробігу відчепів при їх скочуванні з ПГ в середньому на 6 % менша аналогічного показника для ОГ. Таким чином, конструкція ПГ не призводить до істотного скорочення дальності пробігу відчепів; при цьому з метою підвищення якості заповнення сортувальних колій вказану гірку доцільно застосовувати лише в умовах відсутності зустрічного вітру з високою швидкістю.

Також для гірок ОГ та ПГ були отримані залежності середньої величини інтервалів  $M[\delta t]$  на розділових стрілках від швидкості розпуску  $v_0$  при розформуванні в зимових (рис. 5, а) та літніх (рис. 5, б) умовах. Як видно з рисунка, різни-

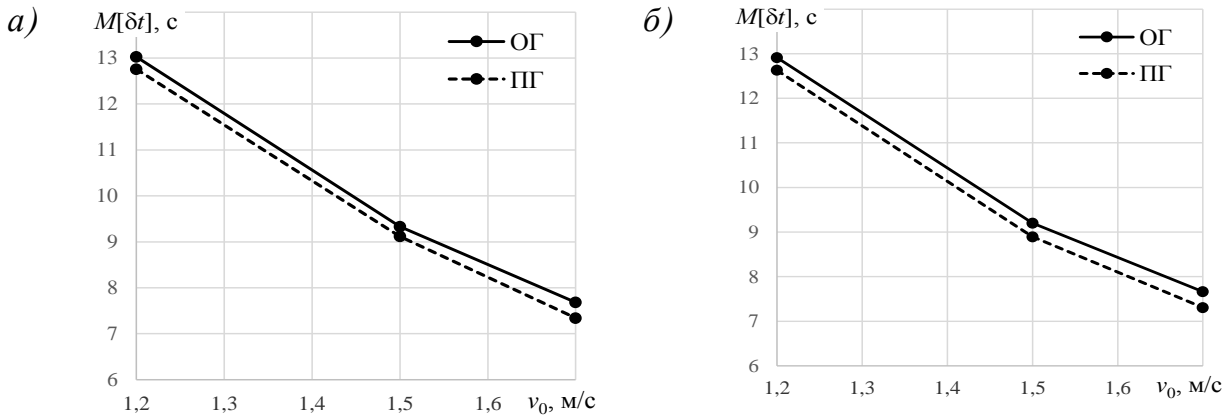


Рис. 5. Залежності середньої величини інтервалу  $M[\delta t]$  від швидкості розпуску  $v_0$ :  
а) зимові умови; б) літні умови

ця між величиною  $M[\delta t]$  на ОГ та ПГ незначна і складає при швидкості розпуску  $v_0 = 1,2$  м/с в зимових та літніх умовах, відповідно, 0,27 с та 0,28 с. Аналогічно, при швидкості  $v_0 = 1,7$  м/с вказана різниця становить 0,34 с та 0,36 с.

На основі аналізу вказаних показників можна стверджувати, що використання ПГ для розпуску составів не призведе до суттєвого погіршення умов інтервального регулювання швидкості відчепів; при цьому з метою підвищення надійності їх розділення сортувальну роботу на вказаній гірці доцільно проводити зі швидкістю не вище  $v_0 = 1,5$  м/с.

Таким чином, розроблена конструкція гірки з горбами різної висоти може бути використана з метою реалізації адаптивної технології розформування составів; при цьому застосування основної гірки дозволяє забезпечити високу інтенсивність сортувального процесу, а пониженої – досягти економії енергоресурсів на насув та розпуск составів. Рішення щодо використання основної чи пониженої гірки та відповідного режиму розформування конкретного состава на ній повинно прийматися в оперативних умовах у відповідності до поточної ситуації на станції та метеорологічних умов.

**В п'ятому розділі** виконано дослідження впливу швидкості розпуску составів та висоти сортувальної гірки на показники якості функціонування сортувального комплексу при різних параметрах вхідного потоку поїздів в розформування, формалізовано процес функціонування та удосконалено імітаційну модель сортувального комплексу як керованої системи масового обслуговування, розроблено процедуру вибору раціональної швидкості розпуску составів та виду сортувального пристрою в оперативних умовах.

Підвищення ефективності функціонування сортувального комплексу в умовах змінної інтенсивності прибуття поїздів в розформування може бути досягнуто шляхом оперативного вибору режиму його роботи у відповідності до поточної експлуатаційної обстановки. З цією метою запропоновано змінювати швидкість розпуску  $v_0$  в залежності від наявної кількості готових до розформування составів в парку прийому. Для оцінки ефективності диференційованої швидкості розпуску було виконано дослідження впливу її величини на показники функціонування сортувального комплексу.

В результаті досліджень встановлено, що збільшення швидкості розпуску з 1,2 до 1,7 м/с дозволяє скоротити тривалість знаходження рухомого складу у сортувальному комплексі (в середньому на 2-2,5 хв – при інтенсивності  $\lambda = 1,5$  поїзда/год і параметрі Ерланга  $K = 2$ , та на 4 хв – при  $\lambda = 2$  поїзда/год та  $K = 1$ ). Це означає, що найбільше скорочення простою составів при підвищенні швидкості розпуску досягається в умовах високої інтенсивності та нерівномірності вхідного потоку поїздів. В той же час вказане підвищення швидкості розпуску призводить до зростання ризику нерозділення відцепів і пов'язаних з цим експлуатаційних витрат.

Для вирішення задачі вибору для кожного состава раціональної швидкості розпуску  $v_0$  сортувальний комплекс розглядається як керована система масового обслуговування (УСМО). На основі проведеного аналізу можливих стратегій керування УСМО виконано постановку задачі керування швидкістю розпуску составів. Сортувальна гірка може бути представлена як одноканальна УСМО з очікуванням, на вхід якої з інтенсивністю  $\lambda$  надходить потік вимог у вигляді готових до розформування составів. Розформування може виконуватись в одному з  $n$  режимів,  $n \geq 2$ . Режим розформування чергового состава обирається в момент закінчення розформування попереднього состава та залишається незмінним до закінчення розформування даного состава. Розформування в  $i$ -му режимі виконується з інтенсивністю  $\mu_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $0 < \mu_1 < \dots < \mu_n$ ,  $\mu_n > \lambda$ . Необхідно знайти стратегію вибору швидкості розпуску составів, яка б мінімізувала вартісний критерій якості функціонування системи:

$$E = \frac{e_{\text{ваг-год}}}{60} \sum_{j=1}^N m_j T_{\text{п}j} + \sum_{j=1}^N c(q_j) \frac{L_j}{60v_{0j}(q_j)} \rightarrow \min \quad (9)$$

при наступних обмеженнях:

$$\begin{cases} 0 < c(0) < \dots < c(n-1); \\ v_{0\min} \leq v_0(q_j) < v_{0\max}; \\ q_j \leq m_{\text{пн}}, \end{cases}$$

де  $e_{\text{ваг-год}}$  – витратна ставка на 1 ваг-год простою рухомого складу, грн;  $N$  – кількість розформованих составів за заданий період;  $m_j$  – кількість вагонів в  $j$ -му составі;  $T_{\text{п}j}$  – тривалість знаходження  $j$ -го состава у парку приймання, хв;  $q_j$  – довжина черги готових до розформування составів в момент початку розформування  $j$ -го состава;  $c(q_j)$  – вартість використання режиму розформування  $j$ -го состава, грн/хв;  $L_j$  – довжина  $j$ -го состава, м;  $v_{0j}(q_j)$  – швидкість розпуску  $j$ -го состава, м/с;  $v_{0\min}, v_{0\max}$  – відповідно, мінімальна та максимальна допустима швидкість розпуску, м/с;  $m_{\text{пн}}$  – кількість колій в парку приймання.

Для вирішення задачі мінімізації функції (9) був використаний метод оптимізації Бокса-Уілсона, що базується на плануванні багатofакторних експериментів. Оптимізація керування швидкістю розпуску составів виконується за наступною процедурою:

1. Для кожного можливого значення довжини черги составів  $q$ ,  $Q \in [0..n)$ ,

обираються верхній  $v_q^B$  та нижній  $v_q^H$  рівні швидкості розпуску; при цьому повинна виконуватись умова  $v_q^B \leq v_{q+1}^H$ ;

2. Виконується побудова плану повного факторного експерименту з  $N = 2^n$  дослідів;

3. Для кожного дослідів плану виконується моделювання функціонування сортувального комплексу протягом заданого періоду  $T$ . При моделюванні для кожного состава в залежності від поточної величини черги  $q$  встановлюється швидкість розпуску  $v_q$  на рівні, що відповідає прийнятому плану експерименту. На основі величини  $v_q$  обирається тип сортувальної гірки. В результаті моделювання для кожного дослідів визначається величина функції відгуку  $E$ ;

4. За результатами дослідів визначаються коефіцієнти регресії та будується поліном, що відображає залежність між значеннями факторів та функцією відгуку.

5. Виконується круте сходження, що припиняється при досягненні мінімуму експлуатаційних витрат  $E$  або обмеження швидкості розпуску  $v_0$ .

Для перевірки ефективності запропонованої процедури виконане моделювання функціонування сортувального комплексу за період  $T = 1440$  хв при інтенсивності вхідного потоку поїздів  $\lambda = 0,015$  поїздів/хв з параметром Ерланга  $K = 2$ . Як показали дослідження, запропонована процедура керування швидкістю розпуску составів дозволяє скоротити експлуатаційні витрати станції, пов'язані з переробкою вагонопотоків, на 14%, що в річному обчисленні складе 1285 тис. грн.

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі отримане нове вирішення актуального науково-практичного завдання удосконалення конструкції та технології роботи сортувальних комплексів станцій з метою підвищення їх ефективності в умовах змінної інтенсивності вхідного потоку поїздів. Запропоновані заходи забезпечують скорочення загальних витрат станції, пов'язаних з переробкою вагонопотоків.

Основні наукові результати і висновки дисертації полягають у наступному:

1. Підвищенню ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій присвячено значна кількість наукових публікацій, в яких сформульовано методичні підходи, математичні моделі та методи вирішення даної проблеми. Основна частина вказаних праць присвячена питанню інтенсифікації перевізного процесу та пошуку шляхів підвищення переробної спроможності станцій. В той же час, в сучасних умовах у зв'язку з падінням обсягів перевезень та зміною структури і параметрів вагонопотоків першочерговими є проблеми скорочення експлуатаційних витрат.

2. Функціонування сортувальних комплексів станцій України в сучасних умовах характеризується значною нерівномірністю надходження поїздів в розформування. Так, для обох систем станції НД-Вузол коефіцієнт варіації вхідного потоку  $v_{вх}$  знаходиться на рівні 0,86-0,87. В цих умовах доцільною є адаптація інтенсивності сортувального процесу до коливань вхідного потоку з метою скорочення експлуатаційних витрат станцій.

3. Розформування составів на сортувальних гірках виконується маневровими тепловозами, режими роботи яких значно відрізняються від режимів роботи поїзних локомотивів. Гіркові локомотиви працюють під навантаженням в основному на 1-4-й позиціях контролера; при цьому маневрові переміщення на 8-й позиції складають не більше 0,8 % від сумарного часу роботи маневрових локомотивів. Найбільш розповсюдженим при насуві составів на гірку є напіврейс типу «розгін – рух з постійною швидкістю».

4. Встановлено, що початкова швидкість кожного відчепа в момент відриву його від состава на вершині гірки відрізняється від заданої швидкості розпуску  $v_0$ . При цьому величина початкової швидкості відчепів суттєво впливає на умови регулювання швидкості їх скочування з гірки. Тому при моделюванні розформування состава операції його насуву та скочування відчепів необхідно розглядати як взаємопов'язані процеси, перебіг яких доцільно імітувати сумісно. Моделювання роботи гіркового тепловоза в процесі насуву та розпуску состава можливе шляхом виконання тягових розрахунків, адаптованих до умов маневрової роботи.

5. При моделюванні насуву необхідно враховувати не лише динаміку вказаного процесу, а й керуючі дії машиніста. З цією метою розроблена методика моделювання керування гірковим тепловозом, яка враховує біхевіоральні фактори та забезпечує плавний розгін состава і подальший його рух з швидкістю, близькою до встановленої.

6. В результаті статистичного аналізу експериментальних даних про витрати палива гірковими тепловозами, отриманими за допомогою системи «БИС-Р», та результатів імітаційного моделювання операцій насуву та розпуску, виконаного за допомогою розробленої моделі процесу розформування составів на сортувальних гірках встановлено, що величину витрат палива на насув та розпуск составів доцільно визначати на основі виконаної механічної роботи сили тяги локомотива. Такий підхід, на відміну від існуючої методики, дозволяє встановити вплив швидкості розпуску, а також параметрів конструкції сортувальної гірки та составів на величину витрат палива.

7. Скорочення експлуатаційних витрат, пов'язаних з розформуванням составів, може бути досягнуто за рахунок виконання даної операції на сортувальній гірці з горбами різної висоти (основній та пониженій гірках). Встановлено, що використання пониженої гірки для насуву та розпуску дозволяє скоротити витрати палива в середньому на 10 %. При цьому виконання розформування составів на вказаній гірці в порівнянні з показниками, отриманими для основної гірки, призводить до неістотного скорочення (на 1 %) середньої величини інтервалів між відчепами на розділових стрілках та несуттєвого (на 6 %) збільшення кількості вікон на сортувальних коліях.

8. Збільшення швидкості розпуску дозволяє скоротити тривалість знаходження рухомого складу у парку приймання сортувального комплексу; при цьому найбільший ефект від такої зміни спостерігається в умовах високої інтенсивності та нерівномірності вхідного потоку поїздів. Так, підвищення швидкості  $v_0$  з 1,2 до 1,7 м/с при  $\lambda = 2$  поїзда/год та  $K = 1$  дозволило скоротити тривалість перебування состава в парку приймання на 4 хв, тоді як при  $\lambda = 1,5$  поїзда/год та  $K = 2$  вказане скорочення не перевищує 2-2,5 хв.

9. Сортивальний комплекс можливо формалізувати як керовану систему масового обслуговування; при цьому з метою мінімізації експлуатаційних витрат доцільно виконувати керування швидкістю обслуговування вимог та вибором обслуговуючого пристрою. Оптимізація керування швидкістю розпуску та вибором типу сортувальної гірки може бути виконана за допомогою метода Бокса-Уїлсона, що базується на плануванні багатофакторних експериментів. Виконана оцінка розробленої процедури оптимізації керування швидкістю розпуску составів показала, що за період  $T=1440$  хв при інтенсивності вхідного потоку поїздів  $\lambda=0,015$  поїздів/хв з параметром Ерланга  $K=2$  скорочення експлуатаційних витрат станції, пов'язаних з переробкою вагонопотоків, склало 14%, що в річному обчисленні становить 1285 тис. грн.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Основні праці:

1. Совершенствование конструкции и технологии работы сортировочных комплексов железнодорожных станций: монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, А. И. Колесник, Е. Б. Демченко, А. С. Дорош – Днепропетровск: Маковецкий. 2012 – 236 с.

2. Бобровський, В. І. Дослідження ефективності конструкції сортувальної гірки з горбами різної висоти / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 8. – С. 20–26. (журнал індексується в базах УІНЦ, РІНЦ)

3. Bobrovskiy, V. Probabilistic approach for the determination of cuts permissible braking modes on the gravity humps / V. Bobrovskiy, D. Kozachenko, A. Dorosh, E. Demchenko, T. Bolvanovska, A. Kolesnik // Transport Problems – 2016. – Vol. 11, is. 1. – PP. 147-155. (журнал індексується в базі Scopus)

4. Demchenko, E. V. Complex simulation model of train breaking-up process at the humps / E. V. Demchenko // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту – 2015. – № 6(60) – С. 25–34. (журнал індексується в базах УІНЦ, Ulrich's Periodicals Directory, Index Copernicus та ін.)

5. Бобровський, В. І. Імітаційна модель процесу розпуску составів на сортувальних гірках / В. І. Бобровський, А. С. Дорош, Є. Б. Демченко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2015. – №49(1158) – С. 94–98. (журнал індексується в базах WorldCat, ResearchBib та ін.)

6. Бобровський, В. І. Підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій в умовах нерівномірності вхідного потоку поїздів / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко, А. С. Дорош // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип. 10. – С. 16–22. (журнал індексується в базах УІНЦ, РІНЦ)

### Додаткові праці:

7. Бобровский, В. И. Совершенствование имитационной модели процесса надвига и роспуска составов на сортировочных горках / В. И. Бобровский,

Е. Б. Демченко // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 3. – С. 5–9. (журнал індексується в базах УІНЦ, РІНЦ)

8. Бобровський, В. І. Моделювання процесу насуву та розпуску составів на сортувальній гірці / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 4. – С. 13–18. (журнал індексується в базах УІНЦ, РІНЦ)

9. Демченко, Е. Б. Оценка расхода топлива маневровыми тепловозами при расформировании составов на сортировочных горках / Е. Б. Демченко // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 6. – С. 39–46. (журнал індексується в базах УІНЦ, РІНЦ)

10. Бобровський, В. І. Адаптація потужності сортировочних устроїв к колибанням об'ємів перероблюваних вагонопотоков / В. І. Бобровський, Е. Б. Демченко // тези допов. науково-практ. конф. «Інтеграція України в міжнародну транспортну систему» (Дніпропетровськ, 2011). – Д.: ДНУЗТ, 2011. – С. 9–10.

11. Бобровський, В. І. Підвищення економічної ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко // тези допов. 72-ї міжнар. науково-практ. конф. «Проблеми и перспективы развития ж. д. транспорта» (Дніпропетровськ, 19.04 – 20.04.2012) – Д.: ДНУЖТ, 2012. – С. 105–106.

12. Бобровський, В. І. Дослідження режимів функціонування сортувальних комплексів станцій / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко // тези допов. міжнарод. науково-практ. конф. «Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании». – Д.: ДНУЖТ, 2012. – С. 5.

13. Demchenko, E. V. The humps capacity adaptation for train flow irregularity / E. V. Demchenko // тези допов. XI міжнар. студ. наук. конф. «Engineer of the 3-rd Millenniums». – Д.: ДНУЗТ, 2012. – С. 25–26.

14. Бобровський, В. І. Повышение эффективности расформирования составов на сортировочных горках / В. І. Бобровський, Е. Б. Демченко // Зб. наук. праць конференції «Інноваційні технології на залізничному транспорті», Донецьк-Красний Лиман. – Луганськ: Ноулідж, 2012 – С.11-13.

15. Бобровський, В. І. Совершенствование имитационной модели процесса расформирования составов на сортировочных горках [Текст] / В. І. Бобровський, Е. Б. Демченко // тези допов. міжнарод. науково-практ. конф. «Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании». – Д.: ДНУЖТ, 2013. – С. 7–8.

16. Сковрон, И. Я. Повышение эффективности маневровой работы на станциях промышленных предприятий / И. Я. Сковрон, Е. Б. Демченко, Е. Б. Кузьменко // тези допов. 2-й міжнарод. науково-практ. конф. «Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий» (Кострина, 21–23 февраля 2013 г.). – Д.: ДНУЖТ, 2013. – С. 85–86.

17. Бобровський, В. І. Удосконалення імітаційної моделі розформування составів на сортувальній гірці / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко // тези допов. науково-техн. конф. молодих вчених, магістр. та студ. «Удосконалення технології та технічного оснащення транспортних систем». – Д.: ДНУЗТ, 2013. – С. 6–7.

18. Бобровский, В. И. Повышение эффективности расформирования составов на сортировочной горке / В. И. Бобровский, Е. Б. Демченко // тезисы докл. 73-й междунар. научно-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Днепропетровск, 23–24 мая 2013 г.). – Д.: ДНУЖТ, 2013. – С. 135–136.

19. Бобровский, В. И. Совершенствование имитационной модели управляемого скатывания отцепов на сортировочных горках / В. И. Бобровский, А. С. Дорош, Е. Б. Демченко // тезисы докл. 73-й междунар. научно-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Днепропетровск, 23–24 мая 2013 г.). – Д.: ДНУЖТ, 2013. – С. 138–139.

20. Сковрон, І. Я. Підвищення ефективності функціонування залізничних станцій, що обслуговують морські порти / І. Я. Сковрон, Є. Б. Демченко // тези докл. 73-й междунар. научно-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Днепропетровск, 23–24 мая 2013 г.). – Д.: ДНУЖТ, 2013. – С. 171–172.

21. Демченко, Є. Б. До питання застосування нечіткої логіки при керуванні розформуванням составів на сортувальних гірках / Є. Б. Демченко, А. С. Дорош // тези докл. 74-й междунар. научно-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Днепропетровск, 15–16 мая 2014 г.). – Д.: ДНУЖТ, 2014. – С. 176–177.

22. Бобровский, В. И. Определение расхода топлива маневровыми тепловозами при расформировании составов на сортировочных горках / В. И. Бобровский, Е. Б. Демченко // тезисы докл. 74-й междунар. научно-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Днепропетровск, 15–16 мая 2014 г.). – Д.: ДНУЖТ, 2014. – С. 170–171.

23. Бобровський, В. І. Підвищення ефективності розформування составів на сортувальних гірках / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко // тези допов. 76-ї міжнар. науково-техн. конф. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті». – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – С. 282–283.

24. Бобровский, В. И. Оценка энергетических затрат на надвиг и роспуск составов на сортировочной горке / В. И. Бобровский, Е. Б. Демченко // тезисы докл. V междунар. научно-практ. конф. «Энергосбережение на железнодорожном транспорте и в промышленности» (Воловец, 11–13 июня 2014 г.). – Д.: ДНУЖТ, 2014. – С. 22–23.

25. Бобровский, В. И. Оценка расхода дизельного топлива горочными маневровыми тепловозами / В. И. Бобровский, Е. Б. Демченко // тезисы докл. междунар. юбилейной научно-техн. конф. (Москва, 16–17 октября 2014 г.) «Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом» – М.: МИИТ, 2015. – С. 62–63.

26. Бобровський, В. І. Оцінка витрат дизельного палива гірковими маневровими тепловозами / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко // тези допов. науково-практ. конф. «Розвиток теорії та практики функціонування залізничних станцій та вузлів» (Дніпропетровськ, 11–12 грудня 2014 р.) – Д.: ДНУЗТ, 2014. – С. 13.

27. Демченко, Е. Б. Повышение эффективности расформирования составов тяжелых поездов / Е. Б. Демченко // Электрификация транспорта «ТРАНСЭЛЕКТРО – 2014»: Материалы VII Международной научно-практической конференции (Одесса - Днепропетровск, 23-26 октября 2014 г.) –

Д.: ДНУЖТ, 2014. – С. 97-98.

28. Бобровский, В. И. Совершенствование конструкции сортировочной горки для повышения эффективности процесса расформирования составов / В. И. Бобровский, Е. Б. Демченко // тези допов. 77-ї міжнар. науково-техн. конф. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті». – Харків: Укр-ДАЗТ, 2015. – С. 110–111.

29. Бобровський, В. І. Удосконалення конструкції сортувальної гірки з метою скорочення енергетичних витрат на насув та розпуск составів / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко // тези докл. 75-й междунар. научно-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Днепропетровск, 14-15 мая 2015 г.). – Д.: ДНУЖТ, 2015. – С. 190–191.

30. Бобровский, В. И. Совершенствование конструкции сортировочной горки с целью сокращения энергетических затрат на надвиг и роспуск составов / В. И. Бобровский, Е. Б. Демченко // тези допов. VI міжнар. науково-практ. конф. «Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості» (Воловець, 10 – 13 червня 2015 р.). – Д.: ДНУЗТ, 2015. – С. 16–17.

31. Сковрон, И. Я. Эффективные методы снижения затрат энергоресурсов при формировании составов / И. Я. Сковрон, Е. Б. Демченко // тези допов. VI міжнар. науково-практ. конф. «Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості» (Воловець, 10 – 13 червня 2015 р.). – Д.: ДНУЗТ, 2015. – С. 108–109.

32. Skovron, I. Ya. The effectiveness increase of railway stations functioning, which serve the seaports / I. Ya. Skovron, E. B. Demchenko // тези докл. IV междунар. научно-практ. конф. «Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий» (Днепропетровск, 01–02 октября 2015 г.). – Д.: ДНУЖТ, 2015. – С. 78-79.

33. Бобровский, В. И. Повышение эффективности функционирования сортировочных комплексов станций / В. И. Бобровский, Е. Б. Демченко // тези докл. IV междунар. научно-практ. конф. «Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий» (Днепропетровск, 01–02 октября 2015 г.). – Д.: ДНУЖТ, 2015. – С. 26-27.

## АНОТАЦІЯ

Демченко Є. Б. Підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій в умовах змінної інтенсивності вхідного потоку поїздів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2016.

Дисертація присвячена питанню підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій в умовах нерівномірності надходження вантажних поїздів у розформування. З цією метою сортувальний комплекс розглядається як керована система масового обслуговування.

Для зміни інтенсивності процесу розпуску в залежності від довжини черги готових до розформування составів запропоновано конструкцію сортувальної гірки з двома горбами, один з яких має зменшену висоту. Розроблено процедуру вибору в оперативних умовах для кожного состава раціональної швидкості

розпуску та типу сортувальної гірки, що дозволить мінімізувати загальні витрати станцій, пов'язані з переробкою вагонопотоків.

Наукові результати, отримані у дисертаційній роботі, а також розроблені моделі та методи можуть бути використані при створенні автоматизованої системи підтримки прийняття рішень оперативно-диспетчерським персоналом сортувальних комплексів станцій.

**Ключові слова:** сортувальний комплекс; розформування составів, сортувальна гірка з горбами різної висоти; керована система масового обслуговування.

### АННОТАЦІЯ

Демченко Е. Б. Повышение эффективности функционирования сортировочных комплексов станций в условиях переменной интенсивности входящего потока поездов. – 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, Днепропетровск, 2016.

Диссертация посвящена вопросу повышения эффективности функционирования сортировочных комплексов станций в условиях неравномерности поступления грузовых поездов в расформирование. Эксплуатация сортировочных комплексов станций характеризуется значительной неравномерностью входящего потока поездов. В этих условиях целесообразной является адаптация интенсивности сортировочного процесса к колебаниям входящего потока, что позволит сократить эксплуатационные расходы станции, связанные с переработкой вагонопотоков.

Величина эксплуатационных расходов сортировочного комплекса при различных режимах его функционирования может быть получена в результате имитационного моделирования процесса расформирования составов. С этой целью в работе выполнены анализ и формализация операций надвига и роспуска составов на сортировочных горках. На основе проведенных экспериментальных исследований была усовершенствована имитационная модель процесса расформирования составов на сортировочной горке. Данная модель, в отличие от существующих, позволяет детально имитировать режим работы маневрового тепловоза и процесс движения состава при его надвиге на горку, что дает возможность определять затраты топлива горочным локомотивом и начальную скорость каждого отцепа, величина которой используется для дальнейшего моделирования их скатывания с горки. В результате исследований установлено, что расход топлива горочным тепловозом целесообразно определять на основе выполненной механической работы силы тяги локомотива.

Для оперативного изменения интенсивности процесса расформирования составов в работе предложена конструкция сортировочной горки с горбами различной высоты. Указанное сортировочное устройство состоит из основной и пониженной горок. Основная горка рассчитана согласно действующих нормативов и обеспечивает докатывание расчетного бегуна до расчетной точки при неблагоприятных условиях. Понижение высоты второго горба достигнуто путем использования минимально допустимого уклона скоростного участка профиля горки. Установлено, что использование пониженной горки для расформирования составов позволяет сократить соответствующие расходы топлива в среднем на 10 %;

при этом для обеспечения благоприятных условий разделения отцепов роспуск на данной горке целесообразно выполнять со скоростью до 1,5 м/с.

В работе выполнены исследования влияния скорости роспуска составов на показатели работы сортировочного комплекса при различных параметрах входящего потока поездов в расформирование. Установлено, что наибольший эффект от повышения скорости роспуска достигается при высокой интенсивности и неравномерности входящего потока. При этом указанное увеличение скорости роспуска увеличивает риск неразделений отцепов и связанных с этим эксплуатационных расходов.

Для решения задачи выбора для каждого состава рациональной скорости роспуска и типа горки сортировочный комплекс был представлен как управляемая система массового обслуживания. С использованием данного подхода была усовершенствована имитационная модель функционирования сортировочного комплекса станции, позволяющая исследовать его работу как единой системы при различных режимах эксплуатации. Указанная модель была построена как управляемая двухфазная система массового обслуживания, которая совместно имитирует процессы обслуживания составов в парке приема и их расформирования на горке. Разработанная модель использовалась для оценки эффективности предложенной системы оперативного управления сортировочным комплексом.

Научные результаты, полученные в диссертационной работе, а также разработанные модели и методы могут быть использованы при создании автоматизированной системы поддержки принятия решений оперативно-диспетчерским персоналом сортировочных комплексов станций.

**Ключевые слова:** сортировочный комплекс; расформирование составов, сортировочная горка с горбами различной высоты; управляемая система массового обслуживания.

### THE SUMMARY

Demchenko E. B. The stations sorting complexes efficiency increasing under the conditions of incoming train flow irregularity. – Manuscript.

Thesis for Ph.D. degree in the specialty 05.22.20 – maintenance and repair of transport facilities. Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnepropetrovsk, 2016.

The thesis is devoted to solving the scientific problem of the efficiency increase of stations sorting complexes under the conditions of train flow irregularity. In order to adapt the sorting process intensity to the incoming flow irregularity the sorting complex was regarded as controlled queuing system; and as a controlled parameter of the system had been selected the breaking-up speed. In addition, the usage of the specialized hump design with two crests placed at different levels was proposed for selecting the efficient breaking-up mode, which will reduce the energy consumptions.

The rational choice of breaking-up speed and hump type must be performed depending on the queue length at the arrival bowl. To solve this problem the Box-Wilson optimization methodology was used.

Work scientific results and developed models and methods can be used to create station automated decision support system for dispatchers.

**Keywords:** sorting complex; train breaking-up; hump with crests placed at different levels; controlled queuing system.

**ДЕМЧЕНКО ЄВГЕН БОРИСОВИЧ**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку 21.04.2016 р.  
Формат 60x84 1/16. Ум. др. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,0.  
Тираж 100 прим. Замовлення № 129.

Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №1315 від 31.03.2003

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