

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. 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 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 вагопотоків 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 позовжнього 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, 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» (Одесса-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.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ СТАНЦІЙ

Одним з основних елементів системи організації перевізного процесу на залізницях є сортувальні станції, від ефективності роботи яких суттєво залежать показники роботи галузі в цілому. Першочерговим завданням роботи сортувальних станцій є переробка поїздів, що прибувають в розформування. При цьому концентрація всіх технологічних операцій, пов'язаних з обслуговуванням составів таких поїздів та їх наступним розформуванням, припадає на так звані сортувальні комплекси, які включають в себе парк прийому, сортувальну гірку і сортувальний парк.

У зв'язку з цим, в сучасних умовах, які характеризуються нестабільністю обсягів перевезень, необхідністю зниження собівартості переробки вагонів і експлуатаційних витрат залізниць, підвищення ефективності роботи сортувальних комплексів станцій є актуальним завданням.

1.1 Аналіз шляхів підвищення ефективності роботи сортувальних комплексів

Як показав аналіз, в теперішній час підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій 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.

1.1.1 Концентрація переробки вагонопотоків

Одним з перспективних для сортувальних станцій сьогодні вважається принцип концентрації переробки вагонопотоків, програмні шляхи впровадження якого закладені в [83]. Як зазначають автори [96], на теперішній час ефективність роботи сортувальних станцій з існуючим рівнем автоматизації та механізації знижується: з одного боку, утворилася потужність, що не використовується, з іншого – зростаючий знос засобів автоматизації та механізації призводить до зростання експлуатаційних витрат та погіршення якості роботи. Тому виникає необхідність реорганізації роботи станцій та концентрації переробки вагонів на меншій їх кількості – так званого принципу «технічного канібалізму», що розглянутий автором [37].

Виходячи з практики експлуатації сортувальних станцій та розробки планів формування поїздів авторами [148] сформульовано основоположний принцип інтенсифікації роботи сортувальних станцій в XXI сторіччі: «Найбільш доцільним слід вважати посилення потужності великих сортувальних станцій при концентрації переробки вагонопотоків на меншій кількості високооснащених гіркових сортувальних комплексів».

Автором [91], на основі принципів [83], запропонована програма реорганізації роботи існуючих на мережі Укрзалізниці 36 сортувальних станцій. Перший етап виконання даної програми передбачає переведення на денний режим роботи 19 станцій (26 сортувальних систем), на яких переробляється 35 % вагонопотоків мережі і які мають завантаження близько 50 %. Обов'язковою умовою для цього є організація ущільненого підведення поїздів в нічну зміну. Це дозволить забезпечити наявність певної кількості ресурсу вагонів для роботи з розформування-формування поїздів на початок денної зміни і вивільнити від сортувальної роботи технічні засоби та персонал в нічну зміну, що дасть значну економію експлуатаційних витрат. Крім того, передбачається першочергове формування й відправлення дальніх і наскрізних поїздів, а відправлення інших сформованих поїздів – переважно наприкінці та після денної зміни. Це забезпечить економію за зонними тарифами на електроенергію для

тяги поїздів та вказане вище ущільнене підведення поїздів до станції розформування. Технологія сортувальних станцій з транзитними поїздами залишається без змін.

За оцінками [91] реалізація вказаних заходів дозволить: вивільнити 720 працівників нічних змін; вивести з маневрової роботи сортувальних станцій 20 маневрових локомотивів, що були задіяні перед тим у нічну зміну; скоротити простої транзитного вагона з переробкою на сортувальній станції в середньому на 1,36 год; зменшити потребу у робочому парку вагонів на 650 вагонів щодоби. Це дозволить отримати річний сумарний економічний ефект для Укрзалізниці в розмірі 120,4 млн. грн.

В той же час, процес скорочення кількості сортувальних станцій вивчений не в повній мірі, оскільки за існуючої мережі станцій, кожна з них взаємодіє з багатьма іншими. Крім того, таке скорочення тягне за собою серйозні соціальні наслідки, тому воно повинно проводитися максимально помірено та обгрунтовано.

1.1.2 Удосконалення конструктивно-технологічних параметрів сортувальних пристроїв

Іншим напрямком підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій є удосконалення параметрів сортувальної гірки (СГ). З аналізу, проведеного авторами [6], можна зробити висновок, що основною метою досліджень, виконаних в даному напрямку за часів СРСР, було підвищення ефективності їх функціонування в умовах інтенсивного приросту обсягів переробки вагонопотоків, яке досягалось за рахунок прискорення сортувального процесу. При цьому основна увага приділялась розрахунку поздовжнього профілю спускної частини СГ, нормативи та методика виконання якого наведені в [124].

Роботи [121, 122, 123] направлені на удосконалення методики [124] в частині уточнення та більш повного врахування випадкових факторів, що діють на процес розформування составів. Так, автором [121] пропонується замінити розрахункові бігуни відчепом з випадковими характеристиками, які задаються

за допомогою законів розподілу випадкових величин. У роботі [122] виконано аналіз існуючих нормативів питомого опору руху відчепів на спускній частині сортувальної гірки. Зроблено висновок, що використання існуючих нормативів при розрахунку ухилів швидкісних ділянок не виключає випадків перевищення допустимої швидкості входу відчепів на уповільнювачі першої гальмівної позиції. В роботі [123] запропонована методика розрахунку ухилів ділянок спускної частини і висоти СГ, режимів гальмування, потужності гальмових позицій і швидкості розпуску составів з урахуванням випадкових ходових властивостей відчепів. Випадковий характер ходових властивостей відчепів враховується шляхом використання функції розподілу ймовірностей сумарного питомого опору руху відчепів та імовірнісних показників, що характеризують роботу гірки. В статті [8] наведено методику оптимізації параметрів сортувальної гірки за ймовірністю докочування відчепів до розрахункової точки і ймовірністю розділення відчепів на стрілками.

Крім того, в роботі [121] пропонується замість рекомендованого [124] увігнутого профілю СГ використовувати ступінчастий. Автор вважає, що в багатьох випадках ступінчастий профіль (профіль, в якому гальмівні позиції розташовані на більших ухилах, ніж друга швидкісна та проміжна ділянки) забезпечує кращі технологічні характеристики гірки. Слід зауважити, що ступінчастий поздовжній профіль СГ не заборонений [124] і навіть приведений в якості прикладу в [119]. В той же час в роботі [50] зазначається, що ступінчастий профіль погіршує умови руху відчепів з довгобазних вагонів.

Автором [31, 32] розглянута можливість оптимізації профілю головної частини СГ за умовою рівності розрахункової швидкості розпуску для обмежувачів розділових елементів: першої розділової стрілки та уповільнювачів верхньої гальмової позиції (ВГП). Встановлено, що для конкретної конструкції плану головної частини СГ існує єдине оптимальне поєднання ухилів насувної і спускної частин гірки, що забезпечує максимальну швидкість розпуску.

1.1.3 Впровадження ресурсозберігаючих технологій переробки вагонопотоків.

Відомо, що значна частина експлуатаційних витрат на сортувальних станціях припадає на виконання технологічних операцій з розформування составів поїздів. У цьому зв'язку актуальними є дослідження, спрямовані на економію енергоресурсів при виконанні сортувальної роботи. В теперішній час пошук шляхів вирішення зазначеної проблеми ведеться за декількома напрямками [14]:

- удосконалення конструкції плану та профілю сортувальних гірок;
- оптимізація режимів гальмування відчепів;
- розробка нових та модернізація існуючих вагонних уповільнювачів;
- вибір раціонального типу маневрового локомотиву та ін.

Проблема забезпечення ресурсозбереження при розформуванні составів розглядається в [103, 113, 155, 156]. У [113] показано, що оптимальні конструктивно-технологічні параметри сортувальних гірок відповідають мінімально можливій їх висоті; при цьому буде забезпечено мінімум приведених річних витрат. В той же час зменшення висоти СГ призведе до відповідного зниження її переробної спроможності, що, як наслідок, призведе до збільшення тривалості простою рухомого складу в періоди згущеного прибуття поїздів в розформування.

Одним з можливих шляхів вирішення вказаної проблеми є спорудження суміщених гірок різної висоти. Як показав аналіз, існує декілька прикладів використання таких сортувальних пристроїв. Так, в роботі [35] на СГ станцій, що знаходяться в зонах низьких температур, колії насуву запропоновано розташовувати в різних рівнях, розрахованих для роботи в зимових та літніх погодних умовах.

Авторами [58] з метою скорочення експлуатаційних витрат на розформування составів представлено проект перевлаштування СГ з однією колією насуву на сортувальній станції Батайськ (РФ) в суміщену гірку. Вказаним про-

ектом передбачено, що для переробки порожніх вагонів необхідно реконструювати існуючу СГ шляхом збільшення її висоти та демонтажу першої та другої (для 1-го та 2-го пучків колій сортувального парку (СП)) гальмових позицій. Розформування составів навантажених вагонів пропонується виконувати на колії 3-го пучка СП з гірки малої потужності, яку слід спорудити паралельно існуючій СГ; при цьому не забезпечується можливість розпуску з кожної гірки на всі сортувальні колії. Економічний ефект від впровадження суміщеної гірки планується отримати за рахунок скорочення енерговитрат на гальмування відчепів та поточних витрат на утримання уповільнювачів і компресорного обладнання. Як видно, вказані технічні рішення носять специфічний характер та не можуть бути в повній мірі використані з метою скорочення енерговитрат на переробку вагонопотоків на станціях України.

Енергетичні витрати при розформуванні составів складаються з витрат палива на насув та електроенергії на гальмування відчепів. Автором [140] виконано аналіз поздовжнього профілю насувної частини існуючих на мережі залізниць України гірок; при цьому встановлено, що конструкція насувних частин гірок в більшості випадків не відповідає вимогам [124]. В роботах [38, 48, 110] проведено обґрунтування і вибір раціонального варіанту конструкції насувної частини гірок за критерієм мінімізації енергетичних витрат на насув составів. При цьому слід зауважити, що моделі, які було використано у вказаних роботах, побудовані на основі спрощеного алгоритму імітації роботи гіркових локомотивів, що вносить істотні похибки у визначення величини витрат палива.

Як показав аналіз [14], понад 80 % всіх витрат на розформування составів складають витрати електроенергії на гальмування вагонів гірковими уповільнювачами. У зв'язку з цим постає проблема оптимізації режимів гальмування відчепів, вирішенню якої присвячено роботи [11, 12, 15, 16, 77, 114]. В даних роботах встановлено, що для кожного відчепу існує область допустимих режимів гальмування (ОДР), на основі чого запропоновано ітераційний метод оптимізації режимів гальмування всіх відчепів составу. Вказаний метод було

удосконалено на предмет врахування невизначеності параметрів відчепів та характеристик навколишнього середовища [75, 76, 79], умов розділення несуміжних відчепів на стрілках [18], забезпечення розділення відчепів на уповільнювачах [17, 162].

В сучасних умовах більшість сортувальних гірок, що експлуатуються на мережі залізниць, представляють собою механізовані комплекси, які обладнані пристроями регулювання швидкості відчепів – вагонними уповільнювачами [69]. Переважна кількість вказаних пристроїв розроблена декілька десятиріч тому та до теперішнього часу фізично та морально застаріла. Так, 90 % парку уповільнювачів, що експлуатується, фізично зношені та потребують повної заміни або капітального ремонту [69, 70]. Враховуючи вказані обставини, можна зробити висновок, що технічний стан переважної більшості сортувальних комплексів вимагає невідкладної заміни уповільнювачів, які відробили свій ресурс, новітньою гальмівною технікою, яка б відповідала сучасним вимогам надійності, економічності, металоємності, швидкодії, а також потрібної трудомісткості для її обслуговування. З цією метою можуть бути використані сучасні балочні уповільнювачі вітчизняного виробництва НК-114 [86], КЗ-5 [72], точкові уповільнювачі [71, 97, 105], високоенергетичні магніти [70, 94].

Автором [53] запропонована методика комплексного розрахунку конструктивних параметрів сортувальних гірок, яка дозволить отримати оптимальну потрібну потужність вагонних уповільнювачів, що, свою чергу, дозволить привести у відповідність енерговитрати та розміри переробки вагонів.

1.1.4 Комплексна автоматизація сортувального процесу

Одним з основних напрямків підвищення ефективності функціонування сортувальних систем є комплексна автоматизація процесу розформування составів. Для вирішення вказаної задачі потрібно не лише замінити елементну базу технічних пристроїв, а й підходи до керування об'єктами [82].

Аналіз, проведений в роботах [129, 130] показав, що системи автоматизації, що експлуатуються в теперішній час, морально та фізично застаріли;

пристрої мають низький рівень інформаційного забезпечення, що унеможливує їх подальшу модернізацію. Автором [82] зазначено, що технічні рішення, які покладені в основу більшості пристроїв, виключають перехід на автоматизований режим їх управління. Наприклад, контроль за переміщенням відчепів на базі нормально-розімкнених рейкових кіл передбачає візуальний контроль за процесом розпуску з боку гіркових операторів. Аналогічний висновок можна зробити відносно апаратури управління уповільнювачами, яка сьогодні не має контролю реального гальмування відчепу, і, як наслідок, ці функції покладаються на оператора.

Для реалізації комплексного підходу до автоматизації сортувального процесу авторами [82, 149] розроблено наступний набір функціональних підсистем: гіркову автоматичну локомотивну сигналізацію з передачею інформації через радіоканали та телеуправлінням гірковим локомотивом (ГАЛС Р), гірковий програмно-запам'ятовуючий пристрій, гіркову автоматичну централізацію з веденням накопичення вагонів (ГАЦ-МН), пристрій керування прицільним гальмуванням, мікропроцесорну систему автоматизованого регулювання швидкості скочування відчепів (АРС) та ін. Авторами вказано доцільний рівень оснащення сортувальної гірки засобами автоматизації в залежності від добових обсягів переробки вагонів на ній. Використання вказаних систем дозволяє значно підвищити ефективність та безпеку сортувального процесу. В той же час дані підсистеми не виконують функцій підтримки рішень оперативно-диспетчерського персоналу сортувального комплексу, від якості та своєчасності яких в значній мірі залежать показники його роботи.

Одним з можливих шляхів вирішення вказаної проблеми є впровадження інформаційних технологій та управляючих систем, які дозволять суттєво підвищити якість планування експлуатаційної роботи. У відповідності до цього положення на окремих станціях впроваджено комплексну систему автоматизованих робочих місць, єдиний програмно-технічний комплекс автоматизованої системи керування станцією (АСК) розробки ОАО «ЦИТТРАНС», автоматизовану систему прогнозування поїздоутворення «Кассандра» [2] та ін.

Вказана система прогнозування поїздоутворення дозволяє на 12-годинний період розрахувати моменти закінчення формування составів з врахуванням наявності поїздів на ближньому і дальньому підходах до станції та забезпечує надання диспетчеру додаткової довідкової інформації. В той же час слід зазначити, що вказані системи підтримки прийняття рішень направлені, в першу чергу, на скорочення тривалості простою рухомого складу та не враховують можливість підвищення ефективності роботи станцій за рахунок скорочення енергетичних витрат в періоди зниження обсягів переробки.

1.2 Аналіз методів моделювання функціонування сортувальних комплексів

Для теоретичних досліджень процесу розформування составів, аналізу та оцінки показників роботи сортувального комплексу станції використовують моделювання процесу розформування та накопичення вагонів у сортувальному парку. Моделювання процесу функціонування сортувального комплексу за глибиною розгляду операцій сортувального процесу умовно можна розділити на такі рівні:

- моделювання скочування з гірки окремого відчепу;
- моделювання процесу розформування окремого составу;
- моделювання функціонування підсистеми розформування.

1.2.1 Моделювання скочування окремого відчепу

Процес скочування відчепів з гірки є одним з основних елементів сортувального процесу на станціях. Аналіз процесу скочування відчепів, а також розпуску составів необхідний як при проектуванні сортувальних гірок, так і при розробці автоматизованих систем управління розформуванням.

Автором [111] вперше виконані детальні аналітичні дослідження процесу скочування відчепів з гірки. В даній роботі була отримана система аналітичних виразів виду $\Delta s = f(v)$, кожне з яких представляє собою точне рішення диференціального рівняння руху відчепа при певному поєднанні факторів, що впливають на нього.

В роботі [151] була отримана найбільш загальна аналітична модель процесу скочування відчепів. Наведені в даній роботі диференціальні рівняння дозволяють моделювати скочування відчепів довільної довжини, в тому числі і неоднорідних. Зазначена модель була використана для виконання гіркових розрахунків.

В роботі [98] використана вагонна модель відчепа, яка дозволяє досліджувати процес скочування неоднорідних відчепів. Вказана модель дає можливість враховувати еквівалентний ухил, по якому рухається кожен вагон відчепа на кроці Δs . В роботі [19] для дослідження процесу розформування запропонована осьова модель відчепу, яка являє собою систему шарнірно з'єднаних матеріальних точок, що відповідають окремим колісним парам вагонів. Така модель дозволяє з достатньою точністю визначати всі сили (рушійні, сили опору, гальмівні), що діють на відчеп в процесі скочування.

В роботі [1] запропонована модель скочування відчепів, в якій розглядається їх рух як в горизонтальній, так і у вертикальній площинах. Відчеп розглядається як система матеріальних точок. Процес скочування неоднорідного відчепу з n вагонів описується системою $2n$ диференціальних рівнянь другого порядку. У даній роботі прийнято, що рух відчепу здійснюється при постійному опорі середовища і коефіцієнті тертя; опір від стрілок і кривих взагалі не враховується. Також необхідно зазначити, що профіль гірки представлений безперервними кривими: циклоїдою, а також параболою і експонентою.

Одним з основних елементів керованого скочування відчепів з гірки є їх гальмування уповільнювачами для забезпечення умов інтервального та прицільного регулювання швидкості. Дослідження даного процесу виконується, як правило, з використанням імітаційного моделювання. Так, в моделях [20, 136], гальмування вагонів на гальмових позиціях (ГП) імітується шляхом врахуванням величини w_T діючого на відчеп питомого гальмівного опору, яка встановлюється з використанням енергетичної висоти h_T . Слід зазначити, що виконання вказаного підходу при моделюванні роботи ГП має деякі недоліки, а

саме: не враховується принцип дії та особливості роботи уповільнювачів різних конструкцій (вагові, натискні); не враховується можливість виконувати гальмування відчепів в деякій зоні, яка визначається моментами включення і виключення уповільнювачів; не враховуються статистичні (залежності гальмівного зусилля і прискорення руху відчепа від тиску повітря в гальмових циліндрах уповільнювачів) і динамічні (зміни в часі тиску при перемиканні ступенів гальмування) характеристики уповільнювачів.

Опис процесу гальмування відчепів уповільнювачами різних типів виконано в роботі [33]. Також в даній роботі були розглянуті принципи моделювання процесу гальмування в перехідних режимах (при включенні і виключенні уповільнювачів під вагонами).

На основі теоретичних та експериментальних досліджень в [127] виконана формалізація і побудована імітаційна модель процесу скочування відчепа при регульованій зоні гальмування з врахуванням параметрів уповільнювачів і особливостей їх конструкції. Керуючими параметрами в цій моделі є координата точки початку гальмування і довжина зони гальмування, які можуть бути або задані, або визначені з умов забезпечення питомої роботи гальмівних сил h_r , заданої швидкості виходу відчепа з ГП $V_{вих}$, заданої швидкості відчепа в точці прицілювання $V_{прц}$ або необхідної величини інтервалу δt на розділовому елементі σ . Запропонована модель дозволяє більш повно враховувати фактори, що впливають на процес скочування, при вирішенні задач інтервального регулювання швидкості відчепів і визначення витрат на їх гальмування.

Основні принципи побудови стохастичної імітаційної моделі цифрової системи управління уповільнювачами ГП наведені в [59]. Виконаний аналіз показав, що найбільш якісне моделювання руху відчепа на ГП при різних режимах роботи сповільнювачів ГП може бути виконане при постійному кроці за часом.

В роботі [26, 60] розроблені моделі сповільнювачів різного принципу дії (натискні, вагові). Дані моделі дозволяють більш детально імітувати процеси

регулювання швидкості відчепів і визначити енерговитрати, пов'язані з роботою гальмових позицій. В [145] були сформульовані основні вимоги до алгоритму управління уповільнювачами.

В роботі [154] було запропоновано універсальний модуль управління ГП. На кожній ГП модуль виконує адаптивне управління, що враховує реальну динаміку руху відчепів. Основним завданням запропонованого адаптивного керування гальмовою позицією є забезпечення прицільного гальмування відчепів на всіх ГП.

В роботі [92] запропонований принцип управління гальмовими позиціями на сортувальних гірках на основі оцінки енергетичних характеристик відчепів, яку отримують від датчиків системи управління при вході вагонів на ГП. При цьому гальмування відчепа здійснюється з використанням еталонного алгоритму керування ГП, який відповідає фіксованій енергетичній характеристиці відчепа. Вказаний евристичний метод в більшості випадків дає прийнятне рішення.

1.2.2 Моделювання процесу розформування окремого составу

Процес розформування составів складається зі взаємопов'язаних операцій насуву составів на гірку та розпуску вагонів на сортувальні колії. В цьому зв'язку для оцінки якості сортувального процесу вказані операції необхідно розглядати комплексно. В той же час, як показав аналіз [21], в теперішній час задачі удосконалення процесу насуву, як правило, вирішуються окремо від підвищення ефективності розпуску составів.

1.2.2.1 Більшість досліджень процесу насуву составів присвячено вибору ефективного режиму роботи локомотивів та удосконаленню конструкції насувної частини гірки з метою скорочення витрат палива. Основні теоретичні положення щодо визначення режимів роботи локомотивів при виконанні різних видів маневрів наведені в [61]. Зокрема, автором вказаної роботи пропонується методика вибору режиму насуву, оптимального за критерієм загальних витрат на один гірковий цикл. При цьому для визначення тривалості маневрових операцій використовувалися тягові розрахунки.

Вказана методика авторами [110, 141] була удосконалена на предмет врахування послідовного зменшення маси складу під час розпуску та безперервного характеру зміни опору руху в процесі насуву. У роботі [9] додатково враховувалася реалізація змінної швидкості розпуску. При цьому питома сила тяги тепловоза визначалася для різних значень маси маневрового складу виходячи з потужності, що розвивається локомотивом на максимальній позиції контролера ($n_k = 8$).

В той же час, маневрові пересування на 8-й позиції згідно зі статистичними даними [109] складають не більше 0,8 % від сумарного часу роботи маневрових тепловозів. Крім того, режим роботи тепловозів на сортувальній гірці відрізняється частою зміною положення контролера: при насуві складу може виконуватися до 40 таких переключень [34].

Одним з можливих способів врахування вказаних умов роботи гіркових локомотивів є застосування розроблених автором [43] маневрових тягових характеристик. Однак дані тягові характеристики, що представляють собою емпіричні залежності питомих прискорюючих зусиль від швидкості руху, лише частково враховують особливості перехідних режимів розгону маневрового складу і тому можуть використовуватися тільки для орієнтовних розрахунків. Незважаючи на це, слід зазначити, що підхід, запропонований в [43], є якісно новим застосуванням тягових розрахунків для нормування маневрових операцій.

Автором [106] запропонована методика тягових розрахунків для маневрової роботи, на основі якої в [107] розроблено алгоритм тягових розрахунків для насуву та розпуску складів на сортувальній гірці. При цьому сила тяги маневрового тепловоза визначалася за частковими (проміжними) характеристиками, які можуть бути реалізовані за умовами зчеплення при нульовій швидкості і далі за наступними проміжними характеристикам аж до виходу на автоматичну (зовнішню) характеристику. Такий підхід до моделювання режимів роботи локомотивів найбільш точно відповідає умовам їх експлуатації і тому може бути прийнятий за основу при моделюванні розформування складів на

гірці. В той же час в роботах [106,107] дана методика викладена недостатньо детально, що не дозволяє оцінити її ефективність.

У роботах [38, 48, 110] проводилися дослідження роботи гіркових локомотивів з метою пошуку такої конструкції плану та поздовжнього профілю насувної частини гірки, яка б дозволила мінімізувати енергетичні витрати, пов'язані з розформуванням составів. В той же час рекомендації з вибору енергоефективного режиму насуву составів в даних роботах відсутні.

В роботі [7] розроблено методику визначення енерговитрат гіркових електровозів ВЛ8. Методика передбачає застосування тягових розрахунків для нормування енерговитрат гіркових електровозів при виконанні розформування составів. Крім того автором детально розглянуто методику визначення величини основного питомого опору составу при виконанні маневрових операцій, пов'язаних з розформуванням.

На основі методики [7] в роботі [120] розроблено математичну модель роботи електровоза ВЛ8 при виконанні гіркових операцій, яка реалізована в середовищі *Mathcad*. З використанням розробленої моделі виконано моделювання процесу насуву составу гірковим електровозом; при цьому дослідження проводились для різної маси составів та кількості відчепів в них при різних режимах розгону. Авторами встановлено, що при незначній довжині і масі составів енерговитрати при різних режимах розгону гіркового локомотива відрізняються незначно, а зі збільшенням маси составів найбільш економічним є швидкий режим розгону локомотива. В той же час в даній моделі не враховується вплив ухилу колій парку прийому та колії насуву на вибір необхідного режиму роботи гіркового локомотива. Крім того слід зазначити, що для розформування составів на гірці в основному використовуються не поїзні електровози, а маневрові тепловози.

В роботі [49] авторами виконано аналіз динаміки зміни витрат палива, електроенергії на один розформований состав на сортувальних станціях Донецької залізниці. Зроблено висновок про нераціональне використання гіркових

локомотивів. У цьому зв'язку авторами розроблений алгоритм визначення витрат паливно-енергетичних ресурсів сортувальної гірки. Він дозволяє перед розпуском составу вибрати раціональний режим роботи локомотива. В той же час зі статті не зрозуміло, які вихідні дані необхідні для виконання розрахунків за вказаним алгоритмом.

В роботі [65] виконана оцінка техніко-економічних показників використання маневрових тепловозів для виконання маневрової роботи на сортувальній гірці. Оцінка показників експлуатаційної роботи і показників енергоспоживання виконувалася для маневрових тепловозів ЧМЭЗ, ЧМЭЗП, ТЭМ103 на основі тягових розрахунків. Як виявилось, кращі показники паливної економічності при виконанні маневрової роботи на гірці показав тепловоз ТЭМ103.

В роботі [10] автором були виконані дослідження режимів роботи ряду маневрових локомотивів на сортувальних гірках. При виконанні досліджень були розглянуті як маневрові тепловози, так і електровози. Дослідження режимів роботи гіркових локомотивів виконувалися з составами різної маси. В результаті було встановлено, що маневровий тепловоз ЧМЭЗ цілком відповідає умовам гіркової роботи. Для роботи в зоні низьких швидкостей автором запропоновано створення дворежимних маневрових локомотивів з високим ККД.

В роботах [112, 152] з метою економії енергоресурсів на насув і розпуск составів запропоновано використовувати менш потужні гіркові локомотиви. При цьому розформування составів масою понад 2500 т провадиться шляхом ділення їх на частини, маса яких відповідає потужності локомотива. Вказаний спосіб не дозволить забезпечити високу інтенсивність сортувального процесу і, таким чином, є неефективним в періоди згущеного прибуття поїздів в розформування.

Реалізація конкретного режиму насуву составів залежить від дій машиніста гіркового локомотива. Тому окрім фізичної стороною процесу насуву составів на гірку, необхідно враховувати й біхевіоральні фактори. Для цього необхідно формалізувати керуючі дії машиніста в процесі насуву та розпуску составів.

В роботах [43, 44] запропонована модель автомашиніста, в якій передбачається, що машиніст при керуванні тепловозом повинен дотримуватись ряду вимог, що забезпечують безпеку експлуатації локомотива і проведення маневрової роботи. Так, основною умовою при розгоні, на думку авторів, є плавність руху, яка досягається шляхом послідовного збільшення сили тяги і обмеження її по максимально допустимому прискоренню. З цією метою були розглянуті два режими переключення контролера: максимальний і сповільнений. Рішення про застосування того чи іншого режиму переключення для окремої серії локомотива пропонується приймати перед кожним напіврейсом виходячи з маси маневрового состава. При максимальному режимі набір позицій здійснюється з мінімально допустимою за умовами безпечної експлуатації тепловозів затримкою контролера в кожному положенні (3 с). Сповільнене переключення контролера виконується так, щоб прискорення при розгоні не перевищувало $0,1-0,2 \text{ м/с}^2$.

Автором [44] в результаті аналізу масових тягових розрахунків знайдена емпірична залежність, яка дозволяє встановити позицію, при якій забезпечується рівномірний рух із заданою швидкістю. Однак на практиці неможливо знайти таке положення контролера, яке б забезпечувало даний баланс прискорюючих і сповільнюючих сил. Потрібна ж потужність локомотива в більшості випадків знаходиться між двома суміжними позиціями контролера. В роботі [153] пропонується з двох таких суміжних позицій вибирати ту, яка забезпечує дещо меншу потужність, щоб не перевищити в процесі подальшого руху допустиму швидкість.

На ефективність сортувального процесу істотно впливає прийнятий тип напіврейсу насуву, який характеризується комбінацією різних режимів роботи гіркового локомотива. Авторами [9, 61, 110] з метою скорочення тривалості гіркового циклу для насуву як основний прийнято напіврейс типу «розгін - рух за інерцією» (PI). В роботах [43, 44] напіврейс типу PI на основі великої питомої ваги елемента "рух за інерцією" в його загальній тривалості характеризу-

ється як найбільш ефективний за витратами палива. Дане припущення є справедливим при виконанні маневрів на ділянках зі сприятливим профілем і достатньою для розгону довжиною маршруту. В той же час на гірках маневровому составу для подолання підйому насувної частини при відносно невеликій довжині маршруту (200-300 м) необхідно надати досить високе прискорення. Вказана обставина зводить до мінімуму використання режиму вибігу в напіврейсі насуву, а при значній масі составу в поєднанні з несприятливими умовами зчеплення повністю його виключає. Крім того, реалізація напіврейса типу РІ на практиці є досить складною задачею і вимагає обладнання маневрових локомотивів допоміжними приладами.

1.2.2.2 Більшість існуючих моделей процесу розпуску составів призначена для визначення ефективного режиму гальмування відчепів та дослідження впливу параметрів гірки на показники якості сортувального процесу; при цьому насув составу на гірку розглядався лише з метою перевірки можливості реалізації змінної швидкості розпуску.

Так, в роботах [101, 136, 137] запропонована імітаційна модель розпуску, яка дозволяє імітувати всі елементи сортувального процесу, а також роботу обладнання СЦБ, вимірювальної апаратури та пристроїв управління розпуском. При цьому враховується стохастичний характер потоку відчепів, а також похибки вимірювання параметрів і величин керуючих впливів у процесі розпуску. В моделі використовується синхронний принцип моделювання, який передбачає використання часу в якості незалежної змінної. При цьому на кожному кроці імітуються всі зміни, що відбуваються як на гірці, так і в системі управління розпуском. До недоліків моделі слід віднести представлення відчепів без поділу на окремі вагони, які можуть мати різні параметри. Крім того, запропонована модель не дозволяє імітувати процес проштовхування вагонів на сортувальних коліях.

В роботі [67] автором наведені загальні принципи побудови імітаційної моделі гірки, призначеної для дослідження управління розпуском в автомати-

зованих системах. У запропонованій моделі використовуються диференціальні рівняння руху відчепів, розв'язувані чисельними методами. Алгоритм моделювання дозволяє визначати момент відриву відчепів від составу, контролювати нагін і швидкість співударяння відчепів, рух об'єднаних відчепів, а також зупинку відчепів на сортувальних коліях. У модель також включені алгоритми управління розпуском, що реалізовані в системах ГАЦ і АРС.

В роботі [99] наведена модель розпуску составів зі змінною швидкістю, що задається за допомогою системи АЗСР. Моделювання руху составу здійснюється з використанням наближеного рішення диференціального рівняння руху поїзда. Скочування відчепів здійснюється по чергово з використанням моделі [100]. Режими гальмування на неавтоматизованих гірках визначалися з умови забезпечення допустимої швидкості зіткнення вагонів на сортувальних коліях при рівномірному розподілі гальмування між позиціями. По закінченні моделювання скочування відчепів визначалися інтервали часу на ізольованих ділянках стрілок і гальмових позицій.

У моделі розпуску [118] здійснюється роздільне по чергове скочування кожного відчепу, при якому ітераційним методом здійснюється підбір режимів гальмування цього відчепу. Вибір режимів гальмування відчепу здійснюється за умовами його розділення з попереднім відчепом на гальмових позиціях і розділовій стрілці. При невиконанні умов інтервального або прицільного регулювання для даного відчепу, відбувається зниження його початкової швидкості, і всі розрахунки повторюються. Після визначення початкових швидкостей всіх відчепів проводиться їх корегування за тяговими характеристикам гіркового локомотива. У розглянутій роботі передбачено статистичне моделювання параметрів відчепів, а також гальмівної потужності уповільнювачів, випадкові значення якої визначаються для кожного відчепу.

1.2.3 Моделювання функціонування підсистеми розформування

Як показав аналіз, в більшості випадків для моделювання функціонування станцій та їх окремих підсистем застосовується математичний апарат теорії масового обслуговування. Вперше вказаний підхід було запропоновано

в дослідженнях [116, 144], які стали основою фундаментальної роботи з теорії моделювання транспортних систем [117]. В даній роботі сформульовані загальні принципи формалізації станцій та вузлів; при цьому станція розглядалася як багатофазна система масового обслуговування (СМО). З цією метою структура станції представляється у вигляді набору різних технологічно пов'язаних блоків, кожному з яких відповідає певна фаза обслуговування заявки. З використанням вказаної моделі методом статистичних випробувань можливо отримати кількісну оцінку роботи станції при різних умовах її функціонування.

Автором [146] розроблено модель сортувальної станції з випадковим вхідним потоком поїздів. Для кожного поїзда визначається набір параметрів, що визначають технологію і тривалість його обслуговування. Як і в [117], станція представляється набором взаємопов'язаних блоків, що моделюють певну фазу обслуговування вимоги. Моделювання тривалості перебування вимоги в кожній фазі виконується без врахування окремих технологічних операцій, що є недоліком запропонованого методу, оскільки не забезпечує достатню адекватність вказаної моделі.

Автором [40] використано методи теорії масового обслуговування для дослідження роботи парку прийому сортувальної станції; при цьому розглядався найпростіший вхідний потік заявок, а тривалість обслуговування прийнята постійною. Слід зазначити, що вказані параметри потоку вимог та процесу їх обслуговування не відповідають реальним умовам роботи сортувальних комплексів, що суттєво знижує ефективність запропонованої моделі.

Теорія масового обслуговування також широко використовується для оцінки технічного оснащення та ефективності роботи сортувальних станцій. Так роботах [132, 134] побудовано модель сортувальної станції як багатоканальну багатофазну СМО; при цьому враховувались імовірнісний характер потоків вимог та процесу їх обслуговування. За допомогою вказаної моделі автором [132] запропоновано методику визначення оптимального за економічним критерієм оснащення підсистем станції. В роботі [134] досліджується ефективність заходів, щодо інтенсифікації станційних процесів. В той же час в

даних робота не розглядається можливість оперативного керування процесом обслуговування для скорочення експлуатаційних витрат станції.

В роботі [39] використовується модель, в основу якого покладено метод динаміки середніх. На основі даного методу розроблені моделі для визначення оптимальної кількості колій і маневрових локомотивів на станції. При цьому обслуговування вимог маневровим локомотивом розглядається як марковський процес, стани якого описуються системою рівнянь Колмогорова. Теорія марковських процесів, завдяки своїй відносній простоті, досить широко використовується при моделюванні функціонування залізничних об'єктів, при цьому приймається ряд допущень про параметри вхідного потоку поїздів та процес їх обслуговування. Тому моделі, побудовані на основі такого підходу, можуть бути використані тільки одержання орієнтовних даних про характер функціонування систем.

Моделі станції [46, 47] призначені для прогнозування її роботи в різних умовах і при виборі варіантів технічних рішень; при цьому для визначення параметрів вхідних потоків вимог і тривалості їх обслуговування використовується теорія ймовірностей. можуть бути використані. Недоліком вказаних моделей є укрупнене представлення технологічних процесів обробки поїздів і вагонів у парках станції, що не дозволяє з достатньою точністю визначати показники роботи станцій.

Автором [62] побудовано імітаційну модель сортувальної станції для для нормування показників її функціонування, а також аналізу якості роботи оперативної зміни. З цією метою, на початку зміни за прогнозними даними про підхід поїздів і вагонів виконується моделювання роботи станції. Аналіз виконується на основі порівняння показників роботи станції, отриманих за результатами роботи зміни і в результаті моделювання роботи станції.

В роботах [73, 150] запропонована система моделювання роботи сортувальної станції ІСТРА. Імітаційна модель, що входить до складу вказаної системи, використовується для оперативного планування роботи станції в оперативних умовах; при цьому робота системи направлена на вибір ефективної

черговості обслуговування вимог. При виконанні моделювання враховується керуючий вплив диспетчерського персоналу.

В роботах [24, 25, 81] розроблено ергатичні моделі станцій; при цьому для формалізації роботи транспортних об'єктів використовувався апарат детермінованих скінченних автоматів. Це дозволило адекватно моделювати функціонування залізничних станцій всіх типів без обмежень за складністю і структурою їх технологічного процесу та забезпечило можливість інтерактивної участі людини-диспетчера в процесі моделювання. Такий підхід дозволяє врахувати управлінську діяльність персоналу при визначенні показників роботи транспортних об'єктів. В той же час, отримані показники функціонування суттєво залежать від рівня професійної підготовки людей, що залучаються до моделювання.

Іншим широко поширеним підходом до моделювання функціонування станції є використання з цією метою мереж Петрі. Технологічний процес обробки поїздів в таких моделях представляється послідовністю позицій і переходів; при цьому переходи імітують обслуговування об'єктів, а позиції характеризують поточний стан системи і визначають умови переходів. При виконанні умов перехід спрацьовує, внаслідок чого змінюється поточна розмітка мережі.

Авторами [102, 104] розроблено методику представлення комплексу «сортувальна станція - прилеглі ділянки» у вигляді мережі Петрі. Розроблена методика допускає будь-яку ступінь деталізації досліджуваної системи за рахунок ускладнення структури мережі Петрі. Модель допускає можливість задання, як постійних, так і випадкових параметрів вхідного потоку поїздів і системи обслуговування. За допомогою моделі можна фіксувати стан системи в довільний момент часу, а також визначити за результатами моделювання показники її роботи. Є можливість дослідження моделі шляхом варіювання окремих її параметрів.

З використанням вказаної методики в [87] розроблено модель підсистеми розформування сортувальної станції, за допомогою якої було виконано

дослідження функціонування однієї зі станцій України. На основі аналізу результатів досліджень запропоновано рекомендації щодо удосконалення технічного оснащення і технології роботи станції.

В [115] на основі мереж Петрі розроблено імітаційну модель залізничної станції, яка використовується для прогнозування показників її роботи при змінних умовах шляхом автоматизованої побудови графіка виконаної роботи.

Використання мереж Петрі дозволяє значно спростити процес створення моделей транспортних об'єктів. Разом з цим, як недолік слід відзначити що такі моделі не дозволяють обирати раціональну тривалість виконання окремих технологічних операцій.

1.3 Постановка задач досліджень. Структура, послідовність та методи їх проведення

Як показав аналіз, підвищенню ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій присвячено ряд наукових публікацій, в яких сформульовано методичні підходи, математичні моделі та методи вирішення даної проблеми. При цьому слід зауважити, що 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 падіннями обсягів перевезень та зміною структури і параметрів вагонопотоків, першочерговими стають проблеми скорочення експлуатаційних витрат, пов'язаних з розформуванням составів вантажних поїздів.

Загальноприйнятими підходом до організації сортувального процесу є забезпечення високої швидкості розформування составів, що в періоди зменшення потоку поїздів в розформування є неефективним. У цьому зв'язку метою дисертаційної роботи визначено 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. При цьому об'єктом дослідження є

процес розформування-формування составів вантажних поїздів на сортувальних гірках, а предметом дослідження обрано взаємозв'язок швидкості розпуску составів та параметрів сортувальної гірки з показниками роботи сортувального комплексу в умовах змінної інтенсивності вхідного потоку поїздів в розформування.

Поставлена мета досягається в результаті вирішення наступних задач:

- аналіз сучасних напрямків підвищення ефективності роботи сортувальних комплексів станцій;
- аналіз параметрів вхідного потоку поїздів в розформування, технічного оснащення та показників роботи сортувальних комплексів залізничних станцій України;
- аналіз і формалізація процесу насуву та розпуску составів на сортувальних гірках, удосконалення імітаційної моделі процесу розформування составів на сортувальних гірках;
- визначення методики розрахунку витрат палива на виконання насуву та розпуску составів на сортувальних гірках;
- визначення параметрів та оцінка ефективності спеціалізованої конструкції сортувальної гірки з двома горбами різної висоти;
- дослідження впливу швидкості розпуску составів та висоти сортувальної гірки на показники якості сортувального процесу при різних параметрах вхідного потоку поїздів в розформування;
- формалізація процесу функціонування та удосконалення імітаційної моделі сортувального комплексу як керованої системи масового обслуговування;
- розробка процедури вибору раціональної швидкості розпуску составів та типу сортувальної гірки в оперативних умовах.

Вирішити вказані задачі можливо з використанням наступних методів дослідження:

- імітаційне моделювання, чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь та теорія маневрової роботи – для моделювання процесів насуву та розпуску составів на сортувальну гірку, досліджень 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 – 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 – для розробки процедури вибору раціональної швидкості розпуску составів та типу сортувальної гірки в оперативних умовах.

1.4 Висновки за розділом 1

1. В теперішній час підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій проводиться за такими 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.

2. Конструкція переважної кількості сортувальних гірок, що мають декілька колій насуву, характеризується їх розташуванням в одному рівні. Існуючі технічні рішення з розташування колій насуву в різних рівнях носять специфічний характер та не можуть бути в повній мірі використані з метою скорочення енергетичних витрат станцій України на розформування составів.

3. Основним методом дослідження сортувальних комплексів є імітаційне моделювання їх функціонування, яке за глибиною розгляду операцій сортува-

льного процесу умовно поділяється на моделювання скочування з гірки окремого відчепу, моделювання процесу розформування окремого составу та моделювання функціонування підсистеми розформування.

4. При дослідженні сортувального процесу операція насуву составу на гірку моделюється, як правило, окремо від скочування вагонів на сортувальні колії. Існуючі моделі насуву побудовані з використанням методики тягових розрахунків для поїзної роботи і не в повній мірі враховують особливості роботи маневрових локомотивів на сортувальній гірці.

5. Найбільш поширеним підходом при моделюванні функціонування сортувальних комплексів є представлення підсистеми розформування у вигляді системи масового обслуговування; при цьому не враховується можливість керування інтенсивністю обслуговування вимог. Такий підхід не дозволяє розробити процедуру керування швидкістю розпуску составів з метою скорочення експлуатаційних витрат станцій. Таким чином задача оперативного вибору раціонального режиму функціонування сортувального комплексу в залежності від його поточного стану до теперішнього часу остаточно не вирішена.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ТА УМОВ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ СТАНЦІЙ УКРАЇНИ

2.1 Аналіз технічного оснащення сортувальних комплексів

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 (СГ). В теперішній час на мережі залізниць України функціонує 35 сортувальних станцій та 49 сортувальних гірок [5, 95].

Згідно [124] сортувальні пристрої в залежності від обсягів та структури перероблюваного вагонопотоку класифікуються за потужністю на: гірки малої потужності (ГМП), середньої потужності (ГСП), великої потужності (ГВП) та гірки підвищеної потужності (ГПП). Розподіл сортувальних гірок України за потужністю представлений на рис. 2.1

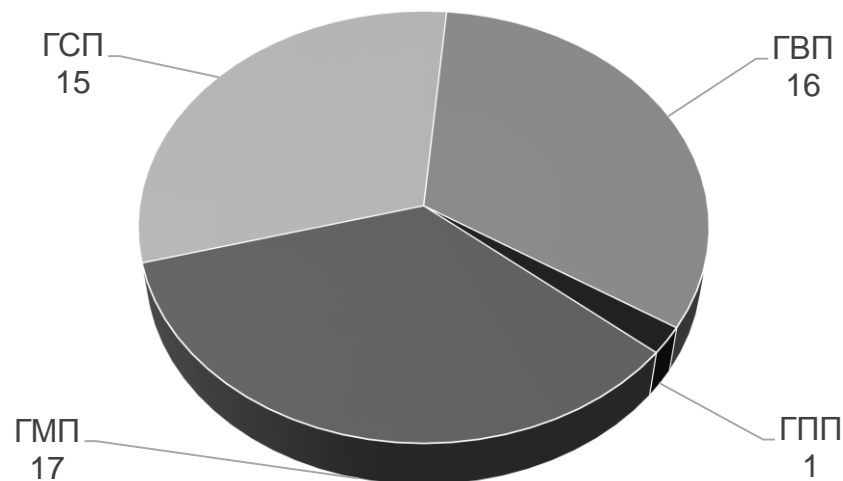


Рис. 2.1 – Розподіл сортувальних гірок України за потужністю

В той же час слід зазначити, що представлений розподіл сортувальних гірок за потужністю прийнято згідно з даними техніко-розпорядчих актів станцій та потребує уточнення; аналіз відповідності прийнятої на станціях класифікації гірок нормативам [124] виконано в роботі [5].

На мережі залізниць регіональної філії «Придніпровська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» функціонує 4 сортувальні станції: НД-Вузол, Кривий Ріг-Сортувальний, Запоріжжя-Ліве, Джанкой. Крім того, значний обсяг сортувальної роботи виконується на дільничній станції Верхівцеве Дніпропетровської дирекції. Технічне оснащення сортувальних комплексів вказаних станцій представлена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

**Характеристика сортувальних комплексів станцій
РФ «Придніпровська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця»**

Назва станції	Тип СГ	Кількість колій		Кількість маневрових локомотивів	
		насуву	сортувальних	гіркових	в хвості сортувального парку
Нижньодніпровськ-Вузол (непарна система)	ГСП	1	32	1	1
Нижньодніпровськ-Вузол (парна система)	ГСП	1	16	1	1
Кривий Ріг-Сортувальний	ГСП	1	26	2	1
Запоріжжя-Ліве	ГВП	1	24	1	2
Джанкой	ГСП	1	18	1	1
Верхівцеве	ГСП	1	18	1	1(2)

Як показав аналіз [5], 28 сортувальних гірок з числа ГПП, ГВП та ГСП обладнано системами гірочної автоматичної централізації (ГАЦ) різних типів з пристроями гірочної автоматичної локомотивної сигналізації, автоматичного регулювання швидкості розпуску составів, контролю заповнення сортувальних колій вагонами, тощо; при цьому спускна частина більшості ГПП, ГВП та ГСП обладнана двома механізованими гальмівними позиціями. Загальна кількість вагонних уповільнювачів різних типів, що експлуатуються на сортувальних гірках України, становить понад 1200 шт.

2.2 Аналіз нерівномірності надходження поїздів в розформування

В теперішній час функціонування транспортних об'єктів залізничної інфраструктури характеризується значною нерівномірністю руху поїздів [143]. Фундаментальні дослідження нерівномірності залізничних перевезень виконані в роботах [4, 66, 143], в яких було встановлено нормальний розподіл добових коливань вагопотоків на напрямках мережі, визначено характер сезонних коливань відправлення різних вантажів, наявність місяців з максимальними обсягами перевезень протягом річного періоду. Всі ці характеристики були отримані в роки планової економіки роботи залізничного транспорту СРСР. Перехід до ринкової економіки викликав нові економічні причини нерівномірності освіти вантажопотоків. Відправлення вантажів в сучасних умовах виконується не за місячним планом, а на основі безперервного планування [133]; при цьому на ринку перевезень функціонує значна кількість операторів рухомого складу. У цьому зв'язку частіше виникають періоди згущення вагопотоків на напрямках мережі з відповідним збільшенням завантаження ділянок, станцій та їх технічних пристроїв.

Як показали дослідження [41, 133], в сучасних умовах середньорічна нерівномірність перевезень залізничним транспортом в порівнянні з показниками 1991 р. збільшилась на 7-10 %, а добова – на 50 %. Вказані коливання розмірів вантажного руху суттєво впливають на якість залізничних перевезень та ефективність роботи її структурних підрозділів. Тому наявність нерівномірності перевезень має бути врахована не тільки при визначенні потрібної переробної спроможності технічних пристроїв залізниць, розробці графіка руху та нормуванні показників експлуатаційної роботи, а і при оперативному керуванні перевізним процесом, зокрема роботою сортувальних комплексів станцій.

З метою встановлення ступеня нерівномірності вхідного потоку поїздів на сортувальні комплекси було виконано аналіз статистичних даних про моменти прибуття поїздів у розформування для двох сортувальних систем позакласної сортувальної станції Нижньодніпровськ-Вузол за 2012 календарний

рік. В результаті обробки вказаних даних було встановлено, що середньодобова кількість поїздів у розформування для непарної системи знаходиться в діапазоні від 16 до 52 составів, а для парної системи – від 16 до 49 составів. При цьому, коливання середньодобової величини інтервалу $M[I]$ протягом року показано на рис. 2.2.

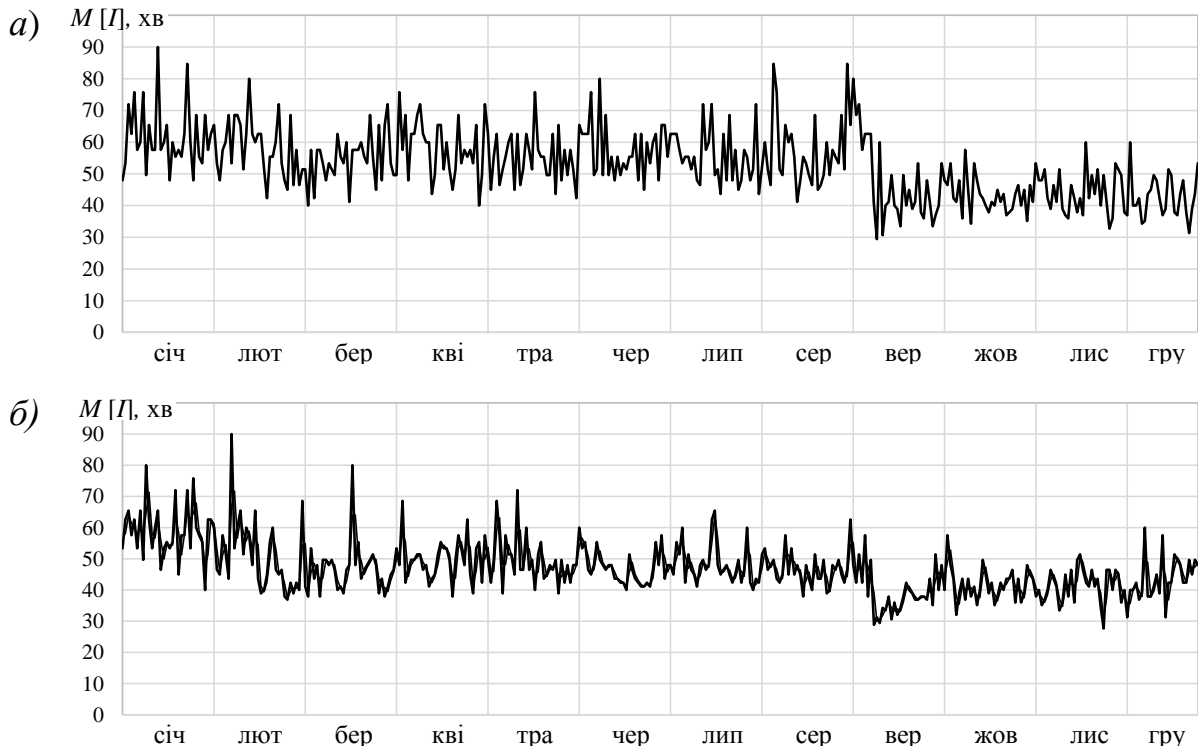


Рис. 2.2 – Річна нерівномірність прибуття поїздів в розформування на ст. Нижньодніпровськ-Вузол:

а) парна система; б) непарна система

Аналіз статистичних даних та рис. 2.2 дозволили зробити висновок, що впродовж календарного року спостерігаються суттєві коливання середньодобового інтервалу $M[I]$ прибуття поїздів (від -44,6 % до 90 % для непарної системи, та від -44,7 % до 69,4 % для парної) по відношенню до середньодобової величини у річному обчисленні, яка для непарної системи складає 47,1 хв., а для парної – 53,1 хв.. Варто відзначити, що максимальний розмах вказаної величини для обох систем станції зафіксовано в першій декаді вересня 2012 р.

В результаті виконаних розрахунків були визначені основні параметри розподілу випадкової величини інтервалу прибуття I (див. табл. 2.2)

**Основні параметри розподілу випадкової величини
інтервалу прибуття**

Система	n	I_{\min} , хв	I_{\max} , хв	$M[I]$, хв	$M[I^2]$, хв ²	$D[I]$, хв ²	$\sigma[I]$, хв	λ , сост/хв	$\nu[I]$	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

Для виконання подальших досліджень було висунуто гіпотези про розподілення випадкової величини I для обох систем станції Нижньодніпровськ-Вузол за законом Ерланга з параметром $K=2$, який описується виразом

$$f[I] = (2\lambda)^2 \cdot I \cdot e^{-2\lambda I} . \quad (2.1)$$

Графік диференціальної функції розподілу випадкової величини I інтервалу прибуття поїздів в розформування для парної системи станції наведено на рис. 2.3, для непарної – на рис. 2.4.

Перевірка вказаних гіпотез за критерієм Пірсона χ^2 дозволила переконатись у їх правомірності.

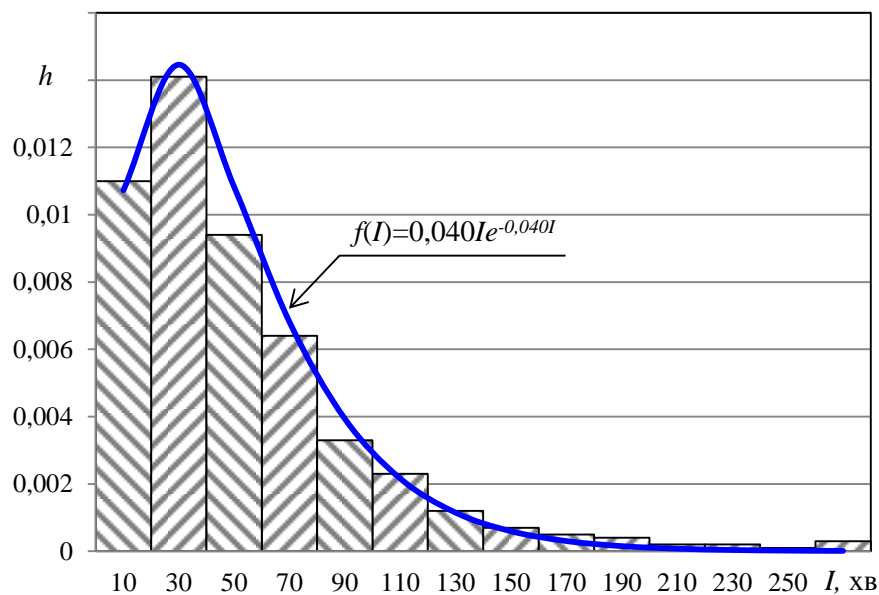


Рис. 2.3 – Розподіл випадкової величини інтервалу прибуття поїздів в розформування на ст. Нижньодніпровськ-Вузол (парна система)

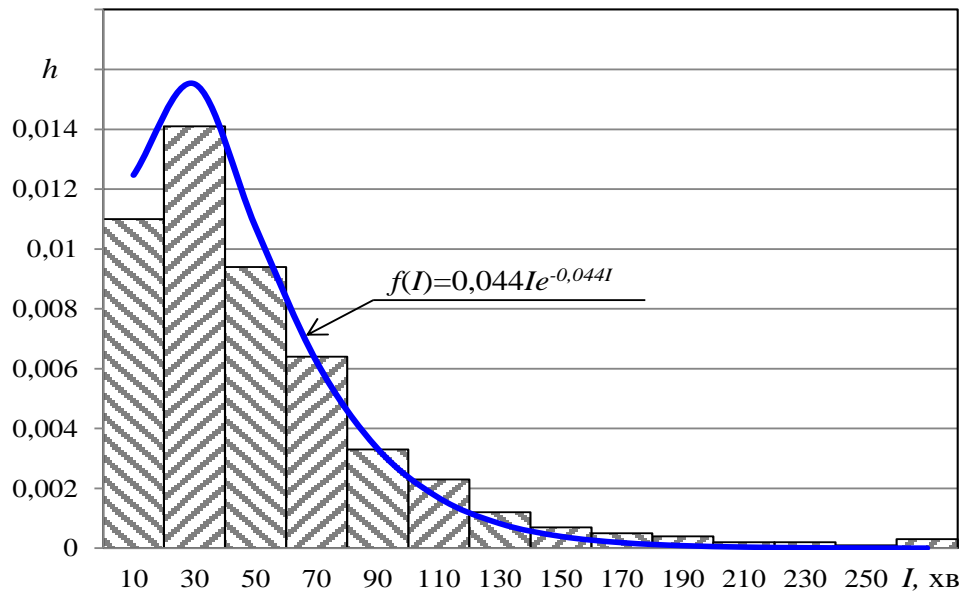


Рис. 2.4 – Розподіл випадкової величини інтервалу прибуття поїздів в розформування на ст. Нижньодніпровськ-Вузол (непарна система)

Таким чином, як показали дослідження функціонування сортувальних комплексів станцій України характеризується значним ступенем добової та річної нерівномірності вхідного потоку поїздів в розформування.

2.3 Аналіз обсягів переробки вагонопотоків на сортувальних комплексах

В сучасних умовах функціонування залізничного транспорту спостерігається тенденція до зменшення обсягів перевезень вантажів та відповідного скорочення кількості вагонів, що перероблюється на сортувальних комплексах станцій. Як приклад, на рис. 2.5 наведено гістограму середньодобових обсягів переробки вагонів $N_{\text{пер}}$ обох систем станції Нижньодніпровськ-Вузол за період з 2005 по 2014 роки. Як видно з рисунка, найбільші обсяги переробки спостерігалися в 2007, 2008 та 2011 роках, в той час як мінімальна кількість перероблених вагонів зафіксована в 2013 та 2014 роках. При цьому слід зазначити, що вказані середньодобові обсяги переробки вагонів значно менші за нормативи, встановлені [124] для двосистемних сортувальних станцій.

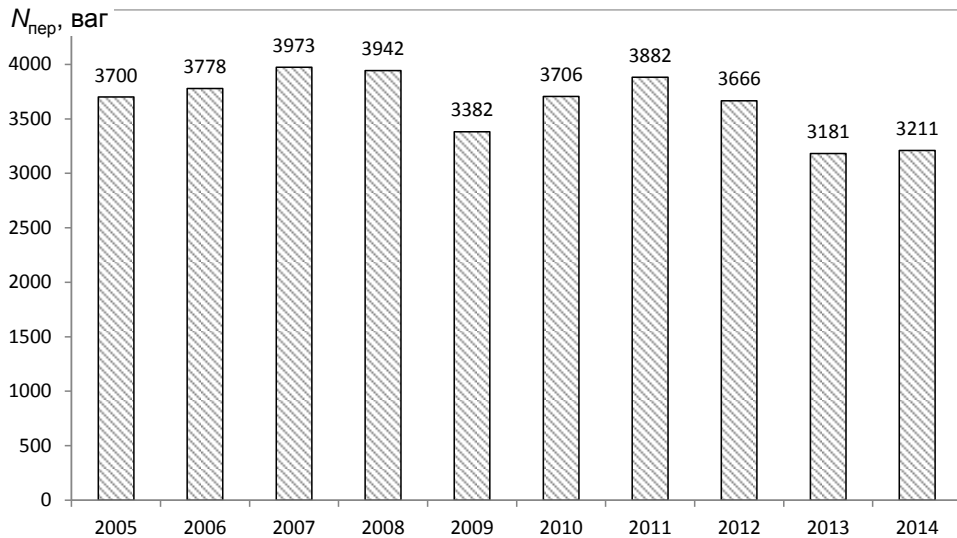


Рис. 2.5 – Середньодобові обсяги переробки вагонів на ст. Нижньодніпровськ-Вузол (непарна система)

Слід відзначити, що сортувальні комплекси станцій суттєво відрізняються за потужністю призначень плану формування поїздів. Як приклад, на рис. 2.6 наведена потужність вагонопотоків основних сортувальних комплексів станцій РФ «Придніпровська залізниця».

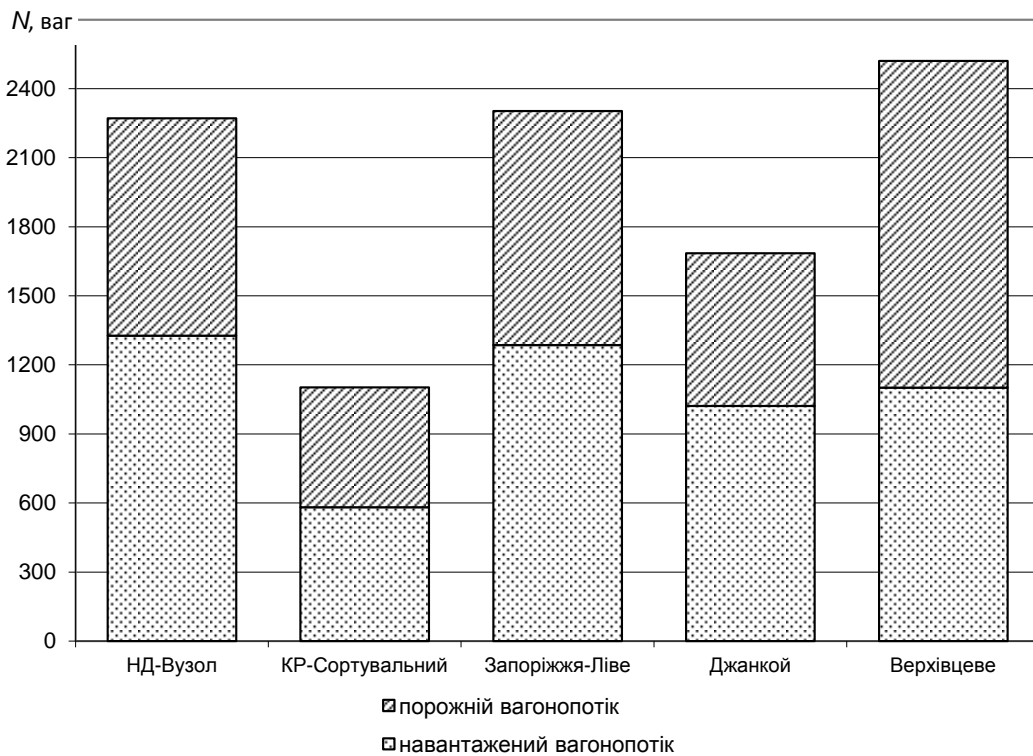


Рис. 2.6 – Потужність вагонопотоків на основних сортувальних комплексах станцій РФ «Придніпровська залізниця»

Як видно з рисунку, найбільший вагонопотік переробляється на дільничній станції Верхівцеве, яка формує поїзди на менші за обсягами роботи дільничні станції, що обслуговують велику кількість промислових підприємств Дніпропетровського регіону.

В роботі також виконано аналіз кількості призначень $N_{пр}$, за якими формуються поїзди на сортувальних комплексах станцій РФ «Придніпровська залізниця» (див. рис. 2.7).

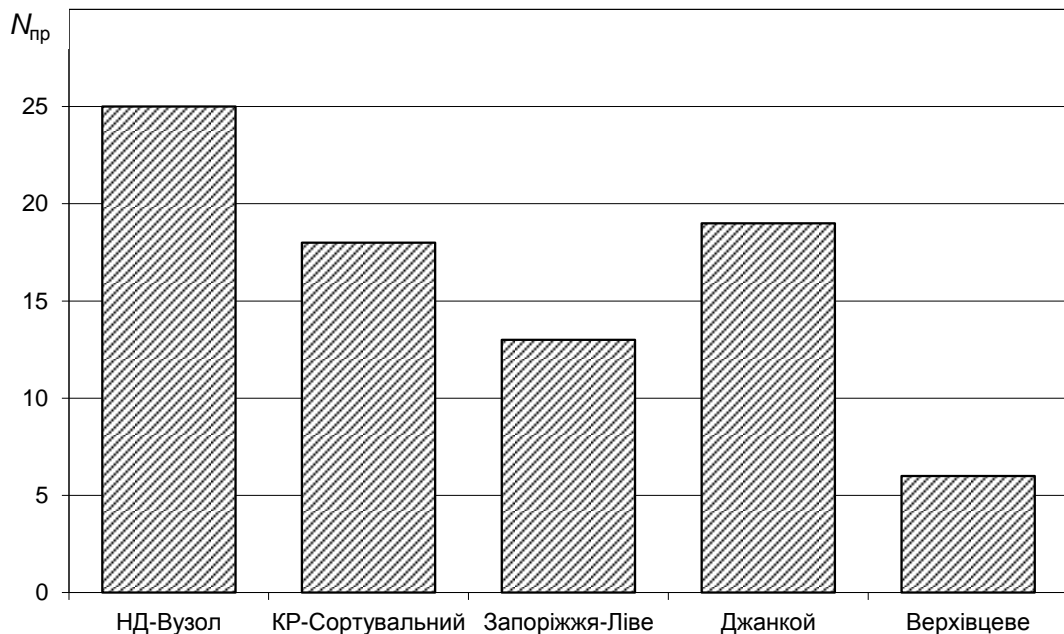


Рис. 2.7 – Кількість призначень плану формування поїздів на основних сортувальних комплексах станцій РФ «Придніпровська залізниця»

Як видно з рисунку, найбільша кількість призначень плану формування є на сітвовій сортувальній станції Нижньодніпровськ-Вузол, що пояснюється її роллю в організації перевізного процесу та оснащенням і потужністю її сортувальних комплексів. Найменша кількість призначень спостерігається на станції Верхівцеве, оскільки вказана станція є дільничною та виконує допоміжну сортувальну роботу.

Слід відзначити, що потужність призначень плану формування окремої сортувальної станції коливаються в досить широких межах. Як приклад, в табл. 2.3 наведено потужності призначень плану формування сортувальної станції Нижньодніпровськ-Вузол.

Потужності призначень плану формування станції НД-Вузол

Призначення	$N_{\text{доб, ваг}}$	Призначення	$N_{\text{доб, ваг}}$	Призначення	$N_{\text{доб, ваг}}$
Здолбунів	99	Нижньодніпровськ	56	Кривий Ріг Сортувальний	145
Клепарів	107	Дніпропетровськ	8	Джанкой	56
Одеса-Сортувальна (охор)	14	Сухачівка	-	Ясинувата	196
Одеса-Сортувальна	141	Чаплине	39	Волноваха	58
Чорноморська	-	Павлоград 1	214	Красний Лиман	81
Знам'янка	263	Верхівцеве	88	Дебальцеве- Сортувальне	183
Знам'янка (охор)	7	Запоріжжя Ліве	210	Регулювання ПВ	165
Миколаїв	46	Кривий Ріг Головний	81	Регулювання ЦС	6
Зустрічний	8				

2.4 Аналіз параметрів составів поїздів, що прибувають в розформування

Для визначення параметрів составів, що надходять на сортувальний комплекс, був виконаний аналіз 200 телеграм-натурних листів составів (ТГНЛ), які були розформовані в парній системі станції Нижньодніпровськ-Вузол, в результаті чого отримано статряд розподілу випадкової величини кількості вагонів m у составі та її числові характеристики (див. табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Розподіл випадкової величини кількості вагонів составі

m_i	\overline{m}_i	n_i	p_i^*	Параметри
12 – 16	14	4	0,020	$M[m] = 46,25 \text{ ваг};$ $D[m] = 155,94 \text{ ваг}^2;$ $S[m] = 12,49 \text{ ваг}.$
17 – 21	19	8	0,040	
22 – 26	24	7	0,035	
27 – 31	29	16	0,080	
32 – 36	34	10	0,050	
37 – 41	39	16	0,080	
42 – 46	44	14	0,070	
47 – 51	49	26	0,130	
52 – 56	54	57	0,285	
57 – 61	59	42	0,210	
Разом	-	200	1,000	

На основі даних табл. 2.4 побудована гістограма розподілу випадкової величини кількості вагонів m у составі (див. рис. 2.8).

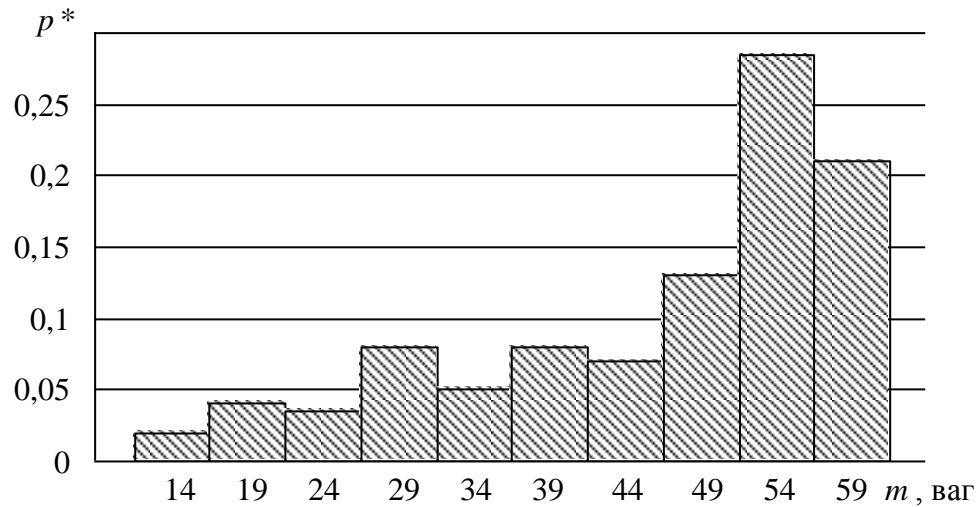


Рис. 2.8 – Розподіл випадкової величини кількості вагонів у составі, що надійшов в розформування на ст. Нижньодніпровськ-Вузол (непарна система)

Як видно з рисунку, найбільш імовірне значення кількості вагонів у составі, що надійшов в розформування, становить $m = 52..56$ ваг.

Аналіз розмічених ТГНЛ та сортувальних листків для розформування составів в парній системі станції Нижньодніпровськ-Вузол дозволив визначити розподіл випадкової величини кількості N вагонів у відчепі; статряд вказаної величини та її числові характеристики наведено в табл. 2.5

Таблиця 2.5

Розподіл випадкової величини кількості вагонів у відчепі

N_i	n_i	p_i^*	N_i	n_i	p_i^*	Параметри
1	1994	0,5582	11	25	0,0070	
2	618	0,1730	12	17	0,0048	
3	278	0,0778	13	12	0,0034	
4	186	0,0521	14	6	0,0017	
5	114	0,0319	15	9	0,0025	
6	88	0,0246	16	6	0,0017	
7	57	0,0160	17	9	0,0025	
8	50	0,0140	18	6	0,0017	
9	34	0,0095	19	6	0,0017	
10	34	0,0095	20	23	0,0064	
Разом				3572	1,0000	

На основі даних табл. 2.5 побудовано багатокутник розподілу випадкової величини кількості вагонів у відчепі N (див. рис. 2.9).

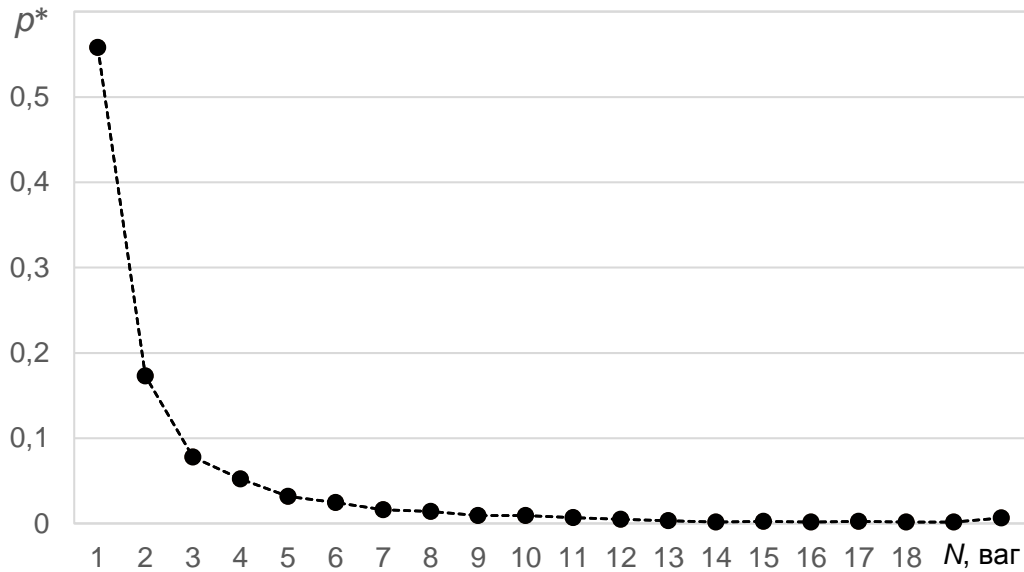


Рис. 2.9 – Багатокутник розподілу випадкової величини кількості вагонів у відчепі

Отримані дані показують, що на даній гірці випадкове число вагонів у відчепі має розподіл, близький до геометричного, що характерно для більшості сортувальних гірок. При цьому слід зазначити високу ймовірність $P(1) = 0,56$ появи одновагонних відчепів, що ускладнює регулювання їх швидкості при скочуванні з гірки. В той же час у потоці составів наявна досить велика кількість достатньо довгих відчепів (понад 10 ваг).

Іншими важливими характеристиками составів, що істотно впливають на якість сортувального процесу, є рід та вагова категорія вагонів, що підлягають скочуванню з гірки. В цьому зв'язку була визначена частота появи в составах вагонів кожного роду (див. табл. 2.6).

Таблиця 2.6

Розподіл вагонів у составах в розформування за родом рухомого складу

Рід вагону	Критий (КР)	Напіввагон (ПВ)	Платформа (ПЛ)	Цистерна (ЦС)	Інші
Частота p_i^*	0,086	0,512	0,013	0,038	0,351

На основі даних табл. 2.6 побудовано гістограму розподілу вагонів за родом рухомого складу (див. рис. 2.10).

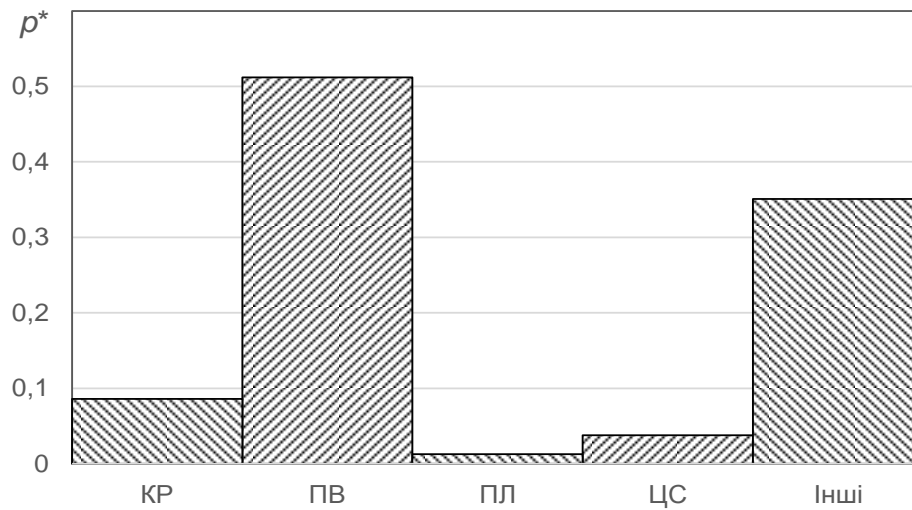


Рис. 2.10 – Гістограма розподілу вагонів в складі за родом рухомого складу

Відповідно до [124] вагони за масою бруutto $Q_{\text{бр}}$ розподіляють на 5 вагових категорій: легку (Л – $Q_{\text{бр}} < 28$ т), легко-середню (ЛС – $28 \leq Q_{\text{бр}} < 44$), середню (С – $44 \leq Q_{\text{бр}} < 60$), середньо-важку (СВ – $60 \leq Q_{\text{бр}} < 72$), важку (В – $Q_{\text{бр}} \geq 72$). Частота появи вагонів кожної категорії була визначена за даними статистичної обробки ТГНЛ поїздів, що розформовані в парній системі станції Нижньодніпровськ-Вузол (див. табл. 2.7).

Таблиця 2.7

Розподіл завантаження вагонів різного роду

Тип вагона	Маса нетто q , т					
	0	0-12	12-24	24-36	36-48	60
КР	0,499	0,042	0,075	0,040	0,054	0,290
ПВ	0,480	0,012	0,005	0,020	0,099	0,384
ПЛ	0,689	0,025	0,059	0,168	0,034	0,025
ЦС	0,619	0,000	0,000	0,000	0,045	0,335
Інші	0,610	0,036	0,025	0,040	0,036	0,252
В середньому	0,535	0,023	0,019	0,030	0,070	0,323

В даній таблиці наведена частота появи порожніх і повновагових вагонів ($q = 60$ т), а також вагонів з різним ступенем завантаження з підрозділом за родом рухомого складу. Середня частота появи вагонів різного ступеня завантаження наведена в останньому рядку табл. 2.7 та на рис. 2.11.

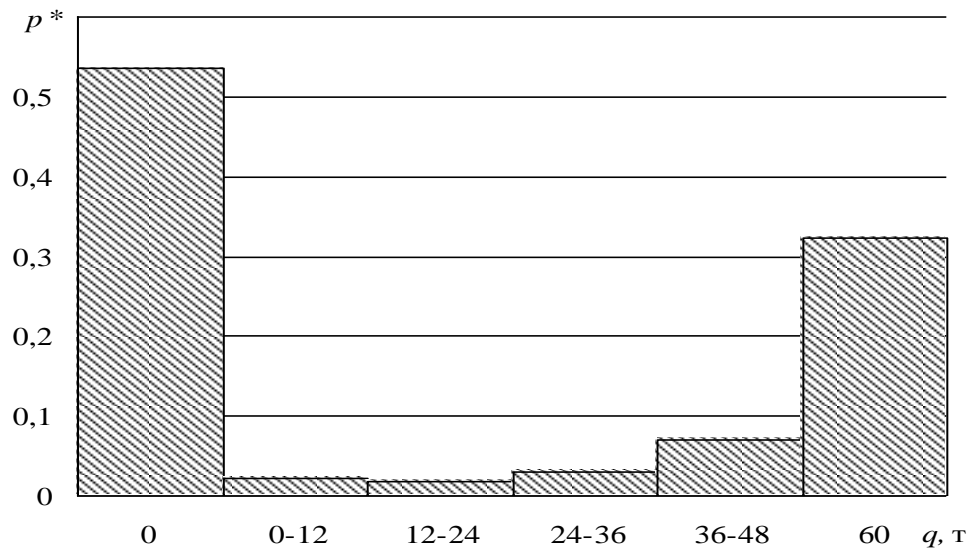


Рис. 2.11 – Розподіл вагонів за рівнем завантаження

Як видно з рисунку, у потоці вагонів, що переробляються, переважають порожні вагони (53,5%), в той же час серед навантажених вагонів більшість становлять повновагові вагони (32,3%).

Також в роботі на основі даних [74] проаналізовано розподілення вагонів за окремими призначеннями плану формування в результаті чого визначено імовірність розділення відцепів на стрілочних позиціях сортувальних гірок станцій України (див. табл. 2.8)

Таблиця 2.8

Частота розділення відцепів на стрілочних позиціях

Стрілочна позиція	Імовірність розділення відцепів			
	Ясинувата		НД-Вузол непарна система	Верхівцеве
	східна система	західна система		
1	0,6167	0,5467	0,466	0,402
2	0,0933	0,25	0,273	0,213
3	0,1867	0,1333	0,169	0,346
4	0,0533	0,05	0,048	0,009
5	0,05	0,02	0,044	0,030

Як видно з таблиці, найбільша імовірність розділення відцепів спостерігається на першій та на третій стрілочній позиції – на ст. Верхівцеве та на східній гірці ст. Ясинувата; на першій та другій стрілочних позиціях – на західній системі ст. Ясинувата та непарній системі ст. НД-Вузол. При цьому слід відзначити, що імовірність розділення відцепів на п'ятій стрілочній позиції для всіх розглянутих станцій не перевищує 5 %.

На умови інтервального регулювання швидкості відчепів суттєво впливає сполучення розділових стрілок у парах розрахункової групи з трьох відчепів. Імовірність появи сполучень розділових стрілок для східної та західної сортувальних гірок ст. Ясинувата наведено у табл. 2.9.

Таблиця 2.9

Імовірність розділення трійки відчепів на стрілочних позиціях східної гірки ст. Ясинувата

Стрілка розділення першої пари	Стрілка розділення другої пари				
	1	2	3	4	5
<i>Східна система</i>					
1	0,3833	0,0566	0,0866	0,0333	0,0233
2	0,0600	0,0400	0,0066	0,0000	0,0133
3	0,1066	0,0133	0,0300	0,0066	0,0066
4	0,0233	0,0066	0,0033	0,0366	0,0000
5	0,0266	0,0033	0,0100	0,0000	0,0233
<i>Західна система</i>					
Стрілка розділення першої пари	Стрілка розділення другої пари				
	1	2	3	4	5
1	0,2466	0,1333	0,0600	0,0233	0,0033
2	0,1266	0,1300	0,0433	0,0166	0,0066
3	0,0633	0,0266	0,0366	0,0033	0,0000
4	0,0233	0,0166	0,0033	0,0100	0,0000
5	0,0066	0,0066	0,0033	0,0000	0,0066

Як видно з табл. 2.9 найбільша частота розділення відчепів на східній гірці ст. Ясинувата спостерігається на у сполученнях стрілок 1-1, 1-3 та 3-1, на західній гірці – у сполученнях стрілок 1-1, 2-1, 2-2 й 2-3. Вказані умови розділення можуть бути віднесені до несприятливих.

На показники сортувального процесу впливає також номенклатура вантажів, що перевозяться в вагонах, які перероблюються на сортувальній гірці. Так, вагони завантажені окремими видами вантажів заборонено спускати з гірки, що викликає відповідне збільшення тривалості розформування составів. І навпаки, певні категорії вантажів є нечутливими до перевищення допустимої швидкості співударяння вагонів, в яких вони перевозяться, з вагонами на сортувальних коліях. Це дозволяє уникнути додаткових експлуатаційних витрат, пов'язаних з помилками регулювання швидкості скочування відчепів. В цьому

зв'язку в роботі на основі [74] та даних розмічених ТГНЛ поїздів, що розформовані в непарній системі ст. Нижньодніпровськ-Вузол, отримано розподіл вагонопотоків за номенклатурою вантажів у багатовагонних (рис. 2.12, а) та одновагонних відчепів (рис. 2.12, б). На рисунку обмеженням штрихуванням всередину показані види вантажів, що чутливі до перевищення швидкості співударяння вагонів.

а)



б)

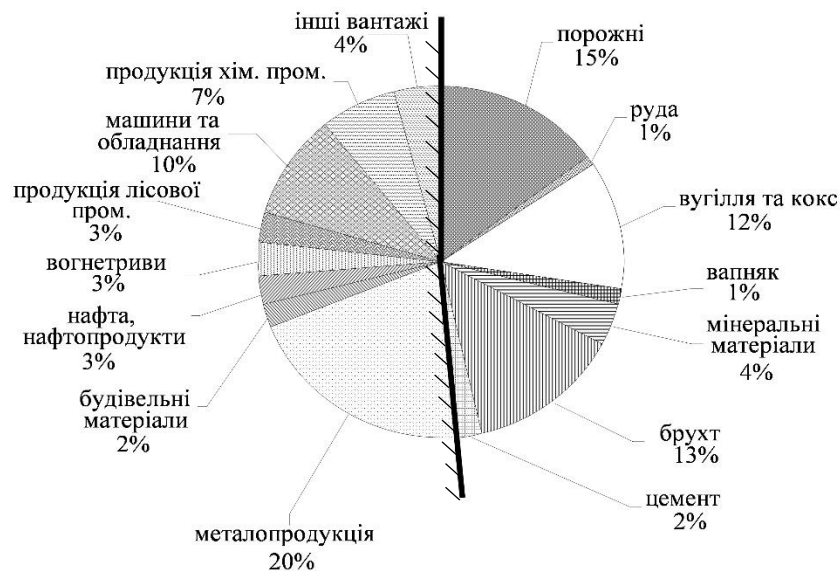


Рис. 2.12 – Розподіл вагонопотоку за номенклатурою вантажів:

а – багатовагонні відчепи; б – одновагонні відчепи

Як видно з рисунку, що 49 % вантажів, які перевозяться у вагонах є нечутливими до підвищених швидкостей співударяння, а 11 % вагонів є порожніми. При цьому серед одновагонних відчепів нечутливими до підвищення

швидкості співударяння є 48 % відчепів. Скорочення долі цих вагонів у порівнянні з загальним відбувається через те, що масові вантажі перевозяться, як правило, групами, а більш цінні вантажі, що вимагають обережності при транспортуванні – вагонними відправками.

2.5 Аналіз тривалості розформування составів вантажних поїздів на сортувальних комплексах станцій

Основними технологічними операціями процесу розформування составів на сортувальних гірках є заїзд, насув, розпуск та осаджування. В роботі на основі даних технологічних процесів роботи станцій РФ «Придніпровська залізниця» проаналізовано тривалість вказаних операцій (див. табл. 2.10)

Таблиця 2.10

Тривалість розформування составів на сортувальних комплексах станцій РФ «Придніпровська залізниця», хв

Операція	Станції					
	НД-Вузол		Кривий Ріг-Сортувальний	Запоріжжя-Ліве	Джанкой	Верхівцеве
	парна	непарна				
Заїзд	4,5	7,2	5,0	5,0	6,0	7,0
Насув	3,2	2,5	8,0	4,5	6,0	3,0
Розпуск	11,9/10,2*	13,6/11,6	9,0	9	13,0	10,0
Кількість составів у циклі	3/4	3/4	3	2	4,0	4,0
Гірковий інтервал	23,0/15,9	26,3/16,8	15	16	28,8/21,3	23,0

Примітка: * в чисельнику вказана тривалість операцій при використанні для розформування одного локомотива, в знаменнику – двох локомотивів.

Як показав аналіз, на деяких сортувальних комплексах станцій в умовах збільшення обсягів переробки вагонопотоків для розформування составів може залучатися додатковий маневровий локомотив, що дозволяє скоротити тривалість гіркового технологічного інтервалу на 30-40 %. При цьому станції для забезпечення сортувального процесу має бути наданий окремий локомотив на цілу зміну або до розформування составів залучається локомотив, що зайнятий на станції виконанням інших робіт. В той же час в технологічних

процесах станцій прямо не передбачається можливість оперативної зміни інтенсивності сортувального процесу, яка може бути досягнута шляхом вибору швидкості розпуску кожного составу.

Швидкість розпуску составів, яку має забезпечувати конструкція сортувальної гірки в залежності від її потужності встановлюється в [124] Допустима швидкість розпуску составів на існуючих сортувальних гірках регламентується наказом начальника залізниці [125]; при цьому величина вказаної швидкості встановлюється з врахуванням технічного оснащення сортувальних пристроїв. Як приклад, в табл. 2.11 наведено встановлені швидкості розпуску составів при різних показаннях гіркового світлофора на станціях РФ «Придніпровська залізниця».

Таблиця 2.11

Встановлена швидкість розпуску на сортувальних комплексах станцій РФ «Придніпровська залізниця», км/год

Станція	Показання гіркового світлофора		
	зелений	зелений+жовтий	жовтий
НД-Вузол, непарна система	10	8	6
НД-Вузол, парна система	9	6	4
Кривий Ріг-Сортувальний	5	4	3
Запоріжжя-Ліве	7	4	3
Джанкой	9	6	4
Верхівцеве	10	7	5

Як видно з таблиці, технічні засоби сортувальних гірок дозволяють варіювати швидкість розпуску в достатньо широких з точки зору керування сортувальним процесом межах: встановлений діапазон вказаної швидкості складає 3-10 км/год, що в одиницях СІ становить 0,8-2,7 м/с. При цьому слід зазначити, що найменша швидкість розпуску встановлена для гірки ст. Кривий Ріг-Сортувальний, що пояснюється немеханізованим гальмуванням відчепів на парковій гальмовій позиції даної гірки.

2.6 Висновки за розділом 2

1. Розформування составів вантажних поїздів виконується в основному на сортувальних гірках, якими головним чином обладнано сортувальні станції. На мережі залізниць України експлуатується 35 сортувальних станцій та 49 сортувальних гірок. 28 сортувальних гірок підвищеної, великої та середньої потужності обладнано засобами автоматизації та механізації сортувального процесу.

2. Функціонування сортувальних комплексів станцій України характеризується значною нерівномірністю надходження поїздів в розформування. Так, для ст. Нижньодніпровськ-Вузол випадкова величина інтервалу I прибуття поїздів в розформування розподілена за законом Ерланга з параметром $K = 2$; при цьому коефіцієнт варіації вхідного потоку $v_{вх}$ для обох систем даної станції знаходиться на рівні 0,86-0,87.

3. На сортувальних комплексах станцій спостерігається тенденція до зменшення обсягів переробки вагонопотоків. Так для ст. Нижньодніпровськ-Вузол найбільші обсяги переробки спостерігалися в 2007, 2008 та 2011 роках, в той час як мінімальна кількість перероблених вагонів зафіксована в 2013 та 2014 роках. При цьому слід зазначити, що вказані середньодобові обсяги переробки вагонів значно менші за нормативи, встановлені для двосистемних сортувальних станцій.

5. Середня кількість вагонів в составі поїзда, що прибуває в розформування становить 46,25 ваг. Кількість вагонів у відчепі має розподіл, близький до геометричного; при цьому імовірність появи одновагонних відчепів складає 0,56. У потоці вагонів, що переробляються, переважають порожні вагони (53,5%), в той же час серед навантажених вагонів більшість становлять повновагові вагони (32,3%).

6. Технічні засоби сортувальних гірок дозволяють варіювати швидкість розпуску в діапазоні 0,8..2,7 м/с, що дає можливість в оперативних умовах змінювати інтенсивність розформування составів і, за рахунок цього, досягти економії експлуатаційних витрат станцій.

РОЗДІЛ 3

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ

При вирішенні задач вибору раціонального режиму функціонування сортувальних комплексів станцій та оцінки ефективності конструкції сортувальних пристроїв виникає необхідність визначення показників якості процесу розформування составів та пов'язаної з його виконанням величини експлуатаційних витрат. Ефективне вирішення вказаної проблеми потребує комплексного дослідження процесів насуву та розпуску составів. З цією метою імітаційну модель скочування відчепів [114] доцільно доповнити моделлю насуву составів на сортувальну гірку, в результаті чого буде отримано комплексну імітаційну модель розформування составів.

Вказана комплексна модель розформування составів за рахунок взаємодії програмних модулів насуву та розпуску составів повинна детально імітувати режим роботи гіркового локомотиву та керований рух составу, що насувається на гірку, в поєднанні з процесом керованого скочування відчепів на сортувальні колії.

3.1 Модель сортувальної гірки

Модель сортувальної гірки включає дані про конструкцію плану і поздовжнього профілю колії парку приймання, з якої виконується насув, та гіркової горловини, а також містить інформацію про технічні пристрої (стрілочні переводи, вагонні уповільнювачі). Вказана модель дозволяє імітувати роботу уповільнювачів разом із системою керування, переведення розділових стрілок, роботу рейкових кіл, контролювати нагін відчепів, їх зіткнення та проштовхування на сортувальних коліях. Модель гірки складається з трьох блоків: план, поздовжній профіль, уповільнювачі та гальмові позиції.

3.1.1 План колійного розвитку сортувальної гірки

Модель плану колійного розвитку [78] побудована на базі орієнтованого бінарного дерева $D = (V, E)$, де V – множина вершин, E – множина дуг. При

цьому вершинам V відповідають розділові стрілки, а дугам – ділянки між ними. Множина дуг дерева E розділена на дві підмножини: ділянки E^S на спускній частині гірки та сортувальні колії E^W .

В свою чергу, кожна дуга $e_i \in E$ ділиться на елементи довжиною l_i таким чином, щоб межами елементів були:

- вершина сортувальної гірки (ВГ);
- початок і кінець рейкового кола (РК) розділових стрілок і уповільнювачів;
- початок і кінець робочих довжин уповільнювачів;
- початок і кінець елементів, що мають додатковий опір руху (стрілки, глухе перетинання, криві будь-якого радіусу);
- початок і кінець колій;
- граничні стовпчики у вихідній горловині сортувального парку.

В моделі гірки кожен елемент плану представлено структурою:

$$\mathbf{h} = \{l, w, \theta, I_c, \mu\}, \quad (3.1)$$

де l – довжина, м;

w – ідентифікатор опору руху;

θ – тип елемента;

I_c – індекс пристрою у списку керуючих елементів;

μ – покажчик розміщення останньої осі відчепа.

Дані в заголовку кожної дуги залежать від типу секції. Ділянка між двома суміжними стрілочними позиціями спускної частини гірки має наступну структуру заголовка:

$$\Pi = \{PN, SK, d, SQ\}, \quad (3.2)$$

а для сортувальної колії:

$$\Pi = \{PN, SK, d, WM, C\}, \quad (3.3)$$

де P, S, W – ідентифікатори покажчиків, відповідно, стрілочної позиції, стрілочного переводу та сортувальної колії;

N – номер стрілочної позиції, до якої належить даний перевід;
 K, Q – номери стрілочних переводів, що обмежують секцію;
 d – положення стрілочного переводу K , при якому подальший маршрут руху відчепа проходить через стрілку Q ;

W – номер сортувальної колії;

C – десятковий код сортувальної колії W .

В моделі гірки міститься інформація про кожну розділову стрілку, що представлена структурою:

$$\mathbf{S} = \{C, I_{л}, I_{п}, P_c, \sigma\}, \quad (3.4)$$

де C – інформація про поточний стан РК стрілки;

$I_{л}, I_{п}$ – індекси перших елементів відповідно лівої та правої секцій, суміжних з даною стрілкою, у загальному списку елементів плану гірки;

P_c – номер стрілочної позиції до якої відноситься стрілка;

σ – поточне положення стрілки ($\sigma = 0$ – вліво, $\sigma = 1$ – вправо).

Інформація про стан РК, у свою чергу, представлена структурою:

$$\mathbf{C} = \{t, \tau, b\}, \quad (3.5)$$

де t – момент зайняття РК;

τ – момент звільнення РК;

b – кількість відчепів, що перебувають на РК ($b = 0, 1, 2$).

Інформація про кожну сортувальну колію представлена структурою

$$\mathbf{X} = \{C, S_{вих}''', L_{кор}, S_{прц}, m_{гр}, z\}, \quad (3.6)$$

де C – код колії;

$S_{вих}'''$ – координата кінця паркової гальмової позиції;

$L_{кор}$ – корисна довжина колії;

$S_{прц}$ – координата точки прицілювання;

$m_{гр}$ – число вагонів у складі на дану колію;

z – номер останнього відчепа в складі, що направлено на дану колію.

3.1.2 Поздовжній профіль гірки

Для моделювання процесів насуву составів та скочування відчепів необхідно доповнити інформацію про план колійного розвитку гірки інформацією про її поздовжній профіль. Для представлення поздовжнього профілю гірки використовується його апроксимація модифікованим кубічним сплайном [22].

Для більш точного моделювання процесу скочування відчепів поздовжній профіль спускної частини сортувальної гірки в імітаційній моделі представлений сукупністю параметрів профілю маршруту скочування на кожну сортувальну колію:

$$\mathbf{P} = \{\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \dots, \mathbf{P}_n\}, \quad (3.7)$$

де \mathbf{P}_i – профіль маршруту скочування n_i -ту колію сортувального парку;
 n – кількість колій в сортувальному парку.

Слід відмітити, що при визначенні ухилів колій в межах стрілочної зони враховувався пилоподібний поперечний профіль земляного полотна сортувального парку. Профіль i -ї сортувальної колії в моделі гірки представлено наступною структурою:

$$\mathbf{P} = \{W_k, S_j, C_{2,j}, C_{3,j}, C_{4,j}\}, j = 1, \dots, n_{\text{дїл}} + 1, \quad (3.8)$$

де W_k – ідентифікатор k -ї колії сортувального парку;

S_j – координати вузлів сплайна;

$C_{2,j}, C_{3,j}, C_{4,j}$ – коефіцієнти сплайна;

$n_{\text{дїл}}$ – число ділянок на колії скочування.

В процесі моделювання скочування відчепа вибір даних про поздовжній профіль маршруту здійснюється за номером колії призначення відчепа k .

3.2 Модель состава та відчепа

Модель окремого відчепа містить сукупність параметрів, необхідних для імітації його керованого насуву та скочування при прийнятому способі моделювання руху відчепа та моделі сортувальної гірки; при цьому за основу

прийнята вагонно-осьова модель [80], згідно з якою відчеп може бути представлений наступною структурою:

$$\mathbf{C} = \{\mathbf{X}, \mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{W}, \Psi\}, \quad (3.9)$$

де \mathbf{X} – вектор параметрів відчепа;

\mathbf{A} – осьова модель;

\mathbf{B} – дані про вагони;

\mathbf{W} – вектор параметрів для розрахунку питомих опорів руху;

Ψ – вектор параметрів стану відчепа.

Сукупність параметрів \mathbf{X} представлено структурою:

$$\mathbf{X} = \{m, v, Q, l, \lambda, g'\}, \quad (3.10)$$

де m – кількість вагонів;

v – кількість осей;

Q – вага, т;

l – довжина, м;

λ – передній виліт автозчепки першого вагона відчепа, м;

g' – прискорення сили тяжіння з урахуванням інерції мас, що оберта-

ються.

Осьова модель \mathbf{A} призначена для характеристики положення кожної осі відчепа на спускній частині гірки.

Інформація про вагони відчепа \mathbf{B}_j необхідна для розрахунку сил, що діють на відчеп

$$\mathbf{B}_j = \{Q_{vj}, \gamma_j, v_{vj}, \rho_j\}, j = 1, \dots, m, \quad (3.11)$$

де Q_{vj} – вага, т;

γ_j – тип вагона;

v_{vj} – число осей;

ρ_j – тип підшипників.

Дані для розрахунку питомих опорів руху відчепа представлені наступною структурою

$$\mathbf{W} = \{w_0, K_{\text{ск}}, \xi, w_T\}, \quad (3.12)$$

де w_0 – основний питомий опір руху відчепа;

$K_{\text{ск}}$ – коефіцієнт, що використовується для розрахунку опору від стрілок і кривих та визначається на кожному кроці переміщення відчепа;

ξ – параметри, необхідні для розрахунку опору середовища й вітру;

w_T – питомий гальмівний опір від уповільнювачів.

Поточний стан відчепа, що скочується, характеризує структура Ψ :

$$\Psi = \{s, v, t, I_j, W, y, \sigma_{\text{від}}, N_{\text{поп.від}}, \mathbf{D}_{\text{вх}}, \mathbf{D}_{\text{вих}}\}, \quad (3.13)$$

де s – координата першої осі, м;

v – швидкість, м/с;

t – час від моменту відриву, с;

I_j – номер ділянки сплайна, на якому знаходиться перша вісь відчепа;

W – порядковий номер колії призначення;

y – код ділянки розташування відчепа;

$\sigma_{\text{від}}$ – код стану відчепа;

$N_{\text{поп.від}}$ – номер попереднього відчепа, що слідує на ту ж колію призначення;

$\mathbf{D}_{\text{вх}}, \mathbf{D}_{\text{вих}}$ – дані, відповідно про зайняття й звільнення РК керуючих елементів (стрілок, уповільнювачів).

При моделюванні процесу насуву состав, що підлягає розформуванню, представляється сукупністю відцепів з певними параметрами (кількість вагонів, їх тип, довжина, маса та основний питомий опір руху) і розглядається як нерозтяжний гнучкий стержень з рівномірно розподіленою по його довжині масою. Така модель составу дозволяє найбільш повно врахувати зміни умов його руху при переходах з одного елемента профілю на інший та після відриву від составу чергового відцепу на ВГ.

3.3 Моделювання процесу насування составу на гірку

Як показав аналіз [21], розформування составів на сортувальних гірках в основному виконується маневровими тепловозами і лише в окремих випадках – магістральними тепловозами або електровозами. При цьому режими роботи гіркових тепловозів значно відрізняються від режимів роботи локомотивів при виконанні ними поїзних операцій. В цьому зв'язку з метою побудови імітаційної моделі насування необхідно дослідити експлуатаційні режими роботи маневрових тепловозів на сортувальних гірках.

3.3.1 Дослідження режимів роботи маневрових локомотивів при виконанні розформування составів на сортувальній гірці

З метою дослідження режимів роботи гіркових тепловозів виконана серія експериментальних спостережень за процесом розформування составів на сортувальних станціях Одеса-Застава I, Одеса-Сортувальна, Нижньодніпровськ-Вузол. В результаті спостережень встановлено, що гіркові маневрові тепловози працюють під навантаженням в основному на 1-4-й позиціях контролера n_k ; при цьому контролер при насуві не переміщувався далі 5-ї позиції (див. рис. 3.1).

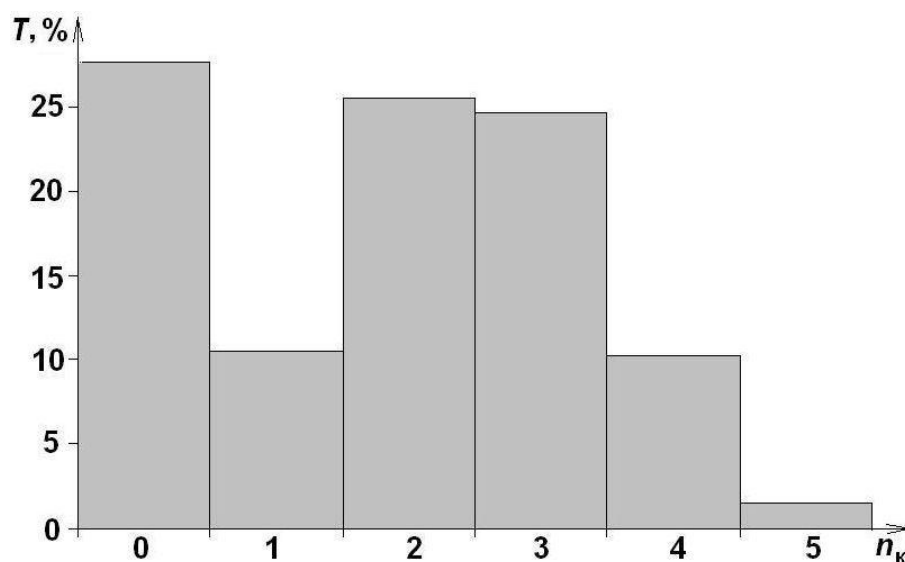


Рис. 3.1 – Розподіл часу роботи гіркових тепловозів за позиціями контролера машиніста

Слід зауважити, що з причин технічної зношеності локомотивів та встановлених обмежень швидкості руху по станційним коліям і стрілочним переводам маневрові пересування на 8-й позиції контролера (режим повної тяги) практично не виконуються, про що свідчать статистичні дані [109]. Крім того, режим роботи маневрових тепловозів на сортувальній гірці відрізняється частотою зміною положення контролера машиніста (див. рис. 3.2).

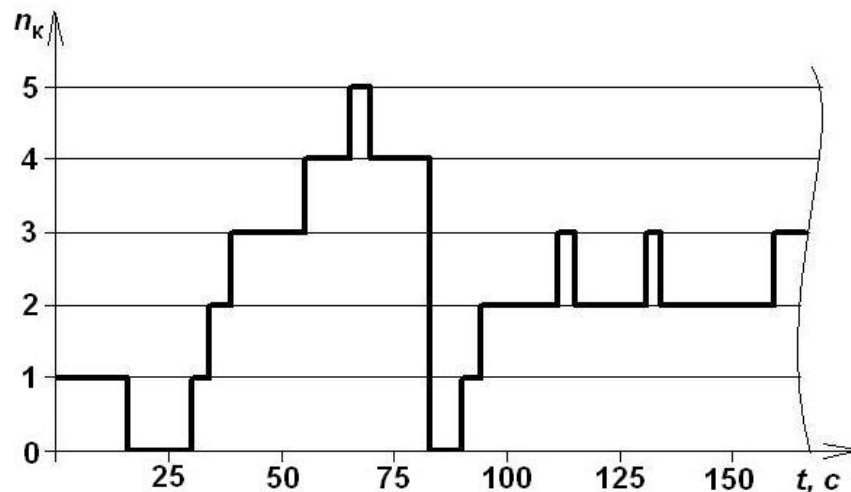


Рис. 3.2 – Динаміка переключення контролера машиніста при розформуванні складу на сортувальній гірці

Така часта зміна положення контролера призводить до того, що дизель локомотива працює переважно в перехідних режимах. Так, для тепловозів ЧМЭЗ проводиться до 150 переключень контролера за годину, з них всього 4 з усталеного режиму (робота на позиції більше 1 хв); при цьому виконується до 35 скидів-наборів навантаження [109].

На режим роботи гіркового локомотива також впливає тип напіврейсу насуву складу. Як показали спостереження, найбільш поширеним при виконанні насуву і розпуску складів на сортувальній гірці є напіврейс типу «розгін - рух з постійною швидкістю» (див. рис. 3.3). При цьому маневровий склад у режимі високого темпу переключення контролера (затримка контролера в кожному положенні становить 3 с) інтенсивно розганяється до необхідної швидкості розпуску v_0 (рис. 3.3, точка А), після чого подальший рух до вершини гірки (ВГ) виконується в режимі часткової тяги шляхом поперемінного

використання перших чотирьох позицій контролера, що дозволяє забезпечити насув составу з швидкістю, близькою до встановленої швидкості розпуску $v_0 \pm \delta$.

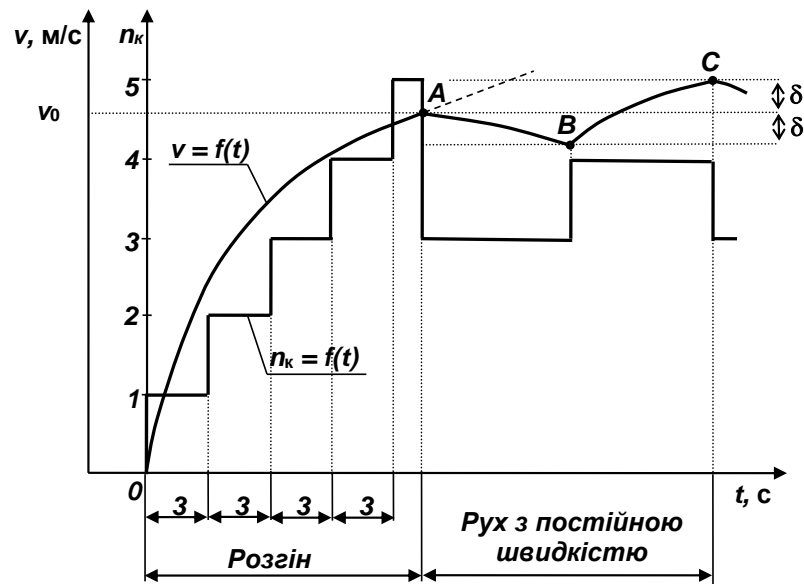


Рис. 3.3 – Напіврейс насуву типу «розгін-рух з постійною швидкістю»

Можливий також сповільнений розгін составу (див рис. 3.4), при якому контролер переключається з низьким темпом не далі 3-4-ої позиції, а необхідна швидкість розпуску v_0 досягається на ВГ або безпосередньо перед нею.

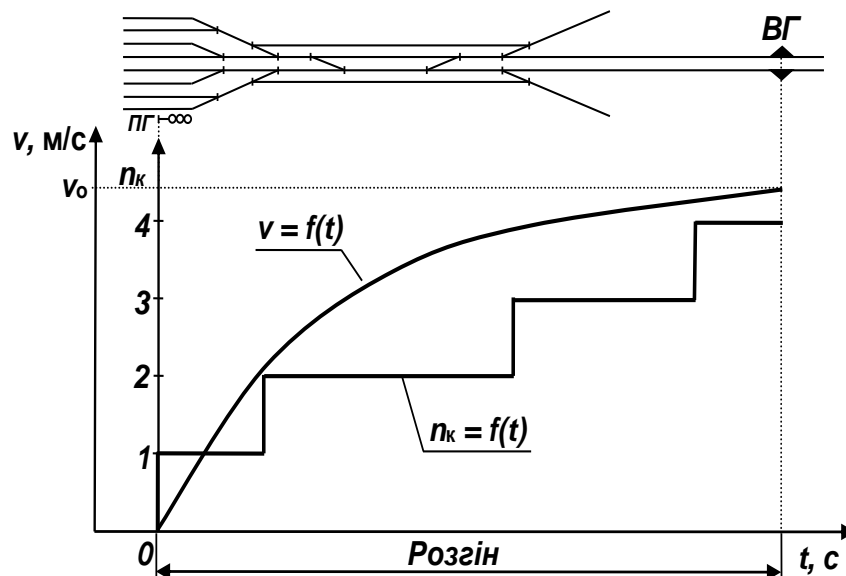


Рис. 3.4 – Напіврейс насуву составу в режимі сповільненого розгону

Таким чином, як показали дослідження, режим роботи локомотивів на сортувальній гірці характеризується частою зміною положення контролера

машиніста; при цьому для виконання насуву в більшості випадків використовується часткова тяга. Вказані особливості необхідно враховувати при побудові імітаційної моделі процесу розформування составів.

3.3.2 Методика розрахунку сил, що діють на маневровий состав

Для вирішення задачі моделювання насуву достатньо розглядати керований поступальний рух маневрового составу, тому при його імітуванні необхідно враховувати лише зовнішні сили, що співпадають з напрямком руху або протилежні йому. У відповідності з цим враховувались сили: F_k – дотична сила тяги локомотива; W_k – сила опору руху составу; B_T – гальмова сила локомотива. В рівняннях руху маневрового составу 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.

Як показав аналіз, методика [126] визначення дотичної сили тяги локомотива f_k при поїзних переміщеннях не відповідає реальним умовам виконання маневрової роботи на сортувальній гірці. У цьому зв'язку, дотична сила 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 [106]. При цьому слід зазначити, що правила [126] не містять часткових тягових характеристик для маневрових тепловозів, у зв'язку з чим вказані характеристики були отримані з паспортних даних локомотивів [63, 139] та на основі аналізу результатів реостатних випробувань. Як приклад, на рис. 3.5 показані тягові характеристики тепловоза ТЭМ2 для кожної позиції контролера.

Питома сила опору руху w_k визначається як

$$w_k = w'_0 + w''_0 + w_{cb} + w_{ck} + w_i + w_{зр}, \quad (3.14)$$

де w'_0 – основний питомий опір руху локомотива, Н/кН;

- w_0'' – основний питомий опір руху вагонів составу, Н/кН ;
- $w_{св}$ – додатковий питомий опір від середовища та вітру, Н/кН;
- $w_{ск}$ – додатковий питомий опір від стрілок та кривих, Н/кН;
- w_i – додатковий питомий опір від ухилу, Н/кН;
- $w_{зр}$ – додатковий питомий опір при зрушенні з місця, Н/кН.

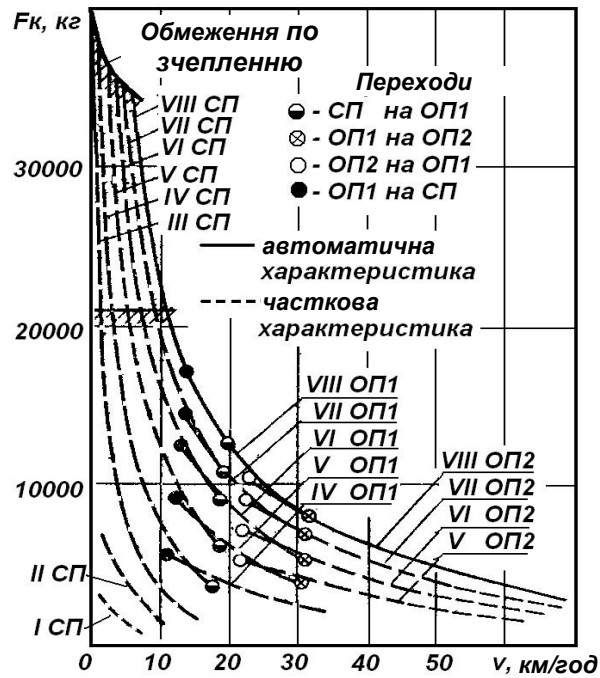


Рис. 3.5 – Тягові характеристики тепловоза ТЭМ 2

Основний питомий опір руху локомотива w_0' та додатковий питомий опір при зрушенні составу з місця $w_{зр}$ визначаються за методикою [126]. Основний питомий опір руху вагонів составу w_0'' розраховується як середньозважена величина основного питомого опору руху його відчепів і корегується після відриву від составу чергового відчепу; при цьому величина w_{0i}'' для кожного вагону входить в структуру моделі составу. Величини додаткових опорів руху від середовища та вітру $w_{св}$, стрілок та кривих $w_{ск}$ розраховуються за методикою [124].

Додатковий питомий опір від ухилу w_i приймається чисельно рівним середньому ухилу i , на якому знаходиться маневровий состав; при цьому на підйомі значення i додатне ($i > 0$), а на спуску – від'ємне ($i < 0$). Середній ухил

i , на якому знаходиться состав, коли його перша вісь перебуває в точці з координатою S_j , визначається за різницею відміток першої $h(S_j)$ та останньої вісі $h(S_j - l_c)$ составу

$$i(S_j) = \frac{h(S_j) - h(S_j - l_c)}{l_c}, \quad (3.15)$$

де l_c – довжина маневрового составу, м.

У зв'язку з тим, що в процесі розформування на сортувальній гірці автоматичні гальма составу, як правило, не включаються, зменшення його швидкості здійснюється лише за рахунок гальмівної сили маневрового локомотива, питома значення b_T якої розраховується за наступною формулою [126]:

$$b_T = 1000 \theta_p \varphi_{кр}, \quad (3.16)$$

де θ_p – розрахунковий гальмівний коефіцієнт;

$\varphi_{кр}$ – розрахунковий коефіцієнт тертя гальмівних колодок.

Значення θ_p та $\varphi_{кр}$ визначаються за допомогою методики [142] в залежності від кількості гальмівних осей локомотива, а у випадках включення гальм в составі – і від кількості осей вагонів, в яких задіяні автогальма. При цьому слід зауважити, що гальмівна сила b_T з моменту переведення крана машиніста в гальмове положення зростає поступово до свого максимального значення. Крім того, при моделюванні гальмування маневрового составу слід враховувати час, потрібний на реакцію машиніста. В цьому зв'язку, розрахунковий гальмівний коефіцієнт θ_p в (3.16) розглядається як функція від тривалості гальмування $t_{гал}$, значення якої приймається згідно з [142].

Особливістю моделювання розпуску составу є зміна його параметрів при відриві відчепів. В цьому зв'язку необхідно на кожному кроці Δt контролювати можливість відриву чергового відчепу. Після фіксування відриву відчепу в моделі виконується відповідне зменшення довжини та маси составу;

при цьому змінюється координата його першої осі S_j та перераховується 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 составу в моделі описується за допомогою диференційного рівняння другого порядку $S'' = f(t, S, S')$, в якому незалежною змінною є час t :

$$S'' = \frac{d^2 S}{dt^2} = g' f_p 10^{-3}, \quad (3.17)$$

Використання рівняння руху (3.17) дозволяє виконувати сумісне моделювання процесів розпуску составу та скочування його відчепів. Відомо, що рівняння (3.17) має єдиний розв'язок, якщо його права частина $f(S, V)$ неперервна та диференційована. Проте характер зміни сили f_p у даному виразі 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 составу також змінюється нерівномірно. Опір руху в кривих w_{ck} являє собою ступінчасту функцію, розриви якої мають місце в точках заняття та звільнення маневровим составом криволинійних ділянок колії. Крім того, в момент відриву на ВГ чергового відчепу змінюються параметри составу. Тому в моделі було прийнято, що в межах кроку інтегрування Δt режим руху маневрового составу залишається постійним; з цією метою обраний достатньо мала величина кроку $\Delta t = 1$ с. В режимі тяги в межах Δt позиція контролера n_k не змінюється; при цьому в кінці кроку здійснюється аналіз швидкості составу і при необхідності корегується режим роботи локомотива та моделювання повторюється.

Аналогічно, гальмівна сила b_t на кожному кроці Δt приймається постійною і, якщо швидкість составу 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 Δt ні голова маневрового составу, 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 составу виконується з використанням диференційного рівняння руху першого порядку $V' = f(S, V)$ з незалежною змінною S :

$$V' = \frac{dV}{dS} = g' \cdot \frac{f_p}{V}, \quad V > 0. \quad (3.18)$$

На останньому n -му кроці моделювання переміщення составу виконується за допомогою рівняння (3.17) на час $\Delta t' = \Delta t - \Delta t^*$, що залишився до кінця початкового кроку Δt . Аналогічний алгоритм використовується і для моделювання руху составу при відриві від нього на ВГ чергового відчепу.

Для забезпечення неперервності функцій $i(S)$ та $f_k(V)$ в моделі використовувалась методика сплайн-апроксимації поздовжнього профілю колії [22] та тягових характеристик локомотива. Інтегрування диференціальних рівнянь руху (3.17) та (3.18) виконувалось за методом Рунге-Кутта IV порядку [23].

3.3.3 Моделювання режимів насуву составу

При моделюванні состав, що розформовується, розглядається як керована система, що функціонує в умовах дії зовнішніх та внутрішніх факторів, а також керуючих впливів [13]. Керований рух составу визначається режимом роботи гіркового локомотива. При цьому основними керованими параметрами є дотична сила тяги F_k та гальмівна сила B_t маневрового тепловоза, що залежать від встановленої позиції контролера n_k та положення крана допоміжного гальма (ум. № 254) n_t (див. табл. 3.1).

В процесі моделювання необхідно обрати таке керування гірковим локомотивом, щоб швидкість составу в момент завершення насуву $t_{3н}$ дорівнювала потрібній швидкості розпуску v_0 , а подальша фазова траєкторія $V(t)$ для

всіх $t_{\text{зн}} \leq t \leq t_{\text{к}}$ відповідала встановленому режиму розформування, де $t_{\text{к}}$ – кінцевий момент руху составу. Початковий момент часу t_0 приймається рівним нулю; в якості кінцевого моменту $t_{\text{к}}$ розглядається момент відриву від локомотива останнього відчепа.

Таблиця 3.1

Режими роботи гіркового локомотива

Режим	Положення органів керування		Керовані параметри	
	$n_{\text{к}}$	$n_{\text{т}}$	$F_{\text{к}}$	$B_{\text{т}}$
Тяга	1	2	min	0
	8	2	max	0
Вибіг	0	2	0	0
	0	3	0	min

В роботі було розроблено алгоритм керування гірковим тепловозом, який, окрім вимог з безпечного виконання маневрової роботи та експлуатації локомотивів, враховує й біхевіоральні фактори, що пов'язані з керуючими діями машиніста. Даний алгоритм забезпечує плавний розгін та подальший рух составу з швидкістю, близькою до встановленої швидкості розпуску v_0 . При цьому фактична швидкість $v_{\text{ф}}$ на кожному кроці Δt може відхилитись від заданої швидкості руху v_0 на величину похибки реалізації δ : $v_{\text{доп}} = [v_0 - \delta; v_0 + \delta]$

В початковий момент часу t_0 для зрушення составу з місця встановлюється режим тяги, при цьому контролер машиніста переміщується на першу позицію ($n_{\text{к}} = 1$). Подальший набір позицій виконується з мінімально допустимою затримкою контролера в кожному положенні (3 с). У випадку, коли состав не вдається зрушити з місця протягом 10 с [139], то констатується необхідність попереднього його осаджування, та моделювання насуву припиняється.

При керуванні локомотивом машиніст, покладаючись на власний досвід, прогнозує характер руху маневрового составу та заздалегідь вживає заходи щодо дотримання встановленого режиму насуву. Так, при наближенні швид-

кості руху до встановленої швидкості розпуску v_0 машиніст забезпечує плавний вихід на неї, заздалегідь зменшуючи силу тяги локомотива F_k . Аналогічно здійснюються й зниження швидкості руху, при якому машиніст, беручи до уваги інерційність систем локомотива та оцінюючи запас кінетичної енергії составу, по чергово застосовує режими гальмування та вибігу.

Враховуючи вказані обставини в моделі було встановлено зону регулювання швидкості $[v_{\text{доп}} - 0,5; v_{\text{доп}}]$, при досягненні якої процес розгону з максимальним темпом переводу контролера завершується, і модель переходить в режим прогнозного керування рухом составу. В даному режимі на кожному кроці моделювання Δt , в залежності від величини питомого опору руху w_k та режиму роботи локомотива на попередньому кроці, виконується пошук такої комбінації керуючих впливів (n_k, n_t) , яка б на протязі періоду прогнозування $t_{\text{пр}}$ забезпечувала допустимий режим руху составу. При цьому слід зауважити, що робота маневрового тепловоза в режимі постійних розгонів-сповільнень призводить до підвищення витрат палива [90] та негативних динамічних реакцій состава [36]. У зв'язку з цим необхідно обмежити частоту зміни режиму роботи гіркового локомотива, для чого в моделі величина періоду $t_{\text{пр}}$ приймається рівною $t_{\text{пр}} = 2\Delta t = 2 \text{ с}$. Нижче наведений алгоритм прогнозного керування рухом составу для різних режимів роботи локомотива.

В режимі тяги виконується пошук максимально можливої позиції контролера машиніста n_k , при якій би в межах періоду $t_{\text{пр}}$ забезпечувалась допустима швидкість руху $v_{\text{доп}}$. Причому, перевід контролера в бік скидання навантаження дозволяється виконувати одразу на декілька позицій та до завершення мінімально допустимої витримки часу (3 с). Якщо така позиція не знайдена, то область пошуку допустимого керування гірковим локомотивом на даному кроці переміщується на режим вибігу.

В режимі вибігу за допомогою (3.17) виконується розрахунок швидкості v_{j+2} , з якою рухатиметься состав в кінці поточного періоду прогнозування $t_{\text{пр}}$.

Якщо швидкість v_{j+2} перевищить максимально допустиму ($v_{j+2} > v_{\max}$), то для моделювання руху составу в межах даного періоду $t_{\text{пр}}$ встановлюється режим гальмування.

У випадку, коли в режимі вибігу прогнозована швидкість v_{j+2} опуститься нижче мінімально допустимої ($v_{j+2} < v_{\min}$), необхідно перевірити, чи не виконувався на поточному кроці t_j пошук допустимого керування в режимі тяги. Якщо такий пошук мав місце, то з міркувань безпеки виконання маневрової роботи для моделювання руху составу в межах даного періоду $t_{\text{пр}}$ встановлюється режим вибігу. В протилежному випадку відбувається перехід до режиму тяги, причому набір навантаження обов'язково виконується починаючи з першої позиції ($n_k = 1$).

Аналогічно, в режимі гальмування визначається швидкість v_{j+2} в кінці поточного періоду прогнозування $t_{\text{пр}}$. Якщо дана швидкість виявиться нижчою за мінімально допустиму ($v_{j+2} < v_{\min}$), а состав знаходиться на прискорюючому ухилі ($w_k < 0$), то необхідно перевірити, чи не виконувався на поточному кроці t_j пошук допустимого керування в режимі вибігу. У випадку, коли такий пошук мав місце, для моделювання руху в межах даного періоду $t_{\text{пр}}$ встановлюється режим гальмування. В протилежному випадку виконується перехід до режиму вибігу. Інакше, коли $v_{j+2} < v_{\min}$ та $w_k \geq 0$, для моделювання приймається режим тяги ($n_k = 1$).

В процесі моделювання процесу насуву визначаються початкові швидкості відчепів v_{0i} на ВГ, які передаються в програмний модуль розформування составів для подальшого моделювання процесу скочування вагонів на сортувальні колії. Крім того в результаті моделювання насуву составу визначаються витрати палива G гірковим локомотивом, методику розрахунку яких розглянуто нижче.

3.4 Моделювання процесу скочування відчепів

Головною метою моделювання скочування відчепів є визначення їх фазових координат s, v, t на кроці Δt , а також визначення моментів подій, які можуть відбутися на даному кроці (зайняття та звільнення РК, нагін, зіткнення та ін.).

Переміщення відчепа на кроці Δt , аналогічно переміщенню состава, описується за допомогою диференціального рівняння другого порядку (3.17) при початкових умовах $S(T_j) = S_j$ та $S''(T_j) = V_j$; при цьому для вирішення рівняння (3.17) використовується метод Рунге-Кутта четвертого порядку [23], що дозволяє знайти значення координати відчепа S_{j+1} і його швидкості V_{j+1} в момент $T_{j+1} = T_j + \Delta t$. Слід відмітити, що для забезпечення безперервної дії сил на відчеп, що скочується, при інтегруванні постійний інтервал Δt може коригуватись в спосіб, описаний раніше. Така необхідність може виникати, коли відчеп проходить через контрольні точки плану гірки (стрілки, уповільнювачі та ін.).

Миттєве значення ухилу, яким рухається центр тяжіння відчепа, коли його перша вісь знаходиться в точці S визначається як

$$i(S) = \frac{1}{Q} \sum_{j=1}^m \left(\frac{Q_{vj}}{v_{vj}} \sum_{k \in v_{vj}} (S - e_k) \right), \quad (3.19)$$

де Q – маса відчепа, т;

Q_{vj}, v_{vj} – відповідно, маса та кількість осей j -го вагона відчепа, т;

S – координата першої осі відчепа;

e_k – відстань до першої осі відчепа.

При скочуванні відчепа від вершини гірки до точки прицілювання на колії сортувального парку на нього діють сили опору, які мають випадковий характер, а саме: основний опір, опір стрілок та кривих, а також опір середовища і вітру.

При імітаційному моделюванні процесу розформування составів окреме

випадкове значення основного питомого опору руху одиночного вагона визначається за формулою [124]

$$w_0 = -\frac{1}{b} \ln \left(\prod_{i=1}^a R_i \right), \quad (3.20)$$

де a, b – параметри гамма-функції розподілення випадкової величини, що залежать від вагової категорії відчепа;

R_i – випадкові числа, що рівномірно розподілені в інтервалі $(0; 1)$.

Опір від стрілочних переводів та кривих визначається за формулою

$$w_{\text{ск}} = K_{\text{ск}} v^2, \quad (3.21)$$

де $K_{\text{ск}}$ – середньозважений коефіцієнт опору від стрілок і кривих.

Величина $K_{\text{ск}}$ визначається на кожному кроці переміщення відчепа як середнє значення для всіх його осей. Для розрахунку $K_{\text{ск}}$ в моделі гірки міститься інформація про розміщення та параметри стрілочних переводів, а також про криві на насувній та спускній частині гірки і на сортувальних коліях.

Миттєве значення питомого опору від середовища та вітру в моделі визначається за формулою [124]

$$w_{\text{св}} = K_{\text{св}} v_{\text{від}}^2, \quad (3.22)$$

де $v_{\text{від}}$ – відносна швидкість відчепа з урахуванням напрямку вітру, м/с;

$K_{\text{св}}$ – приведений коефіцієнт повітряного опору, що залежить від параметрів вагонів відчепа, а також від температури навколишнього середовища.

Моделювання роботи уповільнювачів гальмових позицій спускної частини гірки виконується за методикою [27] в спеціальному програмному блоці моделі, який безпосередньо взаємодіє з модулем розпуску. Задачею вказаного блоку є реалізація заданої швидкості виходу відчепа з гальмових позицій гірки незалежно від прийнятого алгоритму регулювання.

В результаті моделювання розпуску визначаються витрати електроенергії E на гальмування відцепів, величини інтервалів між відчепами на розділових стрілках δt , довжини вікон $L_{\text{вік}}$ та швидкості співударяння вагонів V_c на

сортувальних коліях.

3.5 Методика визначення енергетичних витрат на виконання насуву та розпуску составів на сортувальній гірці

Енергетичні витрати на розформування составу на сортувальній гірці складаються з витрат палива G гірковим тепловозом на насув та розпуск і електроенергії E на гальмування відчепів.

3.5.1 Оцінка витрат палива на насув та розпуск составів

В теперішній час витрата палива (кг/год) на виконання тепловозом маневрової роботи встановлюється залежно від кількості вагонів, перероблених даними локомотивом за годину [64]. Дана методика не враховує характеристики маневрового тепловоза, параметри маршруту руху, тип напівреса і спосіб виконання маневрів і, як наслідок, не дозволяє визначати витрати палива на розформування составів з достатньою точністю.

Вказані параметри можуть бути враховані шляхом виконання тягових розрахунків маневрових операцій. При цьому величина витрати палива у відповідності до [126] визначається як:

$$G = \sum_1^n g_T \Delta t + g_x t_x, \quad (3.23)$$

де n – кількість кроків Δt , пройдених в режимі тяги;

g_T – витрати палива, що відповідають середній постійній швидкості руху при встановленій позиції контролера машиніста на кроці Δt , кг/хв;

g_x – витрати палива силовими установками під час режиму вибігу, кг/хв;

t_x – тривалість руху в режимі вибігу, хв.

Величина g_T повинна визначатися за витратними характеристикам в залежності від встановленої позиції n_k контролера машиніста (ПКМ) і швидкості руху v_j на кроці. При цьому в [126] вказані витратні характеристики манев-

врових тепловозів представлені тільки для 8-ї ПКМ. В той же час, як зазначалося раніше, насув та розпуск составів виконуються в основному на 1-4-й ПКМ. У зв'язку з цим вираз (3.23) не може бути використаний для визначення витрати палива G маневровими тепловозами на розформування составів.

В результаті аналізу публікацій встановлено наявність кількох альтернативних до [126] методик визначення витрати палива G маневровими локомотивами.

Методика 1. Величина витрати палива G може бути визначена як [88]:

$$G = \sum_{j=1}^n g_{ej} \frac{N_{ej}}{\eta_{пj}} \Delta t + \sum_{i=1}^m g_{xi} \Delta t, \quad (3.24)$$

де j, n – відповідно, номер кроку, пройденого в режимі тяги, і загальна кількість таких кроків;

i, m – відповідно, номер кроку, пройденого в режимі холостого ходу, і загальна кількість таких кроків;

N_{ej} – ефективна потужність дизеля, кВт;

g_{ej} – питома витрата палива, віднесена до ефективної потужності дизеля, кг/кВт·с ;

$\eta_{пj}$ – ККД передачі локомотива;

g_{xi} – витрата палива в одиницю часу при роботі дизеля в режимі холостого ходу, кг/с.

У виразі (3.24) величина питомої витрати палива g_{ej} на j -му кроці, пройденому в режимі тяги, являє собою функцію $g_{ej} = f(N_{ej})$ від реалізованої на даному кроці ефективної потужності N_{ej} . Відомо, що залежність питомої витрати палива від ефективної потужності дизеля N_e при постійній частоті обертання його колінчастого валу n_d описується навантажувальними характеристиками локомотива [42]; при цьому вказані характеристики існують для ко-

жної частоти n_d . Постійна частота обертів n_d підтримується регуляторами тепловозів для кожної ПКМ [138]; величина n_d за позиціями контролера локомотивів ТЭМ2 та ЧМЭЗ прийнята згідно [139, 109] і наведена в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Частота обертів колінчастого валу n_d , об/хв

Локомотив	Позиція контролера машиніста n_k							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ТЭМ2	300	300	330	400	480	570	650	750
ЧМЭЗ	350	380	420	460	510	560	660	750

Таким чином, питома витрата g_{ej} визначається за відповідними навантажувальним характеристикам тепловоза $g_{ej} = f(N_{ej}, n_{kj})$ в залежності від ефективної потужності N_{ej} і встановленої на j -му кроці ПКМ n_{kj} .

Навантажувальні характеристики тепловозів ТЭМ2 та ЧМЭЗ наведені в [139] і [63] відповідно; при цьому для локомотива ЧМЭЗ вказана характеристика представлена лише для 8-ї ПКМ. В той же час в інструкції [63] є універсальна трьохпараметрова характеристика дизеля *K6S310DR* (див. рис. 3.6), шляхом перетворення якої можливо отримати навантажувальні характеристики $g_e = f(N_e, n_k)$ для кожної ПКМ тепловоза ЧМЭЗ.

Порядок переходу від універсальної до навантажувальних характеристик наступний. Для побудови навантажувальних характеристик на наявній універсальній характеристиці тепловоза (рис. 3.6) до осі абсцис в точках, що відповідають частоті обертів n_d для кожної ПКМ (табл. 3.2), встановлюються перпендикуляри. В точках перетину вказаних перпендикулярів з сімейством графіків середнього ефективного тиску на поршень $P_e = f(n_d, N_e)$ для кожної позиції n_k методом інтерполяції визначається величина питомої ефективної витрати палива g_e . Отримані залежності $g_e = f(N_e)$ для кожної позиції контролера n_k тепловоза ЧМЭЗ наведено на рис. 3.7.

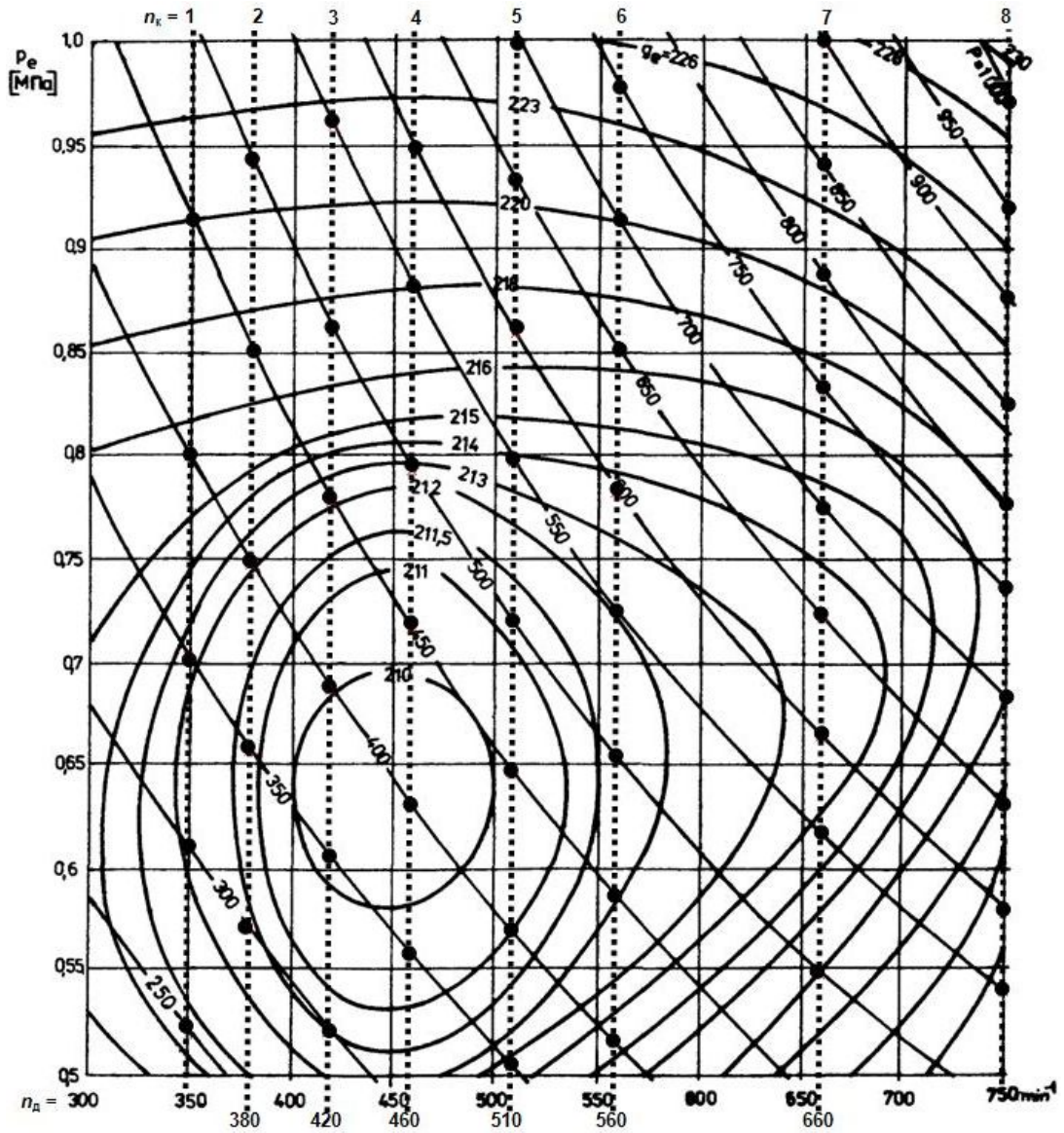


Рис. 3.6 – Універсальна характеристика дизеля K6S310DR

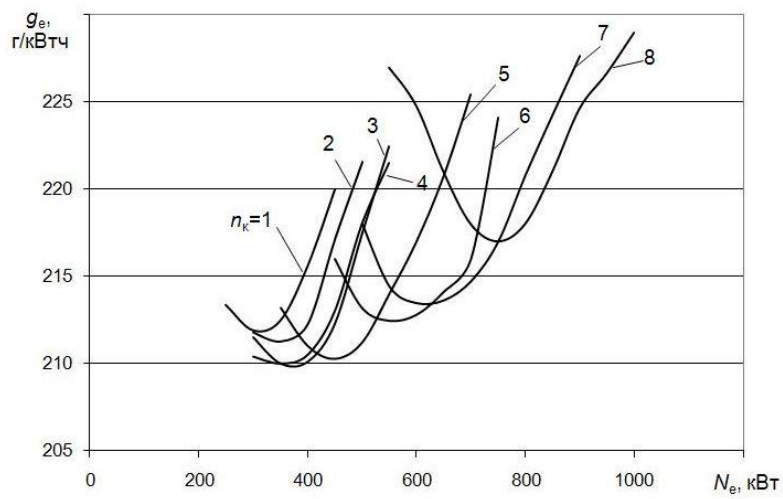


Рис. 3.7 – Навантажувальні характеристики $g_e = f(N_e, n_k)$ тепловоза ЧМЭЗ

Величина ефективної потужності N_{ej} на j -му кроці, визначається за формулою [138]:

$$N_{ej} = \frac{N_{kj}}{\eta_{пj}(1 - \beta_j)}, \quad (3.25)$$

де N_{kj} – дотична потужність локомотива, кВт, яка визначається як [138]:

$$N_{kj} = \frac{F_{kj} v_j}{3,6}; \quad (3.26)$$

де β_j – частка потужності дизеля, що витрачається на привід допоміжного обладнання локомотива.

Відомо, що ККД передачі локомотива $\eta_{п}$ безперервно змінюється в широкому діапазоні, а величина β_j залежить від задіяного в поточний момент допоміжного обладнання [108]. В той же час в [126] відсутня методика визначення вказаних параметрів для виконання тягових розрахунків. У цьому зв'язку величини β_j та $\eta_{пj}$ приймаються постійними і відповідно до [138] складають $\beta = 0,12$; $\eta_{п} = 0,8$.

Витрати палива g_{xi} на кожному i -му кроці, пройденому в режимі вибігу або гальмування, також приймаються як постійна величина, яка для тепловозів ЧМЭЗ та ТЭМ2 становить, відповідно, 0,15 і 0,10 кг/хв [126].

Таким чином, на кожному кроці моделювання Δt перевіряється встановлена позиція контролера n_k . Якщо за умовами руху використовується режим тяги ($n_k > 0$), то відповідно до обраної позиції n_{kj} і швидкості руху v_j за тяговими характеристиками визначається величина сили F_{kj} . При відомому значенні сили тяги F_{kj} за допомогою виразів (3.25), (3.26) розраховується величина ефективної потужності дизеля N_{ej} , відповідно до якої, використовуючи отримані залежності $g_e = f(N_e, n_k)$, визначається питома витрата палива g_{ej} на j -му кроці. В іншому випадку (встановлений режим вибігу або гальмування) витрата палива на i -му кроці визначається за прийнятою для даного

локомотива величиною g_{xi} .

Слід зазначити, що в області малих швидкостей ($v_j \leq 10$ км/год) величина ефективної потужності N_{e_j} , що отримана за допомогою (3.25), може виявитися меншою, ніж її нижня границя $N_{e_{\min}}$, при якій існує навантажувальна характеристика $g_e = f(N_e, n_k)$ для встановленої на кроці позиції n_{kj} (рис. 3.7). У такому випадку величина g_{e_j} на j -му кроці моделювання приймається рівною питомій витраті палива, що відповідає потужності $N_{e_{\min}}$ для позиції n_{kj} . Дана обставина в сукупності з раніше прийнятим допущенням про сталість величин β_j та $\eta_{\pi j}$ вносять певну похибку в розрахунки витрат палива, виконаних за допомогою даної методики.

Методика 2. Величина витрати палива G може бути визначена як [109]:

$$G = \sum_{j=1}^n g_{kj} \Delta t + \sum_{i=1}^m g_{xi} \Delta t, \quad (3.27)$$

де g_{kj} – витрата палива в одиницю часу при роботі дизеля під навантаженням, кг/с;

g_{xi} – витрата палива в одиницю часу при роботі дизеля в режимі холостого ходу, кг/с.

В режимі тяги величина витрати палива g_{kj} приймається у відповідності з встановленою на j -му кроці позицією n_{kj} . Величина g_{kj} (при роботі дизеля за тепловозною характеристикою) для кожної ПКМ локомотива ЧМЭЗ прийнята згідно [109] і наведена в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Годинна витрата палива тепловозом ЧМЭЗ

Показник	Позиція контролера машиніста n_k							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Витрата палива g_k , кг/год	31	63	96	110	120	160	174	180

Величина витрати палива g_{xi} при роботі дизеля в режимі холостого ходу визначається аналогічно методиці 1.

Методика 3. Автором [30] для визначення витрати палива маневровим тепловозом з електричною передачею пропонується використовувати величину ефективної роботи A_T дизель-генераторної установки (ДГУ). При цьому годинна витрата палива $g_{\text{ч}}$ пов'язана з роботою A_T лінійною залежністю виду:

$$g_{\text{ч}} = g_x + bA_T, \quad (3.28)$$

де g_x - витрата палива дизелем при роботі на холостому ходу, кг/год;

b – постійний коефіцієнт, що характеризує норму витрати палива на 1 кВт·год ефективної роботи ДГУ, кг/кВт·год.

Величина витрати палива g_x при роботі дизеля тепловоза в режимі холостого ходу приймається відповідно до [126].

Величини коефіцієнта b може бути визначення на основі звітних даних системи «БИС-Р», яка дозволяє вимірювати миттєву витрату палива локомотивом, а також фіксувати електричну потужність його ДГУ [54]. На основі цих даних вказана система дає можливість сформувати звіт про витрати палива і виконану генератором тепловоза роботу за необхідний період (рис. 3.8).

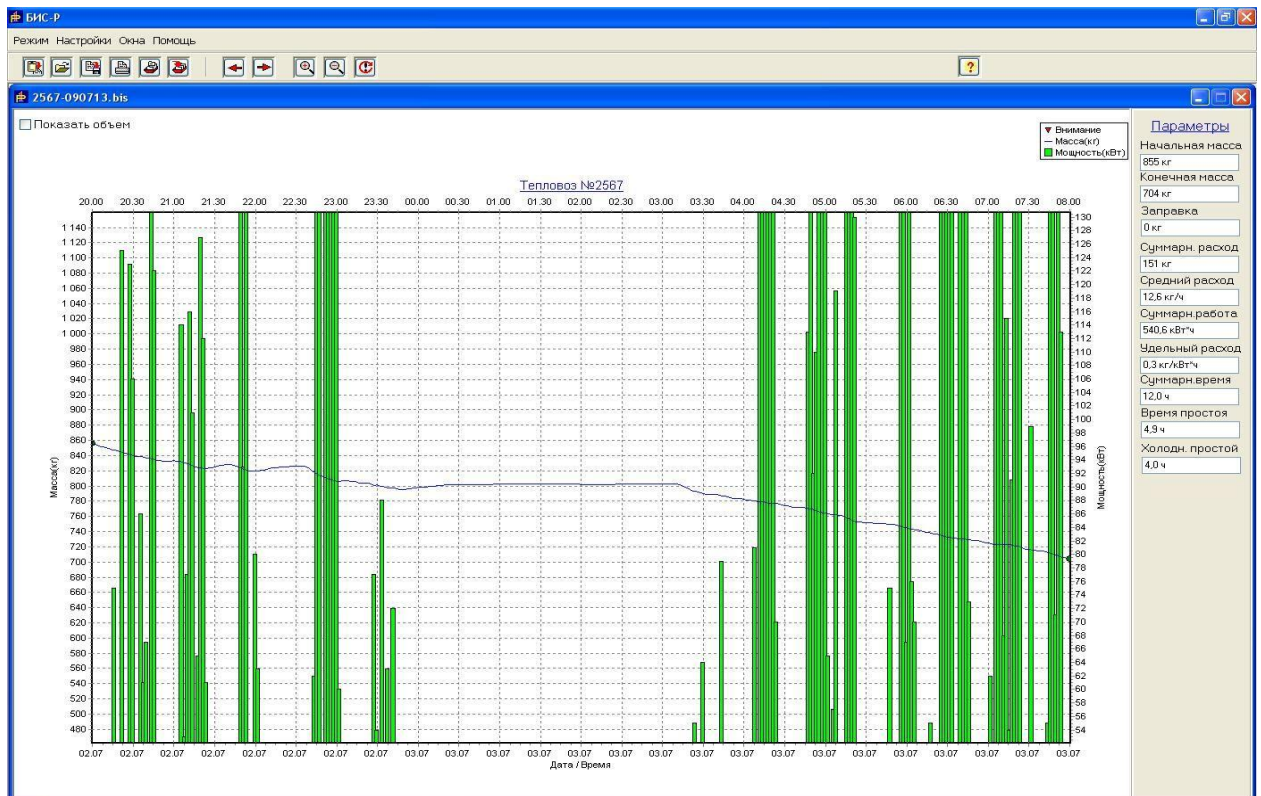


Рис. 3.8 – Звіт системи «БИС -Р»

Як приклад, в табл. 3.4 наведені звітні дані за 24 зміни роботи тепловоза ЧМЭЗ-2567, що виконував розформування составів в парній системі сортувальної станції Нижньодніпровськ-Вузол. Як видно з таблиці, середнє значення коефіцієнта склало $b = 0,28$ кг/кВт·год.

Таблиця 3.4

Розрахунок коефіцієнта b

Зміна	Паливо, кг				Робота ДГУ, кВт·год	b , кг/кВт·год	Зміна	Паливо, кг				Робота ДГУ, кВт·год	b , кг/кВт·год
	прийнято	екіпування	здано	витрата				прийнято	екіпування	здано	витрата		
1	1769	0	1566	203	1026,9	0,20	13	2650	0	2433	217	747,0	0,29
2	1566	0	1363	203	705,8	0,29	14	2433	0	2206	227	886,3	0,26
3	1363	0	1194	169	602,2	0,28	15	2206	0	1983	223	788,8	0,28
4	1194	0	1024	170	664,7	0,26	16	1983	0	1784	199	699,0	0,28
5	1024	0	855	169	792,1	0,21	17	1784	0	1546	238	850,8	0,28
6	855	0	704	151	540,6	0,28	18	1546	0	1324	222	729,8	0,30
7	704	3260	3776	188	730,0	0,26	19	1324	0	1087	237	1084,0	0,22
8	3776	0	3583	193	545,5	0,35	20	1087	0	916	171	650,6	0,26
9	3583	0	3363	220	705,0	0,31	21	916	1601	2368	149	597,7	0,25
10	3363	0	3120	243	660,2	0,37	22	2368	0	2242	126	464,4	0,27
11	3120	0	2859	261	912,3	0,29	23	2242	0	1996	246	762,6	0,32
12	2859	0	2650	209	666,8	0,31	24	1996	0	1910	86	298,5	0,29
Середнє значення коефіцієнта b													0,28

Величина ефективної роботи ДГУ A_r визначається як [135]

$$A_r = \sum_{j=1}^n N_{rj} \Delta t, \quad (3.29)$$

де N_{rj} – потужність ДГУ на j -му кроці, пройдену в режимі тяги, кВт, яка визначається за формулою [138]:

$$N_{rj} = \frac{N_{kj}}{\eta_{тд}}, \quad (3.30)$$

де $\eta_{тд}$ – ККД тягових двигунів.

Величина $\eta_{тд}$ у відповідності з [138] прийнята постійною ($\eta_{тд} = 0,98$).

Методика 4. Принципово іншим підходом є визначення витрати палива G на основі даних про виконану локомотивом механічну роботу [85]:

$$G = \sum_{j=1}^n k_j R_{лj}, \quad (3.31)$$

де k_j – коефіцієнт переходу;

$R_{лj}$ – механічна робота сили тяги, $\text{т} \cdot \text{км}$, яка визначається як [89]:

$$R_{лj} = F_{кj} \Delta S_j, \quad (3.32)$$

де ΔS_j – переміщення составу на кроці, км .

Коефіцієнт переходу k_j являє собою співвідношення, виражене в кілограмах дизельного палива, що витрачається на виконання локомотивом $1 \text{ т} \cdot \text{км}$ механічної роботи; при цьому для маневрових тепловозів даний коефіцієнт приймається як постійна величина $k_j = 0,85 = 0,85$ [85].

Автором [84] виконані дослідження на предмет уточнення величини вказаного коефіцієнта для ряду магістральних і маневрових локомотивів, в результаті чого отримані наступні залежності:

$$k_j = \begin{cases} -0,00002v_j^2 - 0,0021v_j + 0,969 & \text{для ТЭМ2,} \\ 0,00002v_j^2 - 0,0030v_j + 0,920 & \text{для ЧМЭЗ.} \end{cases} \quad (3.33)$$

Таким чином, на кожному j -му кроці моделювання за встановленою позицією $n_{кj}$ визначається дотична сила тяги $F_{кj}$ і середня швидкість руху v_j . Потім, використовуючи дані величини, за допомогою виразів (3.32), (3.33) розраховуються, відповідно, виконана механічна робота $R_{лj}$ і коефіцієнт переходу k_j , на основі яких за формулою (3.31) визначається витрата пального на черговому кроці.

З метою виявлення найбільш ефективної методики для визначення витрат палива тепловозами на насув та розпуск составів були виконані експериментальні дослідження за сортувальним процесом в парній системі станції Нижньодніпровськ-Вузол. При цьому для кожного розформованого составу фіксувалися:

– параметри составу;

- тривалість напідреса насуву та розпуску;
- динаміка переводу контролера машиніста при виконанні насуву та розпуску составу;
- моменти відриву відчепів на вершині гірки;
- витрати палива тепловозом (за допомогою системи «БІС-Р»).

Також були отримані дані про конструкцію плану та поздовжнього профілю колій парку прийому 3 і сортувальної гірки парної системи ст. Нижньодніпровськ-Вузол. З використанням вказаних даних і розробленої комплексної моделі виконано імітаційне моделювання розформування 17 реальних составів поїздів; результати моделювання наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

**Результати імітаційного моделювання процесу
насуву та розпуску составів**

№ поїзда	Маса брутто, т	Умовна довжина	Колія парку приймання	Середня швидкість розпуску, м/с	Натурні спостереження		Результати моделювання							
					Тривалість, с	Витрати палива, кг	Тривалість, с	Механічна робота, ткм	Витрати палива за методиками, кг					
									1	2	3	4		
													k згідно (3.33)	$k = 0,85$
3524	3124	43	2з	1,19	729	6,89	728	10,2	17,43	16,71	7,57	9,52	8,67	
3702	2253	54	5з	1,30	821	8,34	826	9,96	19,66	16,18	7,53	9,28	8,47	
3510	1255	46	3з	1,56	668	3,13	670	4,5	14,82	8,80	3,29	4,22	3,83	
2606	2697	57	3з	1,25	831	9,17	835	9,7	19,96	16,61	7,36	9,05	8,25	
3506	3117	44	5з	1,24	883	10,41	887	11,73	21,2	19,34	8,82	10,95	9,97	
3712	2145	45	3з	1,19	874	7,06	879	6,82	20	13,67	5,04	6,37	5,80	
4702	840	10	1з	1,82	532	4,40	539	4,49	11,91	7,56	3,3	4,22	3,82	
3508	1919	26	4з	1,39	797	6,89	794	8,7	18,52	14,82	6,47	8,14	7,40	
3610	1962	24	5з	1,12	978	7,25	980	8,78	22,7	17,06	6,53	8,18	7,46	
3706	2971	43	1з	1,56	618	8,95	622	8,3	20,2	13,08	6,28	7,77	7,06	
2116	1383	57	1з	1,33	730	4,81	734	4,8	22,33	10,16	3,53	4,48	4,08	
1067	891	20	2з	1,86	250	2,46	245	3,14	7,85	4,45	2,27	2,95	2,67	
9668	769	35	2з	2,13	329	2,68	332	2,77	10,34	5,20	2,06	2,61	2,35	
3502	3103	45	5з	1,50	733	6,47	740	11,36	24,36	16,96	8,67	8,47	9,66	
9614	1096	33	2з	1,10	584	3,90	582	3,19	17,22	7,12	2,52	2,98	2,71	
2064	3344	57	4з	1,44	767	7,61	762	9,59	24,71	15,35	7,15	8,97	8,15	
2032	3321	57	4з	1,28	864	10,12	860	12,23	28,43	19,53	9,14	11,42	10,40	
Разом						110,55			321,64	222,60	97,53	119,58	110,72	
Середнє значення				1,43		6,50			18,92	13,09	5,74	7,03	6,51	

В табл. 3.5 наведено величини витрат палива, які отримано при натурних спостереженнях x_i , $i = 1..n$, $n = 17$, і при імітаційному моделюванні з використанням описаних вище методик y_{ij} , $i = 1..n$, $j = 1..5$. Вказані статистичні дані (x_i, y_{ij}) являють собою пов'язані вибірки випадкової величини витрати палива при розформуванні окремих составів.

Відповідно до існуючих методів статистичного аналізу експериментальних даних [68], висновок про прийнятність окремої методики для розрахунку витрати палива гірковими тепловозами необхідно робити на основі перевірки однорідності вибірок даних натурних спостережень і результатів імітаційного моделювання, отриманих з використанням розглянутої методики.

Для перевірки гіпотези про однорідність пов'язаних вибірок може бути використаний T -критерій Уїлкоксона [147]. Перевірка за даним критерієм виконується наступним чином. Прийнято, що $R(Z_i)$ є рангом $|Z_i|$ в ранжирі від меншого до більшого абсолютних значень різниць $|Z_1|, |Z_2|, \dots, |Z_n|$, де величина $|Z_i|$ є різницею даних експериментальних досліджень x_i та імітаційного моделювання y_i ($Z_i = x_i - y_i$).

Визначимо змінні-лічильники $Q(Z_i)$ як:

$$Q(Z_i) = \begin{cases} 1, & \text{при } Z_i > 0, \\ 0, & \text{при } Z_i < 0. \end{cases} \quad (3.34)$$

Статистика T -критерію має вигляд:

$$T^+ = \sum_{i=1}^n R(Z_i)Q(Z_i). \quad (3.35)$$

При виконанні нульової гіпотези статистика з n спостережень

$$T^{++} = \frac{T^+ - \frac{n(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}} \quad (3.36)$$

має асимптотичне стандартне нормальне розподілення з математичним очікуванням 0 та дисперсією 1. Отже, правило прийняття рішень на рівні значимості

5 % має вигляд: якщо $|T^{++}| \leq 1,96$, то гіпотеза однорідності пов'язаних вибірок за критерієм Уїлкоксона приймається, інакше – відхиляється. Результати перевірки однорідності вибірок приведені в табл. 3.6 .

Таблиця 3.6

Статистика критерію Уїлкоксона

Параметр	Методика				
	1	2	3	4	
				$k=0,85$	k розрах.
T^+	129	145	52	76	67
T^{++}	2,52	3,29	-1,18	-0,02	-0,46

Як видно з таблиці, гіпотеза про однорідність пов'язаних вибірок може бути прийнята для методик 3 і 4. При цьому, як показав аналіз, застосування методики 3 вимагає попереднього експериментального визначення коефіцієнта b , який використовується у виразі (3.28) для визначення витрати палива тепловозом. Дана обставина істотно ускладнює процес адаптації вказаної методики до досліджуваного об'єкта, що викликає значні труднощі при необхідності оцінки конструкції сортувальних пристроїв на стадії їх проектування. Тому для подальших досліджень доцільно використовувати методику 4.

Оцінка достовірності методики 4 виконувалась з використанням як постійного, так і розрахункового значення коефіцієнта переходу k ; при цьому в обох випадках отримано задовільні результати. В той же час використання виразу (3.33) для визначення вказаного коефіцієнта дозволяє більш повно врахувати режим роботи гіркового тепловоза.

3.5.2 Оцінка витрат електроенергії на регулювання швидкості скочування відчепів

Гальмування відчепів при їх скочуванні виконується уповільнювачами, для приведення в дію яких витрачаються стиснене повітря та електроенергія. Витрати повітря на включення уповільнювача залежать від обраного ступеня гальмування z , якому відповідає необхідний тиск у гальмівному циліндрі $p_{тц}$. Для визначення витрат на включення уповільнювача в моделі розформування

составу попередньо визначається навантаження колісної пари відчепа q_b , ступінь гальмування z і відповідний тиск в гальмівних циліндрах $p_{\text{тцз}}$. Таким чином, витрати повітря на включення уповільнювачів можна визначити як

$$P_{\text{сп}} = \sum_{i=1}^{K_{\text{вкл}}} V_{\text{цми}} p_{\text{тцзи}}, \quad (3.37)$$

де $K_{\text{вкл}}$ – загальна кількість включень уповільнювачів для гальмування відчепа;

$V_{\text{цми}}$ – об'єм повітromeрежі, м³.

Величина $V_{\text{цми}}$ згідно залежить від типу уповільнювача та згідно [119] становить: для КНП-5 – $V_{\text{цми}} = 0,214$ м³, РНЗ-2М – $V_{\text{цми}} = 0,029$ м³.

Середнє значення тиску $p_{\text{тцз}}$ повітря в гальмівному циліндрі прийнято згідно [119] та представлено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Характеристика ступенів гальмування

Ступінь z	I	II	III	IV
$p_{\text{тцз}}$, кгс/см ²	1,9	3,6	5,4	6,5
$q_{b \text{ min}}$, тс	5,0	9,4	14,0	17,8

Витрати електроенергії на одне включення уповільнювача можна визначити як

$$E_{\text{вкл}} = P_{\text{сп}} \varepsilon_{\text{сп}}, \quad (3.38)$$

де $\varepsilon_{\text{сп}}$ – питомі витрати електроенергії на 1 м³ повітря, кВт·год/м³.

Величина $\varepsilon_{\text{сп}}$ залежить від технічних характеристик компресора та коливається в межах від 0,09 до 0,11 кВт·г/м³ [119].

Таким чином, загальні витрати електроенергії на гальмування окремого відчепа составу при його скочуванні на колію сортувального парку можна визначити як

$$E = \varepsilon_{\text{сп}} \sum_{i=1}^{K_{\text{вкл}}} V_{\text{цми}} p_{\text{тцзи}}.$$

3.6 Програмна реалізація імітаційної моделі

За допомогою розробленої моделі можливо імітувати різноманітні режими розформування составів. Для прикладу на рис. 3.9 наведено результати моделювання насуву та розпуску составу масою 3869 т гірковим локомотивом ТЭМ2. При цьому розглядався режим, в якому розгін составу здійснювався до встановленої швидкості розпуску $v_0 = 1,7$ м/с, після чого його розформування виконувалось з постійною швидкістю. Як видно з рис. 3.9, а, розроблений алгоритм керування локомотивом забезпечує плавний розгін составу та подальший його рух зі швидкістю v_ϕ , близькою до встановленої швидкості розпуску v_0 ($v_\phi \in [1,52; 1,74]$). Слід зауважити, що на заключному етапі розформування (рис 3.9, а, ділянка В-С), коли довжина составу не перевищує 10 вагонів, режим його руху різко змінюється. Ці зміни спричинені зменшенням маси составу в кінці розпуску, що викликає завищену інтенсивність розгону навіть на перших позиціях контролера.

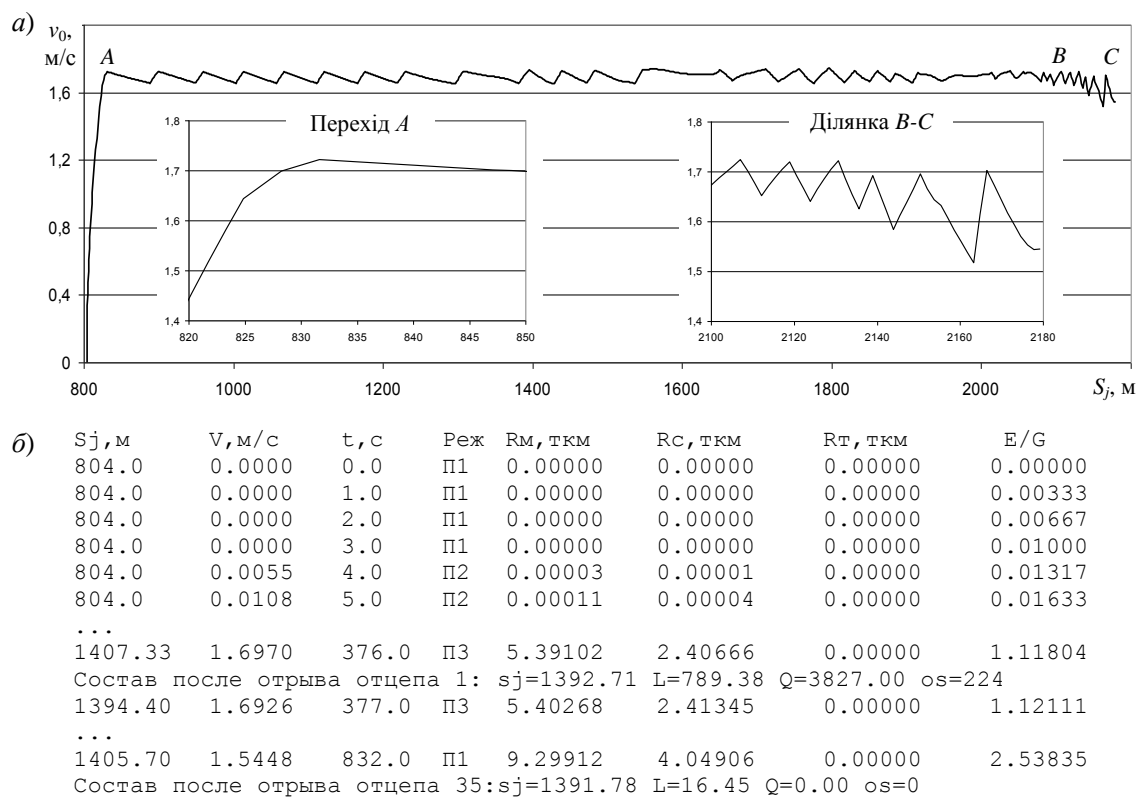


Рис. 3.9 – Результати моделювання насуву та розпуску составу:

а) графік швидкості составу; б) протокол роботи програмного модулю насуву

3.7 Висновки за розділом 2

1. Встановлено, що початкова швидкість кожного відчепа в момент відриву його від составу на вершині гірки є випадковою величиною, значення якої відрізняється від заданої швидкості розпуску v_0 . В той же час величина початкової швидкості відчепів суттєво впливає на умови регулювання їх швидкості при скочуванні з гірки. Тому при моделюванні розформування операції насуву составу та скочування його відчепів необхідно розглядати як взаємопов'язані процеси, перебіг яких необхідно імітувати сумісно.

2. Детальне моделювання процесу руху маневрового составу та режиму роботи гіркового тепловоза можливе шляхом виконання тягових розрахунків; при цьому існуючу методику тягових розрахунків необхідно адаптувати до умов маневрової роботи.

3. Як показав аналіз, існує декілька методик визначення витрат палива на виконання маневрової роботи. Перевірка адекватності вказаних методик для умов розформування составів на гірці виконана за допомогою T -критерію Вілкоксона. При цьому перевірялась гіпотеза про належність до однієї генеральної сукупності вибірок даних про витрати палива, отриманих в результаті експериментальних спостережень (за допомогою системи «БІС-Р») та імітаційного моделювання процесу насуву та розпуску составів при використанні різних методик визначення вказаних витрат. В результаті досліджень встановлено, що величину витрат палива на насув та розпуск составів доцільно визначати на основі виконаної механічної роботи сили тяги гіркового тепловоза. Такий підхід, на відміну від існуючої методики, дозволяє встановити вплив швидкості розпуску, а також параметрів конструкції сортувальної гірки та составів на величину витрат палива.

4. Для забезпечення заданого режиму насуву составів на гірку в моделі використовується алгоритм керування гірковим тепловозом, який забезпечує плавний розгін составу та подальший його рух зі швидкістю, близькою до встановленої. На заключному етапі розформування, коли довжина составу не

перевищує 10 вагонів, коливання швидкості руху составу істотно збільшуються. Ці коливання спричинені зменшенням маси составу в кінці розпуску, що викликає завищену інтенсивність розгону навіть на перших позиціях контролера.

6. Розроблена модель розформування составів дозволяє проводити комплексну оцінку якості сортувального процесу, що необхідно для визначення раціонального режиму функціонування сортувального комплексу.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ З ГОРБАМИ РІЗНОЇ ВИСОТИ

Як показав аналіз, вхідний потік поїздів, які надходять у розформування, характеризується високим ступенем нерівномірності. В цьому зв'язку з метою скорочення експлуатаційних витрат на розформування составів доцільно оперативно змінювати інтенсивність сортувального процесу у відповідності до поточної ситуації на станції та підходах до неї. Крім того підвищити економічну ефективність процесу розформування составів можливо за рахунок приведення потужності СГ до сучасних обсягів переробки вагонопотоків.

Одним з можливих способів забезпечення адаптації потужності СГ до коливань вхідного потоку поїздів є спорудження СГ з коліями насуву, розташованими в різних рівнях. В результаті аналізу досвіду використання таких сортувальних пристроїв встановлено, що існуючі технічні рішення носять специфічний характер та не можуть бути в повній мірі використані з метою скорочення енерговитрат на переробку вагонопотоків на станціях України. У цьому зв'язку виникає задача розробки та оцінки ефективності спеціалізованої конструкції сортувальної гірки з двома горбами різної висоти, використання якої в періоди згущеного підходу поїздів дозволить забезпечити високу швидкість розформування составів, а в періоди зниження інтенсивності вхідного потоку – досягти економії енергоресурсів на насув та розпуск.

4.1 Розробка конструкції гірки з горбами різної висоти

З метою вирішення вказаної проблеми було розроблено сортувальну гірку з горбами різної висоти; при цьому вказаний сортувальний пристрій складається з основної (ОГ) та пониженої (ПГ) гірок. Для проектування сортувальної гірки з горбами різної висоти в роботі була прийнята типова гіркова горловина на 30 сортувальних колій (див. рис. 4.1).

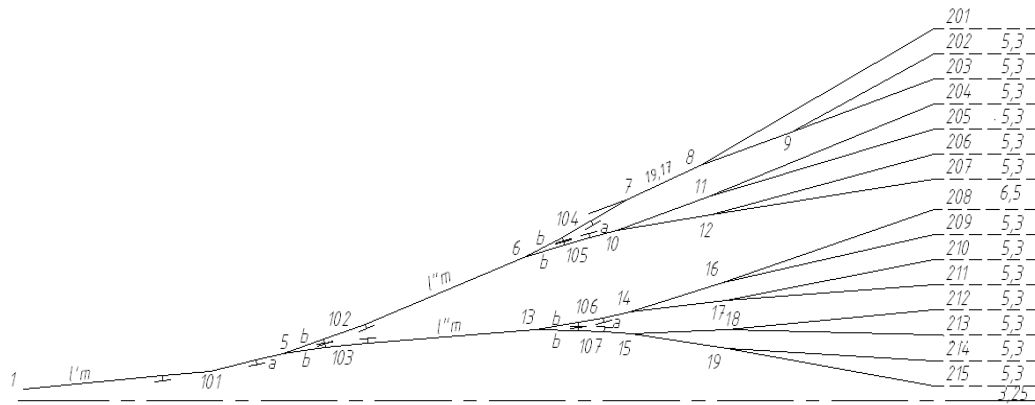


Рис. 4.1 – Схема гіркової горловини

Висота ОГ розраховується згідно діючих вимог [124] та повинна забезпечувати скочування відчепів до розрахункової точки в несприятливих метеорологічних умовах. Розрахункова схема маршруту скочування відчепів з ОГ на важку колію приведена на рис. 4.2.

Точки			Схема розгорнутого плану	Елементи плану			
Назва	При-в'язка	Пара-метр		№ з/п	Назва	Пара-метр 1	Пара-метр 2
Перелом профілю (1)	100	0		1	Пряма	100,0	-
Перелом профілю (2)	32,79	-19,86		2	Крива	12,45	200,00
Перелом профілю (3)	5,0	0		3	Пряма	1,83	-
Вершина гірки (4)	19,75	0		4	Крива	20,94	200,00
				5	Пряма	11,50	-
Розділовий елемент (1)	5,26	11,38		6	Крива	8,02	200,00
Перелом профілю (5)	4,01	0		7	Стрілка	17,51	4,73
				8	Глухе пересіч.	8,08	0,00
Перелом профілю (6)	9,98	15,0		9	Стрілка	17,51	4,73
Розділовий елемент (2)	27,95	26,95		10	Пряма	27,95	-
Уповільнювач ГП1	-0,5	12,475					
Останній уповільнювач ГП1	-13,975	12,475		11	Крива	25,329	200,00
Перелом профілю (7)	-1,5	7,93					
Розділовий елемент (3)	5,26	11,38		12	Стрілка	17,51	4,73
				13	Крива	10,763	200,00
Розділовий елемент (4)	-3,0	26,95		14	Пряма	35,21	-
Уповільнювач ГП2	-3,5	12,475					
Останній уповільнювач ГП2	-16,975	12,475		15	Стрілка	17,51	4,73
Зона сніга, инея	5,76	-					
Розділовий елемент (5)	5,26	11,38		16	Крива	7,97	200,00
Перелом профілю (8)	2,26	2,0		17	Стрілка	17,51	4,73
				18	Пряма	5,26	-
Розділовий елемент (6)	5,26	11,38		19	Стрілка	17,51	4,73
				20	Пряма	6,46	-
Розділовий елемент (7)	5,26	11,38		21	Стрілка	17,51	4,73
Розділовий елемент (8)	-42,334	18,75		22	Крива	68,90	180,00
Уповільнювач ГП3	-43,659	3,6					
Уповільнювач ГП3	-49,909	3,6					
Останній уповільнювач ГП3	-56,159	3,6					
Перелом профілю (9)	-61,759	0,6	26	Пряма	900,00	-	
Розрахункова точка (10)	-42,859	0,6					
Перелом профілю (11)	-400,0	0					

Рис. 4.2 – Розгорнутий план маршруту скочування з ОГ на важку колію

З метою забезпечення сприятливих динамічних якостей поздовжнього профілю гірки при проектуванні його конструкції слід домогтися найбільшого значення крутизни першої швидкісної ділянки, що може бути досягнуто, за рахунок варіювання положення вершини гірки відносно плану гіркової горловини. Результати досліджень впливу положення вершини гірки (ВГ) на параметри її конструкції наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Параметри профілю ОГ при різних положеннях її вершини

Дослід	S_1 , м	$i_1, \%$	$i_2, \%$	$\Delta i_{12}, \%$	d_1 , м	$h_{1\max}$, м	$h_{1\phi}$, м	H_g , м
1	40,00	43,68	18,68	25,0	27,21	2,403	2,414	3,860
2	35,00	46,49	21,49	25,0	21,50	2,396	2,370	3,817
3 опт	34,01	47,30	22,30	25,0	20,31	2,394	2,373	3,820
4	20,00	38,69	38,69	0	0	2,366	2,229	3,675

Як видно з таблиці, оптимальна відстань від ВГ до першого розділового елемента складає $S_1 = 34,01$ м, при якій ухил першого елемента швидкісної ділянки гірки досягає свого максимуму $i_1 = 47,30 \%$. При цьому різниця ухилів першого та другого елементів швидкісної ділянки $\Delta i_{12} = 25 \%$ є максимально допустимою. В результаті визначено висоту основної гірки, яка складає 3,820 м.

З метою забезпечення розпуску на всі колії сортувального парку з кожного горба гірки починаючи з точки перелому профілю 5 (див. рис. 4.2), поздовжні профілі основної та пониженої гірок повинні мати ідентичну конструкцію. Тому, єдиним шляхом досягнення максимального штучного зменшення висоти (відносно розрахункової висоти) пониженої гірки є встановлення мінімально допустимого значення ухилу для першої швидкісної ділянки цієї гірки, в результаті чого визначено висоту пониженої гірки, яка складає 3,520 м. Конструкція насувної частини гірки розроблена згідно наведених в [124] типових рішень; при цьому колія насуву на ПГ має суцільний підйом крутизною 8 %, а насувна колія основної гірки проектується з профільним розділовим елементом на перевальній частині. Розроблена конструкція сортувальної гірки з горбами різної висоти наведена на рис. 4.3

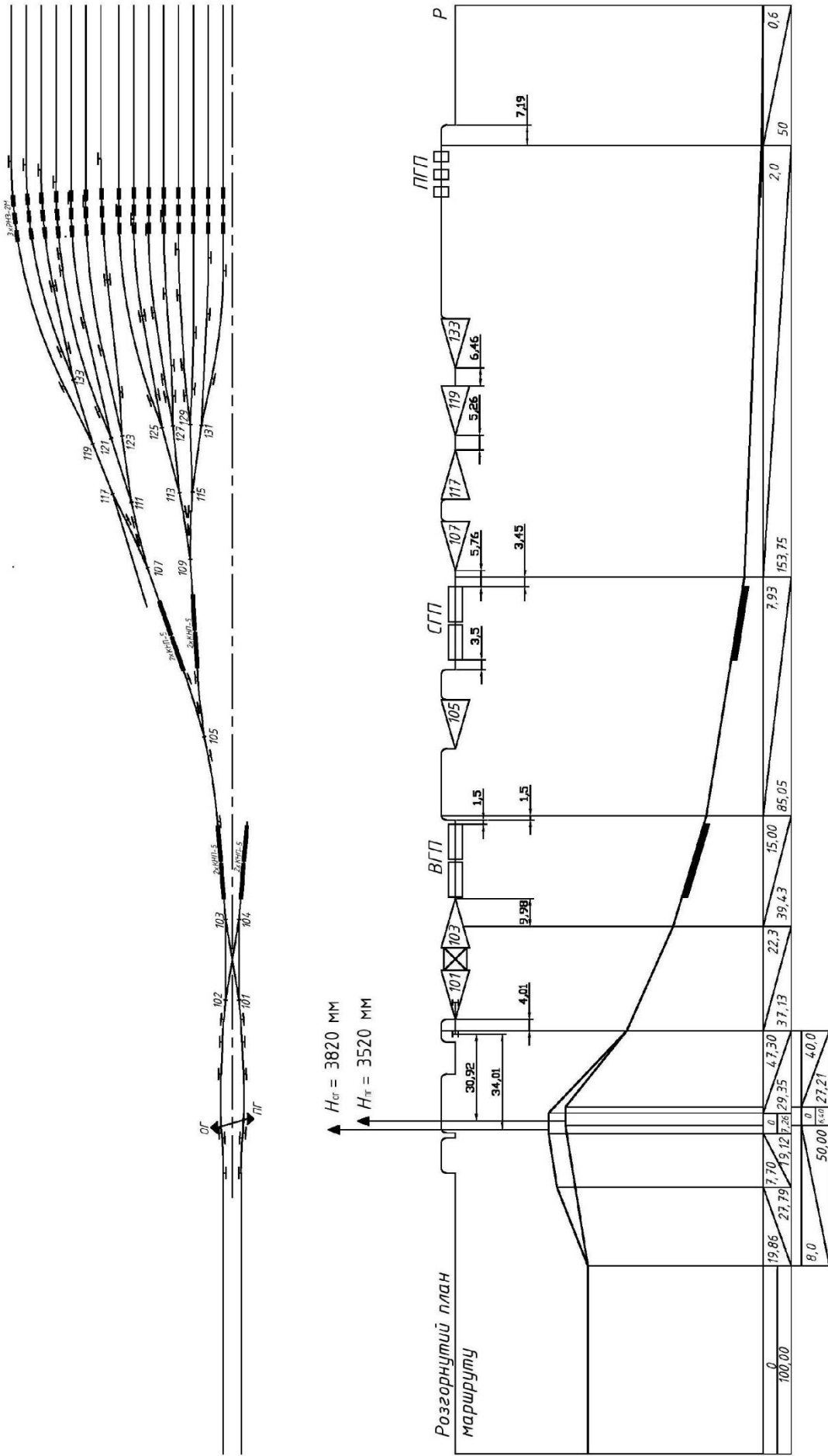


Рис. 4.3 – Конструкція сортувальної гірки з горбами різної висоти

Як видно з рис. 4.3, поздовжній профіль ОГ відрізняється від профілю ПГ тільки в межах між початком насувної частини гірок та першою розділовою стрілкою. Таким чином, кожна з вказаних гірок може використовуватись як самостійний сортувальний пристрій, який забезпечує розпуск составів на всі колії сортувального парку.

Передбачається, що у відповідності до оперативної обстановки розформування составів повинно виконуватись на гірці різної висоти. При цьому в період згущеного прибуття поїздів доцільно використовувати ОГ, яка забезпечить високу інтенсивність сортувального процесу і, як наслідок, дозволить скоротити простій составів в очікуванні розформування та уникнути затримок поїздів на підходах до станції. І, навпаки, при відсутності черги в парку прийому сортувальна робота може здійснюватися зі зменшеною інтенсивністю на ПГ, що дозволить скоротити експлуатаційні витрати на насув та розпуск составів.

4.2 Дослідження ефективності конструкції сортувальної гірки з горбами різної висоти

Оцінка запропонованої конструкції СГ з горбами різної висоти виконана 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 (див. Додаток Б). Кількість вагонів у відчепі моделювалась як дискретна випадкова величина, закон розподілення якої прийнято згідно [131]. Потрібна дальність пробігу для кожного відчепа визначалась з врахуванням надходження на відповідні сортувальні колії вагонів з попередніх розформованих составів. Моделювання процесу розформування 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.

Дослідження процесу насуву составів на ОГ та ПГ виконувалось за допомогою розробленої імітаційної моделі процесу розформування составів на сортувальній гірці; при цьому було прийнято, що для насуву використовується маневровий тепловоз ЧМЭЗ, а колія парку прийому, з якої виконується дана операція, має підйом 2 ‰ в бік СГ.

В результаті моделювання були визначені витрати палива G гірковим тепловозом на розформування составів при різній швидкості розпуску на кожній СГ (рис. 4.4).

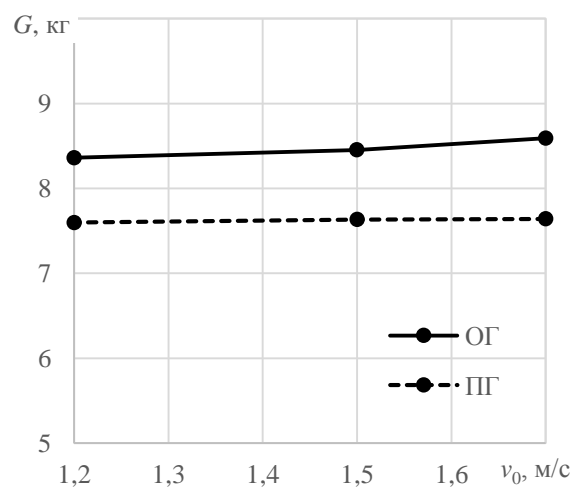


Рис. 4.4 – Залежність витрат палива гірковим тепловозом від швидкості v_0

Як видно з рисунка, витрати палива на розформування одного состава на ПГ в середньому на 10 % менші аналогічних витрат на ОГ; при цьому вказана різниця зростає зі збільшенням швидкості розпуску. В той же час з підвищенням швидкості v_0 з 1,2 м/с до 1,7 м/с величина G для кожної з гірок 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 v_0 призводить до відповідного зростання тривалості операцій насуву та розпуску.

Як зазначалося раніше, висота ПГ менша за розрахункову висоту, яка забезпечує скочування розрахункового поганого бігуна за несприятливих умов до розрахункової точки. В цьому зв'язку були виконані дослідження да-

льності пробігу $S_{\text{п}}$ поганого бігуна при його скочуванні з ОГ та ПГ на розраховану важку колію при різних значеннях швидкості v_0 , температури навколишнього середовища T , швидкості $v_{\text{в}}$ та напрямку β вітру.

В результаті досліджень встановлено, що з вказаної множини факторів на величину дальності $S_{\text{п}}$ істотно впливають лише швидкість та напрямок вітру. При цьому для ОГ в зимових умовах при швидкості розпуску $v_0 = 1,2$ м/с та зустрічному вітрі швидкістю $v_{\text{в}} = 0; 2; 5; 7$ м/с дальність пробігу $S_{\text{п}}$ склала, відповідно, 642; 552; 426; 362 м. В той же час для ПГ при вказаних значеннях швидкостей v_0 та $v_{\text{в}}$ величина дальності $S_{\text{п}}$ склала, відповідно, 606; 522; 406; 342 м, що в середньому на 6 % менше аналогічних показників для ОГ. Таким чином можна стверджувати, що конструкція ПГ не призводить до істотного скорочення дальності пробігу відчепів; при цьому з метою підвищення якості заповнення сортувальних колій вказану гірку доцільно застосовувати в умовах відсутності зустрічного вітру з високою швидкістю.

Одним з основних показників процесу розпуску є величина інтервалів δt між суміжними відчепами на розділових стрілках. В результаті моделювання розформування составів на ОГ та ПГ в зимових та літніх умовах при різній швидкості розпуску v_0 були отримані значення величини інтервалів δt . Як показали дослідження, випадкова величина δt у всіх випадках має нормальний розподіл. Як приклад, на рис. 4.5 наведено гістограми розподілу випадкової величини δt для обох гірок в зимових умовах при $v_0 = 1,2$ м/с.

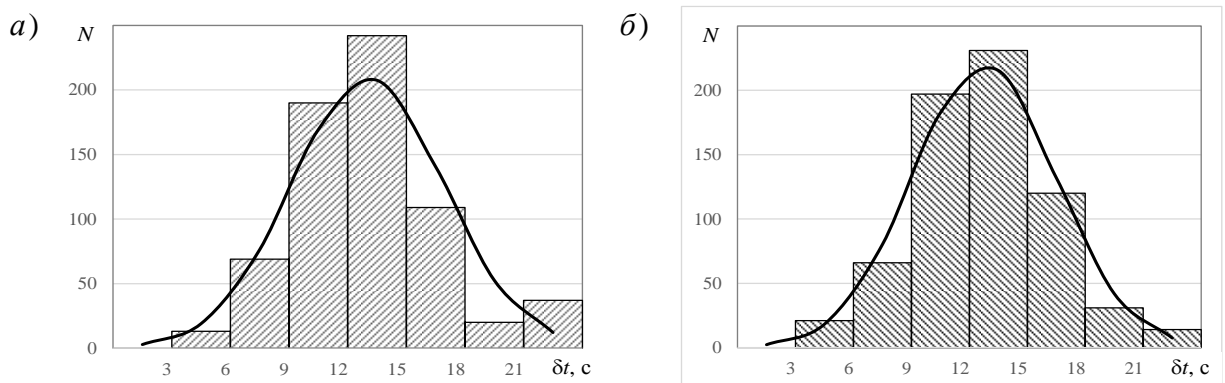


Рис. 4.5 – Розподіл величини інтервалу величина δt

а) основна гірка; б) понижена гірка

Статистична обробка результатів моделювання для кожної гірки дозволила встановити числові характеристики випадкової величини інтервалу δt , які представлено в табл. 4.2

Таблиця 4.2

Числові характеристики випадкової величини інтервалу δt

Гірка	v_0 , м/с	Зимові умови				Літні умови			
		$M[\delta t]$,	$D[\delta t]$,	$\sigma[\delta t]$, с	$P(\delta t < 1 \text{ с})$	$M[\delta t]$, с	$D[\delta t]$, с ²	$\sigma[\delta t]$, с	$P(\delta t < 1 \text{ с})$
ОГ	1,2	13,028	14,402	3,795	0	12,912	11,230	3,351	0
	1,5	9,331	8,361	2,892	0	9,200	6,410	2,532	0
	1,7	7,681	5,381	2,320	0	7,665	3,891	1,972	0
ПГ	1,2	12,759	12,951	3,599	0	12,630	8,849	2,975	0
	1,5	9,119	8,192	2,862	0	8,894	5,945	2,438	0
	1,7	7,341	5,401	2,324	0,001	7,306	3,615	1,901	0

На основі вказаних даних для ОГ та ПГ отримано залежності середньої величини інтервалу $M[\delta t]$ між суміжними відчепами на розділових стрілках від швидкості v_0 (див. рис. 4.6).

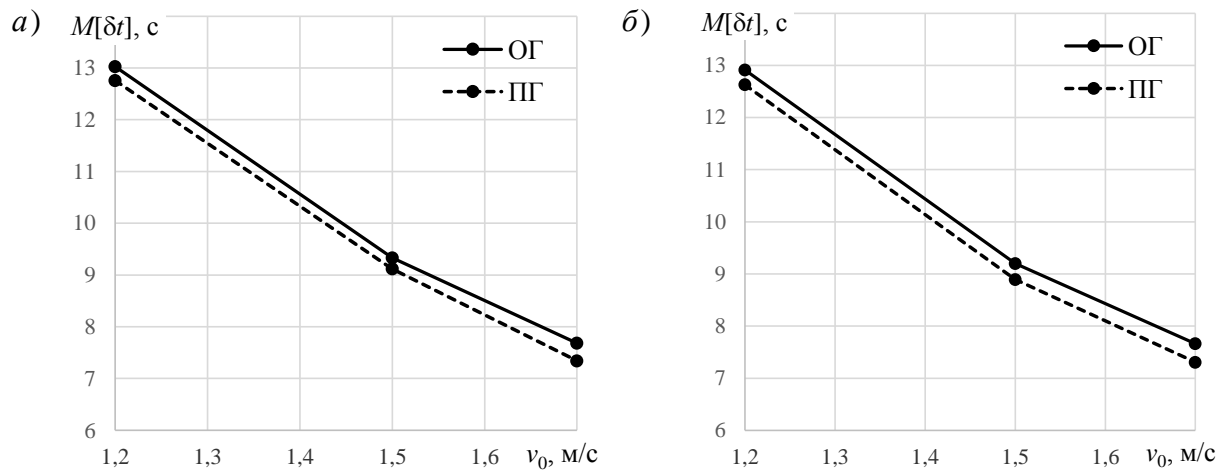


Рис. 4.6 – Залежності середньої величини інтервалу $M[\delta t]$ від швидкості v_0 :

а) зимові умови; б) літні умови

Як видно з рисунка, при збільшенні швидкості розпуску на ОГ з 1,2 м/с до 1,7 м/с математичне очікування $M[\delta t]$ інтервалу на розділових стрілках скоротилося в зимових умовах на 5,35 с (41 %), а в літніх – на 5,25 с (41 %). Аналогічно на ПГ спостерігається скорочення величини $M[\delta t]$ в зимових умо-

вах на 5,42 с (42 %), а в літніх – на 5,32 с (42 %). При цьому в результаті моделювання процесу розформування потоку составів було зафіксовано лише один випадок нерозділення відчепів, який виник під час розпуску на ПГ з швидкістю $v_0 = 1,7$ м/с в зимових умовах ($P(\delta t < 1с) = 0,001$).

Слід зазначити, що різниця між величиною $M[\delta t]$ на ОГ та ПГ достатньо невелика 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. Таким чином можна стверджувати, що використання ПГ для розпуску составів не призводить до суттєвого погіршення умов інтервального регулювання швидкості відчепів; при цьому з метою підвищення надійності їх розділення сортувальну роботу на вказаній гірці доцільно проводити зі зменшеною швидкістю.

Іншою важливою характеристикою якості сортувального процесу є швидкість співударяння вагонів v_c на сортувальних коліях, величина якої згідно з [125] не повинна перевищувати 5 км/год. Вказана вимога була виконана в результаті оптимізації режимів гальмування відчепів за методикою [114]. Числові характеристики випадкової величини v_c для ОГ та ПГ при різній швидкості розпуску v_0 представлені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Числові характеристики випадкової величини швидкості v_c

Гірка	v_0 , м/с	$M[v_c]$, м/с	$D[v_c]$, (м/с) ²	$\sigma[v_c]$, м/с	$P(v_c > 1,5)$
ОГ	1,2	0,967	0,438	0,662	0
	1,5	0,988	0,431	0,656	0
	1,7	1,005	0,427	0,653	0
ПГ	1,2	0,962	0,440	0,664	0
	1,5	0,981	0,435	0,659	0
	1,7	1,003	0,427	0,654	0

Як видно з таблиці, зі збільшенням швидкості розпуску для ОГ та ПГ спостерігається незначне зростання математичного очікування $M[v_c]$ швидкості співударяння; при цьому в результаті моделювання не виявлено випадків перевищення допустимої величини вказаної швидкості ($v_c > 1,5$ м/с). Крім того, величини $M[v_c]$ для кожного значення v_0 швидкості розпуску на ОГ та ПГ практично однакові. Таким чином, запропонована конструкція гірки з горбами різної висоти дозволяє забезпечити реалізацію допустимої швидкості співударяння відчепів.

Висота гірки впливає на якість заповнення сортувальних колій та, як наслідок, на обсяг маневрової роботи з осаджування вагонів для ліквідації вікон між ними та пов'язані з її виконанням експлуатаційні витрати. З метою оцінки вказаного впливу в результаті моделювання процесу розформування потоку составів на ОГ та ПГ при різній швидкості розпуску v_0 були отримані числові характеристики випадкової величини L_B довжини вікна на сортувальних коліях (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Числові характеристики випадкової величини довжини вікна L_B

Гірка	v_0 , м/с	n	$M[L_B]$, м	$D[L_B]$, м ²	$\sigma[L_B]$, м
ОГ	1,2	101	169,059	11499,362	107,235
	1,5	101	164,604	11550,339	107,473
	1,7	100	162,500	11568,750	107,558
ПГ	1,2	108	182,870	10887,131	104,341
	1,5	107	176,869	10931,085	104,552
	1,7	106	177,358	11244,438	106,040

Як видно з таблиці, і для ОГ, і для ПГ збільшення швидкості розпуску v_0 з 1,2 м/с до 1,7 м/с практично не впливає на кількість вікон n . В той же час вказане підвищення швидкості призводить до скорочення математичного очікування $M[L_B]$ довжини вікна на 6,6 м (4 %) для ОГ та на 5,5 м (3 %) для ПГ.

При цьому під час розпуску з ПГ на сортувальних коліях утворюється в середньому на 6 % більше вікон, ніж при розпуску з ОГ.

На основі представлених в табл. 4.4 даних отримано залежності середньої питомої довжини вікна $M[l_b]$ в розрахунку на один відчеп (рис. 4.7, а) та на один перероблений вагон (рис. 4.7, б) від швидкості розпуску v_0 .

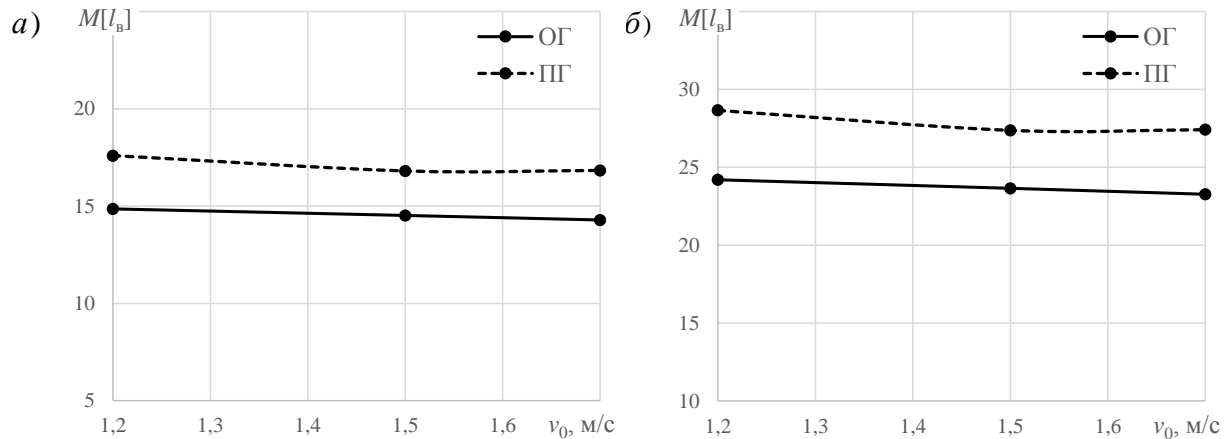


Рис. 4.7 – Залежності середньої довжини вікна від швидкості в розрахунку:

а) на один перероблений вагон; б) на один відчеп

Як видно з рисунка, вказані питомі величини довжини вікон, які виникають під час розформування составів на ПГ, в середньому більші на 17 % від аналогічних показників, отриманих для ОГ. При цьому підвищення швидкості розпуску v_0 для обох гірок не призводить до істотного скорочення середньої довжини вікна $M[l_b]$. Так, при підвищенні швидкості v_0 з 1,2 м/с до 1,7 м/с величина $M[l_b]$ для ОГ та ПГ зменшилась, відповідно, на 0,6 м/ваг (0,93 м/відчеп) та 0,8 м/ваг (1,24 м/відчеп). Таким чином, використання ПГ для розформування составів не викликає істотного (в порівнянні з ОГ) зростання кількості та довжини вікон на сортувальних коліях.

4.3 Висновки за розділом 4

1. Економії енергоресурсів на насув та розпуск составів можливо досягти шляхом спорудження сортувальної гірки з горбами різної висоти. При цьому один горб вказаної гірки повинен забезпечувати скочування відчепів до

розрахункової точки в несприятливих метеорологічних умовах. Зменшення висоти іншого горба можливо досягти за рахунок використання мінімально допустимого ухилу швидкісної ділянки спускної частини гірок.

2. Поздовжній профіль основної гірки відрізняється від профілю пониженої гірки тільки в межах між початком насувної частини гірок та першою розділовою стрілкою. Таким чином, кожна з вказаних гірок може використовуватись як самостійний сортувальний пристрій, який забезпечує розпуск составів на всі колії сортувального парку.

3. На величину дальності пробігу відчепів при їх скочуванні з розробленої гірки з горбами різної висоти істотно впливають лише швидкість та напрямок вітру; при цьому дальність пробігу відчепів при скочуванні з пониженої гірки в середньому на 6 % менше аналогічного показника основної гірки.

4. Використання пониженої гірки для насуву та розпуску составів дозволяє скоротити витрати палива в середньому на 10 %. При цьому виконання розформування 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.

Таким чином, розроблена конструкція гірки з горбами різної висоти в діапазоні швидкостей розпуску 1,2..1,7 м/с забезпечує достатню якість та надійність сортувального процесу і 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 составу на ній повинно прийматися в оперативних умовах у відповідності до поточної ситуації на станції та метеорологічних умов, а саме: розпуск составів на пониженій доцільно проводити зі швидкістю до 1,5 м/с та в умовах відсутності зустрічного вітру великої швидкості.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОГО РЕЖИМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ В УМОВАХ НЕРІВНОМІРНОСТІ ВХІДНОГО ПОТОКУ ПОЇЗДІВ

Підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій в умовах нерівномірності прибуття поїздів в розформування може бути досягнуто за рахунок динамічної адаптації режиму роботи до їх поточного стану, що дозволить скоротити загальні витрати, пов'язані з переробкою вагонопотоків. Одним з основних керованих параметрів при виборі режиму роботи сортувального комплексу є швидкість розпуску, від величини якої залежать найбільш важливі показники функціонування підсистеми розформування станції.

Так, в період згущеного прибуття поїздів застосування високої швидкості розпуску дозволить скоротити простій составів в очікуванні розформування і уникнути затримок поїздів на підходах до станції. В той же час, зі збільшенням швидкості розпуску зростає ймовірність нерозділенням відчепів, а також підвищується ризик перевищення швидкості їх співударання на сортувальних коліях, що призведе зростання кількості випадків пошкодження вагонів і вантажів. Крім того, при вказаному режимі функціонування сортувального комплексу зростають витрати на розформування. Тому в умовах відсутності черги в парку прийому доцільно застосування зниженої швидкості розпуску. Це дозволить покращити умови інтервального та прицільного регулювання швидкості відчепів і досягти економії енергоресурсів, що витрачаються на процес сортування.

Крім того для реалізації адаптивної технології може бути використана розроблена СГ з горбами різної висоти, використання якої в періоди згущеного прибуття поїздів дозволить забезпечити високу швидкість розформування составів, а при зменшенні черги в парку прийому дасть можливість досягти економії енергоресурсів на насув та розпуск составів.

Таким чином, актуальною є задача вибору раціональної швидкості розпуску та виду СГ для конкретного складу в залежності від поточної довжини черги складів, що надійшли у розформування. ситуації в сортувальному комплексі. Застосування такого керування сортувальним процесом в умовах нерівномірності вхідного потоку поїздів дозволить найбільш раціонально використовувати технічний потенціал сортувального комплексу та, як наслідок, скоротити відповідні експлуатаційні витрати.

5.1 Удосконалення імітаційної моделі функціонування сортувального комплексу

Для дослідження ефективності оперативного вибору швидкості розпуску складів та виду сортувального пристрою була удосконалена ергатична імітаційна модель [131] функціонування сортувального комплексу станції. Вказана модель побудована як двофазна СМО, яка спільно імітує процеси обслуговування складів в парку прийому і їх розформування на гірці, а також процес заповнення колій сортувального парку. При цьому дана модель дозволяє задавати швидкість розпуску для кожного складу і, завдяки цьому, дає можливість досліджувати роботу сортувального комплексу як єдиної системи при різних режимах його експлуатації.

Технологія роботи сортувального комплексу для моделювання його функціонування представляється у вигляді сітьового графіка (див. рис. 5.1), який будується на основі структурно-часової таблиці робіт з обслуговування складів, що розформується (див. табл. 5.1). Слід зазначити, що робота 14 має керовану тривалість, що відповідає заданій для окремого складу швидкості розпуску.

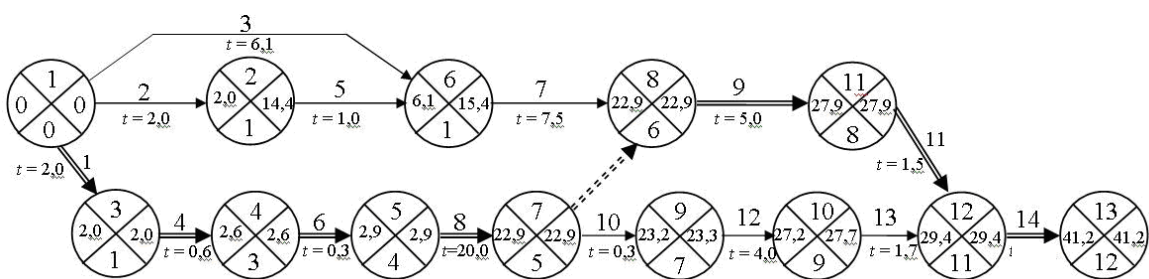


Рис. 5.1 – Сітьовий графік функціонування сортувального комплексу

**Структурно-часова таблиця робіт з обслуговування составу,
що розформовується**

№	Операція	Після роботи	M[t _i], хв	σ[t _i], хв	Виконавець
1	Закріплення составу	-	2,0	0,2	Сигналіст
2	Передача повідомл. 201	-	2,0	0,2	Оператор СТЦ
3	Пересилка документів	-	6,1	0,0	Оператор СТЦ
4	Відчеплення локомотиву	1	0,6	0,0	Лок. бригада
5	Складання заготовки 09	2	1,0	0,2	АСК ВП УЗ-Є
6	Огородження составу	4	0,3	0,0	Оператор ПТО
7	Звірка документів	3, 5	7,5	1,0	Оператор СТЦ
8	ТО, КО	6	20,0	3,0	Бр. ПТО, ПКО
9	Видача повідомлення 09	7, 8	5,0	1,0	Оператор СТЦ
10	Зняття огороження	8	0,3	0,0	Оператор ПТО
11	Складання сорт. листка	9	1,5	0,2	АСК ВП УЗ-Є
12	Заїзд гіркового лок.	10	4,0	0,5	Гірковий лок.
13	Зняття закріплення	12	1,7	0,2	Сигналіст
14	Насув, розпуск	11, 13	керована тривалість		Гірковий лок.

Головне вікно імітаційної моделі сортувального комплексу наведено на рис. 6.4. Вихідні дані про вхідний потік поїздів, виконавців та структурно-часова таблиця робіт містяться в текстових файлах, відповідно, з розширенням *.sst, *.exw, *.wrk. Перед початком моделювання через вкладку «Открыть» головного вікна програми зчитуються вихідні дані, крім цього задаються період моделювання та параметри вхідного потоку.

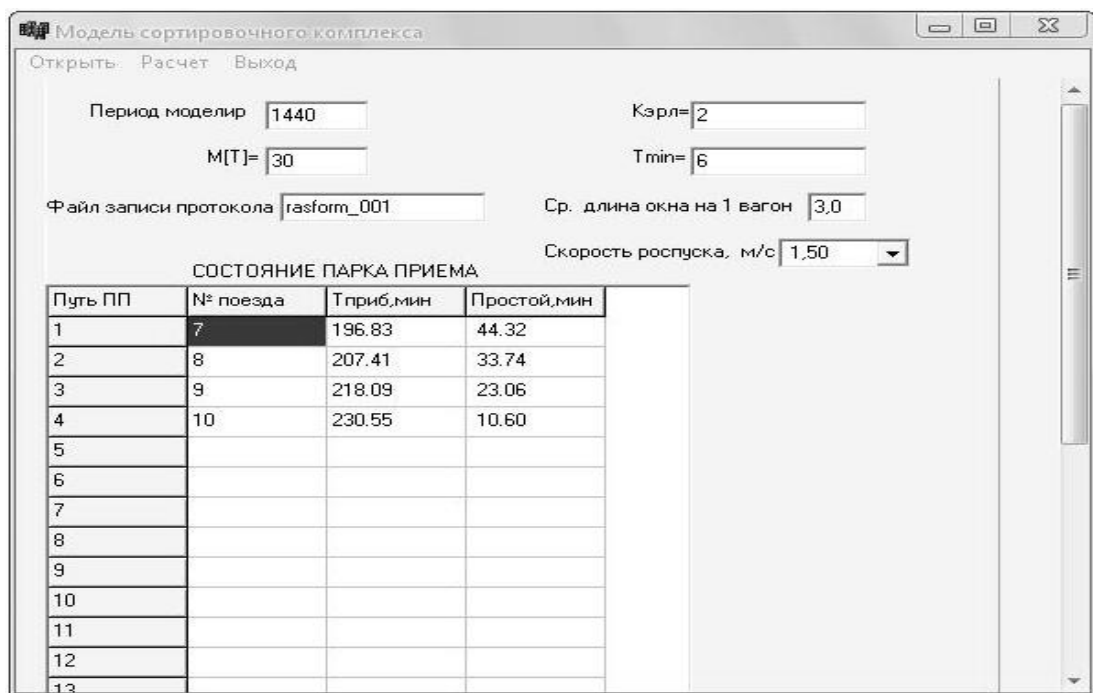


Рис. 5.2 – Головне вікно імітаційної моделі сортувального комплексу

Під час моделювання в момент готовності кожного поїзда до розпуску видається запит на введення потрібної швидкості розпуску (див. рис. 6.5). При цьому в головному вікні програми містяться дані про моменти прибуття та колії прийому поїздів, тривалість їх знаходження в підсистемі розформування. Оцінюючи чергу составів в парку особа, що виконує моделювання (ОВМ), приймає рішення щодо встановлення потрібної швидкості розпуску.

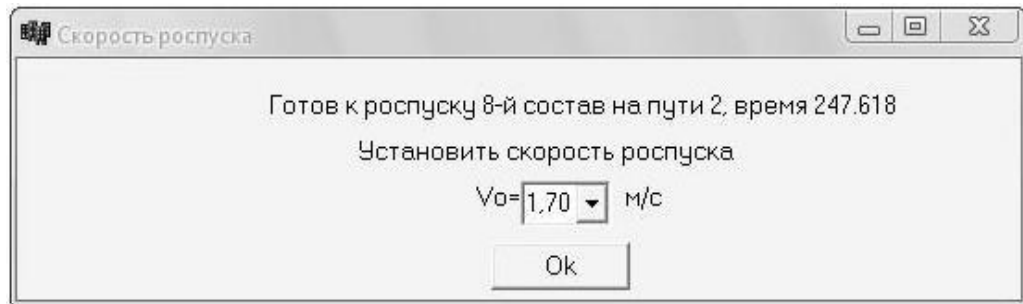


Рис. 5.3 – Вікно запиту швидкості розпуску

Після розформування чергового составу видається вікно зі станом сортувального парку (див. рис.) із зазначенням кількості вагонів та наявності «вікон» на кожній колії. Крім того для забезпечення своєчасної підготовки сортувальних колій до розпуску наступного составу у вказаному вікні міститься інформація про призначення вагонів даного составу на сортувальні колії.

Путь	Вместит ваг	Ваг на пути	Окон/вагон	Новый сост	Контр осаж
1	3	55	11		ОСАДИТЬ!
2	47	12	2		
3	28	28	5		
4	46	13	2		
5	44	15	3	13	
6	53	7	1		
7	53	7	1		
8	52	8	1		
9	46	13	2		
10	53	7	1		
11	52	8	1		
12	45	14	2		
13	46	13	2		
14	46	13	2	12	
15	57	4			
16	45	14	2		
17	35	22	4		
18	50	10	2	12	
19	51	9	1		
20	50	10	2		
21	58	3		13	
22	46	13	2		
23	56	5	1		
24	47	12	2		
25	59	2			
26	45	14	2		
27	53	7	1		
28	47	12	2		

Рис. 5.4 – Вікно стану сортувального парку

ОВМ проводить оцінку ступеню заповнення сортувальних колій та, попередньо обравши відповідну колію, приймає рішення про виконання осаджування (за допомогою кнопки «Осадить») або перестановки состава в парк Відправлення (за допомогою кнопки «Убрать в ПО»). Перехід до розпуску наступного состава виконується шляхом натиснення кнопки «Ok».

В результаті моделювання для заданих параметрах вхідного потоку поїздів можливо встановити тривалість знаходження составів в підсистемі розформування та частоту використання кожного варіанту швидкості розпуску.

5.2 Дослідження ефективності керування швидкістю розпуску

З метою оцінки ефективності керування швидкістю розпуску прийнято, що режим функціонування сортувального комплексу обирається перед розформуванням чергового состава в залежності від довжини черги Q в парку прийому:

$$v_0 = \begin{cases} 1,2 \text{ м/с, при } Q = 1; \\ 1,4 \text{ м/с, при } Q = 2; \\ 1,7 \text{ м/с, при } Q \geq 3. \end{cases} \quad (5.1)$$

З використанням вказаного підходу та за допомогою розробленої моделі було виконано моделювання функціонування сортувального комплексу при різних параметрах інтенсивності λ та нерівномірності (параметр Ерланга K) вхідного потоку поїздів. Частоти n використання кожного з режимів розформування представлені в табл. 5.2; при цьому в підсумковому рядку вказаної таблиці вказана середня швидкість розпуску \bar{v}_0 .

Таблиця 5.2

Частоти використання швидкостей розпуску при різних параметрах вхідного потоку

v_0	$K = 1$		$K = 2$			$K = 3$			$K = 4$		
	$\lambda=1$	$\lambda=1,5$	$\lambda=1$	$\lambda=1,5$	$\lambda=2$	$\lambda=1$	$\lambda=1,5$	$\lambda=2$	$\lambda=1$	$\lambda=1,5$	$\lambda=2$
1,2	9	8	17	14	9	17	12	7	18	15	5
1,4	6	5	2	4	4	3	7	8	2	5	11
1,7	5	7	1	2	7	0	1	5	0	0	4
\bar{v}_0	1,39	1,42	1,24	1,29	1,41	1,23	1,30	1,40	1,22	1,25	1,41

Як видно з таблиці, зі збільшенням інтенсивності та нерівномірності вхідного потоку поїздів збільшується частота використання режимів з високою швидкістю розпуску, що відповідно призводить до зростання величини \bar{v}_0 .

Величина швидкості розпуску суттєво впливає на тривалість простою составів в другій фазі в очікуванні розформування. На рис. 5.5 показані графіки залежності математичного очікування простою в очікуванні розформування $M[t''_{оч}]$ від інтенсивності λ вхідного потоку поїздів при $K = 1; 4$.

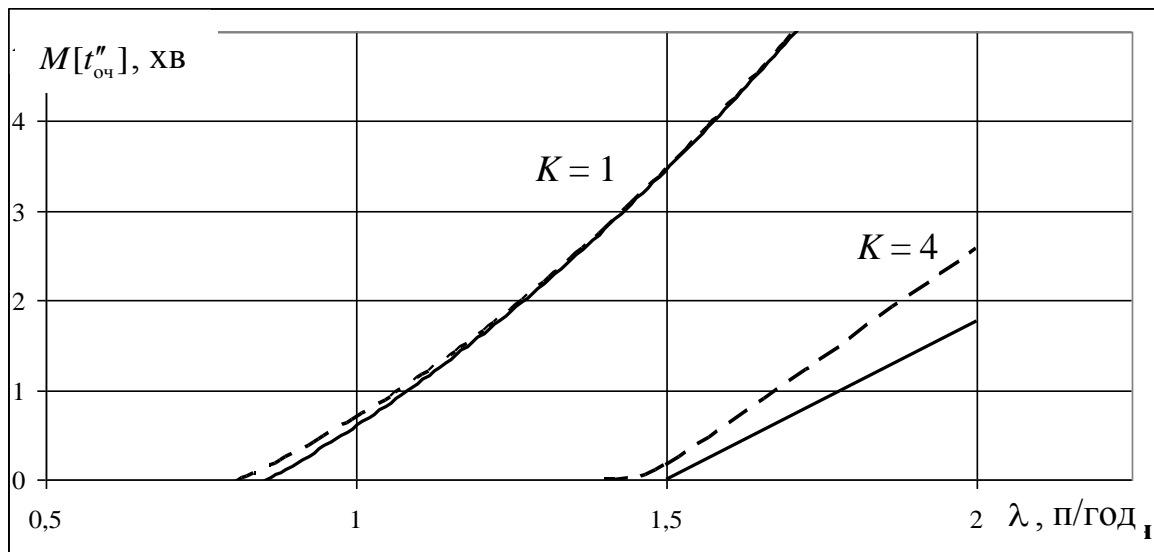


Рис. 5.5 – Графік залежності $M[t''_{оч}]$ від інтенсивності λ

Як видно з рисунку, середня величина простою $M[t''_{оч}]$ при керуванні швидкістю розпуску составів (пунктирна лінія) незначно збільшилася в порівнянні з простоем $M[t''_{оч}]$, який мав місце при розпуску составів з постійною швидкістю $v_0 = 1,7$ м/с (суцільна лінія). При цьому середня швидкість розпуску \bar{v}_0 зменшилася на 0,25..0,45 м/с.

В табл. 5.3 наведені показники роботи сортувального комплексу при постійних швидкостях розпуску составів і керуванні швидкістю розпуску (нижній рядок) в умовах $\lambda = 2$ поїзда/год і $K = 2$. Як видно з таблиці, математичне очікування простою составів у парку прийому $M[t_{оч}]$ при керованій швидкості розпуску дещо вище, ніж при максимальній швидкості $v_0 = 1,7$ м/с, проте вказана величина менша, ніж при $v_0 = 1,4$ м/с. Крім того, при керованій швидкості розпуску спостерігається збільшення середнього

інтервалу на розділових стрілках $M[\delta t]$ і скорочення кількості інтервалів $N_{\text{инт}}$ тривалістю менше 3 с в порівнянні з інтервалами, які мали місце при постійній швидкості розпуску $v_0 = 1,7$ м/с. В той же час за рахунок оптимізації режимів гальмування відчепів швидкість співударяння вагонів v_c та довжина вікон $L_{\text{вік}}$ з підвищенням швидкості розпуску v_0 практично не змінюються.

Таблиця 5.3

Показники роботи сортувального комплексу

$M[v_0]$, м/с	$M[T_{\text{оч}}]$, хв	$M[\delta t]$, с	$N_{\text{инт}}$, с	$M[v_c]$, м/с	$\sigma[v_c]$, м/с	$M[L_{\text{вік}}]$, м
1,2	13,3	11,45	3	1,459	0,751	151,5
1,4	12,6	8,87	20	1,499	0,757	143,6
1,7	8,9	6,21	61	1,519	0,769	142,4
1,415	11,6	9,10	27	1,488	0,759	146,7

З використанням отриманої середньої швидкості розпуску \bar{v}_0 виконано дослідження впливу керованої швидкості розпуску на показники функціонування сортувального комплексу (див. табл. 5.4) при різних параметрах інтенсивності λ та нерівномірності K вхідного потоку поїздів.

Таблиця 5.4

Показники функціонування сортувального комплексу при використанні керованої швидкості розпуску

K	λ , поїзд/год	\bar{v}_0 , м/с	$M[t_{\text{оч}}]$, хв	$M[\delta t]$, с	$N_{\text{инт}}$, с	$M[v_c]$, м/с	$\sigma[v_c]$, м/с	$M[L_{\text{вік}}]$, м
1	1	1,385	7,0	9,4	23	1,486	0,757	146,9
	1,5	1,425	15,7	9,0	28	1,49	0,759	146,3
2	1	1,245	1,9	10,9	8	1,466	0,753	150,3
	1,5	1,290	4,8	10,4	12	1,473	0,754	149,0
	2	1,415	11,6	9,1	27	1,488	0,759	146,7
3	1	1,230	0,2	11,1	6	1,465	0,752	150,3
	1,5	1,295	3,8	10,3	12	1,476	0,754	148,3
	2	1,405	6,8	9,1	24	1,49	0,758	146,1
4	1	1,220	0,2	11,2	5	1,463	0,752	150,7
	1,5	1,250	2,1	10,8	7	1,469	0,753	149,5
	2	1,410	4,0	9,0	24	1,493	0,758	145,3

Як видно з таблиці, збільшення швидкості розпуску з одного боку дозволяє скоротити середню тривалість $M[t_{оч}]$ простою составів в підсистемі розформування (особливо в періоди інтенсивного прибуття поїздів), а з іншого – призводить до погіршення умов інтервального регулювання швидкості відчепів, яке виражається зростанням кількості інтервалів $N_{інт}$ з тривалістю менше 3 с. Вказана обставина суттєво підвищує ризик нерозділення відчепів, що призведе до відповідного зростання обсягу додаткової маневрової роботи з ліквідації порушень плану розпуску. Тому без використання спеціальних методів з отриманої множини показників неможливо однозначно визначити ефективний варіант керування швидкістю розпуску. З метою вирішення вказаної задачі сортувальний комплекс доцільно розглядати як керовану систему масового обслуговування (УСМО).

5.3 Сортувальний комплекс як керована система масового обслуговування

Керованою системою масового обслуговування прийнято називати систему, в якій параметри її складових елементів допускають керуючий вплив [128]. У відповідності до цього розрізняють наступні види УСМО [128, 167]:

- з керованим вхідним потоком вимог;
- з керованою дисципліною обслуговування;
- з керованою структурою;
- з керованою швидкістю обслуговування.

5.3.1 Аналіз видів та стратегій керування УСМО

В системах з *керованим вхідним потоком* виконується відбір вимог для обслуговування; при цьому найменш цінним для системи вимогам (відносно заданого критерію) може бути відмовлено в обслуговуванні. Іншим різновидом таких систем є УСМО з втратами, коли вимога може бути втрачена внаслідок перевищення допустимого часу очікування нею обслуговування. Дослідження УСМО вказаного типу виконувались, головним чином, з метою оп-

тимізації інформаційних систем, в яких цінність вимоги визначається наявністю або відсутністю в неї окремих ознак [158, 166]. При цьому задача керування системою в умовах її обмеженої пропускної спроможності зводиться до попередньої фільтрації вимог з метою мінімізації імовірності втрати вимоги, що має необхідну ознаку. В задачах підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій УСМО з керованим вхідним потоком можуть бути застосовані, наприклад, для керування обслуговуванням гірковим локомотивом конфліктних вимог: чергового составу, готового до розформування, та виконання осаджування на сортувальних коліях; при цьому в умовах згущеного прибуття поїздів останньому типу вимог може бути відмовлено в обслуговуванні шляхом віднесення вказаної операції на маневровий локомотив, який працює в хвості сортувального парку, або за рахунок тимчасової зміни спеціалізації сортувальних колій.

Керування дисципліною обслуговування в УСМО може виконуватись на декількох рівнях [45, 163]:

- керування дисципліною постановки в чергу – полягає в виборі накопичувача, в який буде направлено вимогу в залежності від поточного стану системи;
- керування дисципліною перебування в черзі – визначення порядку переходу вимог з одного накопичувача в інший, або з одного місця на інше в межах окремого накопичувача;
- керування дисципліною взяття на обслуговування – визначення порядку обслуговування вимог.

Метою керування дисципліною обслуговування є зменшення загальної тривалості знаходження вимог в системі та пов'язаних з цим витрат. Прикладом задач, що можуть бути вирішені за допомогою УСМО такого типу є задача вибору черговості розформування составів [3].

У випадках, коли окрім витрат, пов'язаних з простоем вимог в системі, враховуються витрати на експлуатацію обслуговуючих пристроїв в різних ре-

жимах, виникають задачі керування структурою системи та швидкістю обслуговування вимог.

Системами з *керованою структурою* прийнято називати УСМО, в яких використовуються резервні обслуговуючі пристрої, що за певних умов вмикаються або вимикаються; при цьому вимкнені пристрої можуть бути задіяні для обслуговування заявок в інших системах. Як показав аналіз, існує 3 стратегії керування резервними пристроями:

N -стратегія [165, 164] – стан резервного пристрою залежить від кількості вимог в системі, граничні значення якої v , N співвідносяться як $0 \leq v < N \leq +\infty$. В загальному вигляді дана стратегія може бути сформульована наступним чином: резервний пристрій необхідно задіяти, якщо черга в системі досягне N вимог, та вимкнути, коли її довжина скоротиться до v вимог.

D -стратегія [157, 159] – стан резервного пристрою залежить від загального обсягу роботи, який має виконати система (завантаження системи).

T -стратегія [168, 169] – резервний пристрій виконує обслуговування до тих пір, поки в черзі є вимоги, після чого вимикається та не може бути задіяний впродовж встановленого періоду часу.

В задачах підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій УСМО з керованою структурою може бути використана, наприклад, для встановлення оптимальної стратегії залучення до розформування составів маневрового локомотива, що зайнятий на роботах в інших районах станції.

В системах з *керованою швидкістю обслуговування* передбачається, що обслуговування окремої вимоги може здійснюватися з певною інтенсивністю μ_j , $j \in K$, де K – фіксований набір можливих режимів обслуговування. Керування швидкістю обслуговування є узагальненою задачею керування резервним пристроєм [167]; при цьому більшість досліджень з даної тематики присвячено пошуку методу призначення швидкості обслуговування в рамках N -стратегії керування резервним пристроєм, тобто в залежності від кількості

вимог в системі. Метою керування є пошук такої стратегії призначення швидкості обслуговування, яка б мінімізувала загальні витрати, пов'язані з функціонуванням системи.

Таким чином, задача вибору оптимальної швидкості обслуговування відноситься до числа економічних задач [55], вирішення якої для умов оперативного керування швидкістю розпуску дозволить знизити собівартість переробки вагонів на сортувальних комплексах станцій. При цьому вибір обслуговуючого пристрою – основної чи пониженої сортувальної гірки – доцільно пов'язати з максимальною величиною швидкості розпуску, що може бути реалізована на кожній з вказаних гірок при забезпеченні заданого рівня якості сортувального процесу.

5.3.2 Постановка задачі керування вибором швидкості розпуску

Сортувальна гірка може бути представлена як одноканальна УСМО з очікуванням, на вхід якої з інтенсивністю λ надходить потік вимог у вигляді готових до розформування составів. Розформування може виконуватись в одному з n режимів, $n \geq 2$. Режим розформування чергового составу обирається в момент закінчення розформування попереднього составу та залишається незмінним до закінчення розформування даного составу. Розформування в i -му режимі виконується з інтенсивністю μ_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:

$$E = \frac{e_{\text{ваг-год}}}{60} \sum_{j=1}^N m_j T_{\text{п}j} + \sum_{j=1}^N c(q_j) \frac{L_j}{60v_{0j}(q_j)} \rightarrow \min \quad (5.2)$$

при наступних обмеженнях:

$$\begin{cases} 0 < c(0) < \dots < c(n-1); \\ v_{0\min} \leq v_0(q_j) < v_{0\max}; \\ q_j \leq m_{\text{шт}}, \end{cases} \quad (5.3)$$

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;
- $T_{пj}$ – 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;
- $m_{\text{пп}}$ – кількість колій в парку приймання.

Таким чином, задача визначення оптимальної стратегії вибору швидкості розпуску составів є нетривіальною: використання повільних режимів розформування дозволяє зменшити витрати на насув та розпуск, але при цьому збільшується тривалість знаходження составів в системі та пов'язані з цим витрати. І навпаки, використання високої швидкості розпуску дозволяє скоротити простій составів, але викликає збільшення витрат на розформування. За таких умов можливим рішенням є динамічна зміна режиму функціонування системи: при збільшенні черги підвищувати швидкість обслуговування вимог, при зменшенні – обирати більш повільний (і дешевий) режим [56].

Справедливість вказаного підходу доведена в [57]; при цьому встановлено, що для систем з відсутністю плати за переключення режимів оптимальна стратегія керування швидкістю є монотонною багатопороговою, що формулюється наступним чином. Фіксуються натуральні числа j_1, \dots, j_{n-1} , які задовольняють нерівностям $-1 = j_0 < j_1 \leq j_2 \dots \leq j_{n-1} < j_n = \infty$ та називаються *порогами*. Якщо кількість вимог в системі в даний момент закінчення обслуговування знаходиться в інтервалі $(j_{v-1}, j_v]$, то чергова вимога буде обслуговуватись в v -у режимі.

Алгоритм знаходження оптимального за критерієм мінімізації функціонала (5.2) набору порогів $(j_1^*, \dots, j_{n-1}^*)$ при заданих параметрах системи та значеннях вартісних коефіцієнтів розроблено в [56]. Так, згідно вказаного алгоритму на першому етапі знаходиться стаціонарний розподіл кількості вимог в системі в моменти завершення обслуговування вимог при фіксованому наборі порогів. Далі у явному вигляді визначається залежність цільової функції (5.2) від порогів. Тим самим задачу буде зведено до знаходження мінімуму функції з $n - 1$ цілочисельних змінних. В той же час отримані автором [56] залежності для визначення імовірнісних параметрів УСМО отримані для найпростішого вхідного потоку вимог та показникового розподілу тривалості їх обслуговування, що не відповідає реальним умовам функціонування станцій. Вказані параметри можуть бути отримані в результаті імітаційного моделювання функціонування сортувального комплексу.

5.4 Розробка методики оперативного вибору швидкості розпуску та виду сортувального пристрою

Методика вибору раціональної швидкості розпуску та виду сортувального пристрою заснована на мінімізації економічного функціоналу (5.2), для чого необхідно визначити експлуатаційні витрати станції, пов'язані з переробкою вагонопотоків

5.4.1 Методика визначення експлуатаційних витрат, пов'язаних з розформуванням составів

Експлуатаційні витрати сортувального комплексу, пов'язані з розформуванням составів, можуть бути визначені як [131]

$$\mathcal{E}_{\text{ск}} = \mathcal{E}_{\text{ман}} + \mathcal{E}_{\text{т}} + \mathcal{E}_{\text{пошк}}, \quad (5.4)$$

де $\mathcal{E}_{\text{ман}}$ – витрати на виконання маневрової роботи;

$\mathcal{E}_{\text{т}}$ – витрати, пов'язані з гальмуванням відчепів;

$\mathcal{E}_{\text{пошк}}$ – витрати, пов'язані витратами від пошкодження вагонів внаслідок їх співударяння з підвищеною швидкістю;

Для вирішення вказаної задачі виконуються детальні розрахунки витрат на маневрову роботу з використанням системи одиничних норм [89]:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{ман}} = & R_{\text{л}} e_{R_{\text{л}}} + R_{\text{с}} e_{R_{\text{с}}} + R_{\text{т}} e_{R_{\text{т}}} + G e_G + t (e_{\mu_{\text{H}}} + e_{\mu_{\text{h}}} + m e_{n_{\text{H}}} \cdot 10^{-3}) + \\ & + l (e_{\mu_{\text{S}}} \cdot 10^{-3} + m e_{n_{\text{S}}} \cdot 10^{-3} + (P + Q) e_{pl} \cdot 10^{-6}), \end{aligned} \quad (5.5)$$

де $R_{\text{л}}$ – механічна робота маневрового локомотива, тис. ткм;

$R_{\text{с}}$ – механічна робота сил основного опору, тис. ткм;

$R_{\text{т}}$ – механічна робота сил гальмування, тис. ткм;

$e_{R_{\text{л}}}$, $e_{R_{\text{с}}}$, $e_{R_{\text{т}}}$ – одиничні норми витрат, віднесених, відповідно, на механічну роботу маневрового локомотива, роботу сил основного опору и сил гальмування, грн/тис. ткм;

G – витрати палива, т;

e_G – вартість 1 т, грн;

t – тривалість розформування составів, год;

m – кількість вагонів в составі;

l – довжина напіврейсу насуву, км;

$e_{\mu_{\text{H}}}$, $e_{\mu_{\text{h}}}$, $e_{n_{\text{H}}}$ – одиничні норми витрат відповідно на 1 локомотиво-год, 1 бригадо-год та на 1000 вагоно-год;

$e_{\mu_{\text{S}}}$, $e_{n_{\text{S}}}$ – одиничні норми витрат відповідно на 1000 локомотиво-км та вагоно-км;

e_{pl} – одинична норма витрат на 10^6 т·км брутто.

За допомогою виразу (5.5) визначаються витрати на розформування окремого составу; при цьому величина параметрів $R_{\text{л}}$, $R_{\text{с}}$, $R_{\text{т}}$, G , $\mathcal{E}_{\text{эл}}$ визначаються в результа імітаційного моделювання процесу насуву та розпуску составів. На основі отриманих величин t та $\mathcal{E}_{\text{ман}}$ визначаються питомі витрати $c(q_j)$.

Витрати на ремонт пошкоджених при розформуванні вагонів можуть бути визначені як:

$$\mathcal{E}_{\text{пошк}} = 0,00000143 \cdot e_p \cdot n_{\text{ваг}} \cdot v_c^{-3,865}, \quad (5.6)$$

де e_p – середня вартість ремонту одного пошкодженого вагона, тис. грн;
 $n_{\text{ваг}}$ – загальне кількість вагонів в составах, розформованих за період моделювання;

\bar{v}_c – середня швидкість співударяння вагонів.

Таким чином, розроблена методика дозволить з достатньою точністю визначити експлуатаційні витрати сортувального комплексу за період моделювання за всіма порівнюваним варіантів режимів розформування составів і обрати ефективний варіант, що забезпечує мінімум функціоналу (5.2).

5.4.2 Оптимізація режимів функціонування сортувального комплексу

На основі величини експлуатаційних витрат для кожного можливого стану системи, що характеризується довжиною N черги готових до розформування составів, необхідно визначити раціональні за критерієм мінімізації експлуатаційних витрат величину швидкості розпуску та вид сортувальної гірки.

Вказана оптимізаційна задача може бути вирішена за допомогою методу Бокса-Уілсона [52] шляхом проведення повного факторного експерименту (ПФЕ). Метод ПФЕ дає можливість отримати математичний опис процесу в деякій локальній області факторного простору, що знаходиться коло обраної точки з координатами $(x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n})$. Перенесемо початок координат у вказану точку; при цьому математичний опис процесу представляється у вигляді, лінійної частини відрізка ряду Тейлора. Таким чином, отримаємо рівняння локальної ділянки поверхні відгуку з незначним значенням кривизни:

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2. \quad (5.7)$$

Для виконання подальших розрахунків для кожної фізичної змінної x_i одержують кодовані змінні за допомогою виразу:

$$X_i = \frac{x_i - x_{0i}}{\Delta x_i}, i = 1, \dots, n, \quad (5.8)$$

де Δx_i – крок варіювання або масштаб по осі x_i ;

x_{0i} – значення фізичної змінної x_i на основному рівні.

Основним рівнем фактору є його значення, прийняте за вихідне в плані експерименту. Комбінацію основних рівнів приймають за вихідну точку для побудови плану експерименту, що складається з експериментальних точок, симетричних відносно центру плану.

Кроком варіювання i -го фактору є число, додавання якого до основного рівня дає верхній рівень фактору, а віднімання – нижній рівень.

В якості функції відгуку прийняті експлуатаційні витрати E , величина яких залежить від набору факторів $v_{01}, v_{02}, \dots, v_{0n}$, що являють собою швидкості розпуску при окремих значеннях черги q готових до розформування составів.

В даному дослідженні приймемо наступні значення основного рівня та кроку варіювання для кожного фактору:

- 1 фактор – v_{01} : основний рівень $x_{01} = 1,1$ м/с, шаг варіювання $\Delta x_1 = 0,1$ м/с;
- 2 фактор – v_{02} : основний рівень $x_{02} = 1,4$ м/с, шаг варіювання $\Delta x_2 = 0,2$ м/с;
- 3 фактор – v_{03} : основний рівень $x_{03} = 1,8$ м/с, шаг варіювання $\Delta x_3 = 0,1$ м/с;
- 4 фактор – v_{04} : основний рівень $x_{04} = 2,1$ м/с, шаг варіювання $\Delta x_4 = 0,1$ м/с.

Враховуючи те, що ПФЕ є системою, що містить всі можливі неповторювані комбінації рівнів варіювання факторів, то число дослідів ПФЕ складе:

$$N = 2^n = 2^4 = 16 \text{ дослідів.}$$

В результаті розрахунків повного факторного експерименту визначаються коефіцієнти регресії за допомогою виразу:

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^N x_i E_j}{N}. \quad (5.9)$$

В результаті моделювання отримано наступні значущі коефіцієнти: $b_0 = 18564,24$, $b_1 = 59,49$, $b_2 = 5,80$, $b_3 = 63,32$, $b_4 = 4,28$, $b_{12} = -9,26$, $b_{23} = 8,97$, $b_{34} = 5,27$. Відповідно до [93] з метою мінімізації функції відгуку знаки всіх коефіцієнтів, окрім b_0 слід змінити на протилежні. Таким чином отримаємо наступне рівняння регресії:

$$y = 18564,24 - 59,49X_1 - 5,80X_2 - 63,32X_3 - 4,28X_4 + 9,26X_1X_2 - 8,97X_2X_3 - 5,27X_3X_4. \quad (5.10)$$

Д. Бокс і К. Уилсон запропонували використовувати для оптимізації результати ПФЕ. Оптимізація по методу Боксу-Уилсона складається із двох етапо [93]:

1-й етап – круте сходження з метою найшвидшого досягнення області оптимуму. При цьому використовується лінійне планування. Лінійний план може використовуватися один або кілька раз залежно від інтенсивності просування. Перший етап полягає в постановці ряду досвідів, у яких за допомогою знайденого градієнта за певними правилами одночасно змінюють значення всіх факторів доти, поки значення функції відгуку y не почне погіршуватися. Отримане найкраще значення факторів є або оптимумом, або початком наступної ітерації крутого сходження, що полягає з тих же двох етапів.

2-й етап – опис області оптимуму методами нелінійного планування. При ефективному крутому сходженні досить часто вдається швидко наблизитися до області оптимуму (зробити круте сходження один раз). Щоб вивчити область оптимуму, необхідно перейти до другої стадії планування – до дослідження майже стаціонарної області.

Нехай цільова функція задана у вигляді рівняння регресії першого порядку (5.10), отриманого за результатами повного факторного експерименту. Рівняння регресії адекватно описує функцію відгуку в області значень факторів від -1 до $+1$. Для знаходження екстремуму рівняння (5.10) слід здійснювати рух по градієнту, напрямком якого є напрямком самого крутого схилу, що веде від даної точки до екстремуму функції.

Рух по градієнту здійснюють із деяким кроком, який можна визначити для кожного фактору, як $h_i = b_i \Delta x_i$. Рух до оптимуму починають із центру плану, який використовувався для одержання математичного опису функції відгуку, тобто при нульовому рівні факторів. Далі, згідно з методом крутого сходження, на кожному кроці розраховуються уявні досліди, що відповідають найбільш крутому напрямку руху в область оптимуму.

Рух до оптимуму припиняють у наступних випадках: значення одного або декількох факторів або функції відгуку вийшли на границі допустимих значень, досягнуто екстремуму функції відгуку.

Таким чином, 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 згідно рекомендацій [28] обирається тип сортувальної гірки. В результаті моделювання для кожного дослідів визначається величина функції відгуку E за виразом (5.2);

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 в процесі моделювання виконується імітація заповнення сортувальних колій, що дозволяє фіксувати моменти появи вимог на осаджування та перестановку

сформованих составів в парк відправлення. Прийнято, що вказані вимоги підлягають пріоритетному обслуговуванню; при цьому тривалість обслуговування розглядається як випадкова величина, параметри якої залежать від кількості вагонів на даній сортувальній колії.

5.5 Висновки за розділом 5

1. Адаптація режиму роботи сортувального комплексу до поточних експлуатаційних умов є дієвим способом підвищення ефективності його функціонування в умовах змінної інтенсивності вхідного потоку поїздів; при цьому основним керованим параметром є швидкість розпуску.

2. Збільшення швидкості розпуску дозволяє скоротити тривалість знаходження рухомого складу у парку приймання; 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.

3. Сортувальний комплекс можливо формалізувати як керовану систему масового обслуговування, оптимізація керування швидкістю розпуску в якій може бути виконана за допомогою метода Бокса-Уілсона. 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.

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, отрима-

ними 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. Сортувальний 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 багатofакторних 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.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Ахвердиев, К. С. Оптимальный горочный профиль и динамика скатывания отцепа по нему [Текст] / К. С. Ахвердиев, Б. И. Алибеков, В. П. Жуков // Транспорт: наука, техника, управление, ВИНТИ. – 1991. – №8. – С. 13-18.
2. Бавыка, А. В. Информатизация работы станций [Текст] / А. В. Бавыка // Железнодорожный транспорт. – 2008. – №8. – С.24-25.
3. Бардась, А. А. Усовершенствование планирования процессов расформирования составов с учетом оперативных данных автоматизированных систем управления грузовыми перевозками / А. А. Бардась // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. - Д., 2008. - Вип. 24. - С. 150-152.
4. Барков, Н. Н. Сезонная и внутринедельная неравномерность грузовых перевозок на железных дорогах / Н. Н. Барков // Труды Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – М., 1963 – Вып. 249. – 95 с.
5. Березовий, М. І. Аналіз технічного забезпечення сортувальних станцій України [Текст] / М. І Березовий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 3 (42). – С.60-66.
6. Берестов, І. В. Аналіз існуючих методів та методик розрахунку сортувальних пристроїв [Текст] // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – №2. – С. 34-37.
7. Берестов, І. В. Нормування енерговитрат гіркових електровозів [Текст] / І. В. Берестов, С. П. Похилко // Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту. Сер. Транспортні системи і технології. – К : КУЕТТ, 2004. – Вип. 5. - С. 9-15.
8. Бессоненко, С. А. Оптимизация параметров сортировочной горки по времени расформирования составов [Текст] / С. А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление – 2007. – № 9. – С. 30-34.
9. Бледный А. М. Исследование основных параметров горочных локомотивов [Текст]: автореф. дис. на сосикание науч. степени канд. техн. наук:

05.22.08 / Бледный Александр Матвеевич; Днепропетровский ин-т инженеров ж.д. тр-та. – Д., 1975. – 24 с.

10. Бледный, А. М. Исследование режимов работы маневровых локомотивов на сортировочных горках / А. М. Бледный // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на железнодорожных станциях : Труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1975. – Вып. 160/8. – С. 67-77

11. Бобровский В. И. Многошаговый двухэтапный метод оптимизации режимов роспуска составов на горках [Текст] / В. И. Бобровский // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – № 2. – С. 10-12.

12. Бобровский В. И. Анализ эффективности режимов торможения отцепов на сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Н. В. Рогов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2006. – вип. 11. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2006. – С. 103-111.

13. Бобровский В. И. Имитационная модель развязки линий в железнодорожном узле [Текст] / В. И. Бобровский // Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті: Міжвуз. зб. наук. праць – Вип. 38. – Харків: ХарДАЗТ, 1999. – С. 35-42.

14. Бобровский, В. И. Анализ эффективности режимов торможения отцепов на сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Н. В. Рогов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2006. – вип. 11. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2006. – С. 103-111.

15. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов регулирования скорости отцепов при роспуске составов на горках [Текст] / В. И. Бобровский, Н. В. Рогов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: ДНУЖТ, 2004. – Вип. 4. – С. 174–182.

16. Бобровский, В. И. Совершенствование методики оптимизации режимов расформирования составов на горках [Текст] / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов // Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. : ДНУЗТ, 2011. – Вип. 1. – С. 17–21.

17. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов торможения отцепов расчетной группы состава [Текст] / В. И. Бобровский, А. С. Дорош // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д., 2013. – № 1(43). – С. 104-112.

18. Бобровский, В. И. Статистический анализ числа разделений отцепов на стрелках при расформировании составов [Текст] / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов, Л. О. Ефимова // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – вип. 20. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 13-19.

19. Бобровский, В. И. Оценка эффективности систем автоматизации сортировочного процесса методом моделирования [Текст]: Дис. канд. техн. наук: 05.22.08. – Днепропетровск, 1973. – 236 с.

20. Бобровский, В. И. Моделирование управляемого скатывания отцепов на автоматизированных сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский, И. А. Горбачева, А. А. Муратов // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. тр. / ДИИТ. – Днепропетровск, 1983. – Вып. 229/15. – С. 22-29.

21. Бобровский, В. И. Совершенствование имитационной модели процесса надвига и роспуска составов на сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский, Е. Б. Демченко // Зб. наук. праць ДНУЗТ «Транспортні системи та технології перевезень». – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2012. – Вип. 3. – С. 5-9.

22. Бобровский, В. И. Представление продольного профиля сортировочных горок в АСУ расформированием составов [Текст] / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1996. – № 1, 2. – С. 19-25.

23. Бобровский, В. И. Дифференциальные уравнения движения отцепа и методы их решения [Текст] / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1996. – № 6. – С. 34-39.

24. Бобровский, В. И. Количественная оценка технико-технологических параметров железнодорожных станций на основе эргатических моделей

[Текст] / В. И. Бобровский, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин // Вісник ДНУЗТ. -Д., 2007. – Вип. 16. – С.50-57.

25. Бобровский, В. И. Технично-экономическое управление железнодорожными станциями на основе эргатических моделей [Текст] / В.И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті – 2004. – № 6. – С.17-21.

26. Бобровський, В. І. Моделювання роботи вагонних уповільнювачів в задачах дослідження сортувального процесу [Текст] / В. І. Бобровський, Д. М Козаченко, Р. Г. Коробйова // Заліз. тр-т України. – 2010. – № 1. – С. 5-8.

27. Бобровський, В. І. Імітаційна модель процесу розпуску составів на сортувальних гірках [Текст] / В. І. Бобровський, А. С. Дорош, Є. Б. Демченко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х.: НТУ «ХПІ» – 2015. – №49(1158) – С. 94-98.

28. Бобровський, В. І. Дослідження ефективності конструкції сортувальної гірки з горбами різної висоти [Текст] / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко // зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна «Транспортні системи та технології перевезень» . – Вип. 8 – Д.: ДНУЗТ, 2014. –С. 20-26.

29. Бобровський, В. І. Підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій в умовах нерівномірності вхідного потоку поїздів [Текст] / В. І. Бобровський, А. С. Дорош, Є. Б. Демченко // зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна «Транспортні системи та технології перевезень». – Вип. 10 – Д.: ДНУЗТ. – 2015. – С. 16–22.

30. Боднар, Б. Е. Определение нормы расхода топлива [Текст] / Б. Е. Боднар // Промышленный транспорт. – 1981. – № 7. – С. 22.

31. Божко, Н. П. Исследование конструкций плана и профиля сортировочных горок с помощью ЭВМ [Текст] / Н. П. Божко // Совершенствование технологии перевозок и увеличение пропускной способности железных дорог: Труды МИИТа, М. 1983. – вып. 736. – С.14-16.

32. Божко, Н. П. Оптимизация конструкции продольного профиля сортировочной горки [Текст] / Н. П. Божко // Совершенствование технических устройств и технологии управления процессом расформирования составов на сортировочных горках: Межвуз. сб. научн. тр. – Днепропетровск: ДИИТ, 1986. – С. 13-25.

33. Божко, Н. П. Моделирование работы тормозных позиций на сортировочной горке [Текст] / Н. П. Божко // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. тр. / ДИИТ. – Днепропетровск, 1978. – Вып. 197/12. – С. 73-87.

34. Болховитинов, Г. Ф. Эксплуатационные режимы работы дизелей маневровых тепловозов [Текст] / Г. Ф. Болховитинов, А. М. Белостоцкий // Железнодорожный транспорт. – 1966. – №12. – С. 45-48.

35. Бузанов, С. П. Проектирование механизированных и автоматизированных сортировочных устройств [Текст]: учебное пособие для вузов / С. П. Бузанов, А. М. Карпов, М. А. Рыцарев. – М. : Транспорт, 1965. – 232 с.

36. Бурченков В. В. Исследование ускорений, развиваемых локомотивами в процессе роспуска состава [Текст] / В. В. Бурченков // Теоретические и экспериментальные исследования систем автоматизации процесса расформирования составов на сортировочных горках: Труды ВНИИЖТ. - М.: Транспорт, 1983. – вып. 661. – С. 81-91.

37. Бутько, Т. В. Оцінка технічного рівня й ефективності роботи сортувальних станцій [Текст] // Залізничний транспорт України. – 2002. – № 6. – С. 15-17.

38. Бутько, Т. В. Дослідження впливу конструктивних параметрів позовдовжнього профілю насувної частини гірок на витрати палива при розформуванні составів [Текст] / Т. В. Бутько, О. М. Огар, М. П. Топчієв // Зб. наук. праць, УкрДАЗТ, 2003. – Вип. 53. – С. 13-19.

39. Бутько, Т. В. Оцінка технічного рівня й ефективності роботи сортувальних станцій [Текст] / Т. В. Бутько, Г. М. Сіконенко, Р. Ш. Рустамов // Залізничний транспорт України. – 2002. – № 6 – С. 15-17.

40. Быкадоров, А. В. Парк приема сортировочной станции как двухфазная система массового обслуживания [Текст] / А. В. Быкадоров // Сб. трудов НИИЖТа. – 1973. – № 146. – С. 63-80.

41. Вернигора, Р. В. Анализ неравномерности грузовых перевозок на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте [Текст] / Р. В. Вернигора, Н. И. Березовый // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/3(56). – С. 62-67.

42. Володин, А. И. Локомотивные энергетические установки [Текст]: учебник для вузов ж.-д. трансп. / А. И. Володин, В. З. Зюбанов, В. Д. Кузьмич и др. М.: ИПК «Желдориздат», 2002. – 718 с.

43. Гончаров, Н. Е. Маневровая работа на железнодорожном транспорте [Текст] / Н. Е. Гончаров, В. П. Казанцев – М.: Транспорт, 1978. – 183 с.

44. Гончаров, Н. Е. Повышение качества и эффективности управления транспортными средствами [Текст] / Н. Е. Гончаров – К.: Будівельник, 1976. – 152 с.

45. Горцев, А. М. Управление и адаптация в системах массового обслуживания [Текст] / А. М. Горцев, А. А. Назаров, А. Ф. Терпугов. – Томск: изд-во ТГУ, 1978. – 208 с.

46. Грунтов, П. С. Решение практических задач с помощью моделирования работы станций [Текст] / П. С. Грунтов, В. А. Захаров // Железнодорожный транспорт. – 1979 – № 1 – С. 22-25.

47. Грунтов, П. С. Прогнозирование работы сортировочных станций методом моделирования на ЭВМ [Текст] / П. С. Грунтов, В. А. Захаров. – Гомель, 1981. – 152 с.

48. Данько, М. І. Математичне моделювання витрат палива маневровими локомотивами [Текст] / М. І. Данько, Т. В. Бутько, В. Д. Зонов, М. П. Топчієв // Залізничний транспорт України. – 2004. – № 3. – С. 29-32.

49. Данько, М. І. Підхід до прогнозування паливно-енергетичних витрат при розформуванні составів [Текст] / М. І. Данько, В. Ф. Чеклов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – №2. – С. 58-62

50. Дашков, М. Г. К вопросу проектирования ступенчатого профиля

спускной части сортировочной горки [Текст] / М. Г. Дашков // Повышение эффективности эксплуатационной работы железных дорог. – Межвуз. сб. научн. тр. Новосибирск, 1987. – С. 15-21.

51. Демченко, Е. Б. Оценка расхода топлива маневровыми тепловозами при расформировании составов на сортировочных горках [Текст] / Е. Б. Демченко // зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна «Транспортні системи та технології перевезень». – Вип. 6 – Д.: ДНУЗТ, 2013. – С. 39-46.

52. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке [Текст]: Методы планирования эксперимента / Н. Джонсон. – М: Мир, 1981. – 520 с.

53. До питання розробки методики комплексного розрахунку оптимальних конструктивних параметрів сортувальних гірок [Текст] / І. В. Берестов, О. М. Огар, О. Б. Ахієзер, М. Ю. Куценко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, – 2009. – 2/3 (38). – С. 56 –60.

54. Дробаха, В. И. Автоматизированная система учета эксплуатационного расхода топлива «АСУ БИС-Р» [Текст] / Дробаха В. И., Каплун А. Н., Северин И. В. // Локомотив-информ. – 2006. – № 4 – С. 40-42.

55. Дудин, А. Н. Оптимальное управление многоскоростной системой массового обслуживания [Текст] / А. Н. Дудин // Известия АН СССР. Сер. Техническая кибернетика. – 1981. – № 2. – С. 109-115.

56. Дудин, А. Н. Практикум на ЭВМ по теории массового обслуживания [Текст]: Учебное пособие / Дудин А. Н., Медведев Г. А., Меленец Ю. В. – Минск: “Электронная книга БГУ”, 2003. – 109 с.

57. Дудин, А. Н. Системы массового обслуживания с изменяемым режимом функционирования и их оптимизация [Текст]: автореферат дис. ... доктора физико-математических наук : 05.13.16 Томск, 1992. – 34 с.

58. Жуков, В. А. Снижение эксплуатационных расходов при расформировании вагонов на совмещенных сортировочных горках [Текст] / В. А. Жу-

ков, А. Д. Петрушин, Н. Н. Числов, О. Н. Числов // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 9. – С.32-35.

59. Жуковицкий, И. В. Цифровые системы управления скоростью скатывания отцепов на сортировочных горках [Текст]: монография / И. В. Жуковицкий. – Д. : Изд-во Маковецкий, 2012. – 202 с.

60. Жуковицкий, И. В. Цифровая система управления скоростью движения объекта на базе управляющей ЭВМ [Текст] / И. В. Жуковицкий // Праці V конференції з автоматичного управління «Автоматика–98»: Київ, ч. IV. – 1998. с.86–92.

61. Забелло, М. Л. Маневровая работа на железных дорогах [Текст] / М. Л. Забелло // Сб. научн. тр., вып. 160. ЦНИИ, 1958. – 232 с.

62. Ивницкий, В. А. Оперативный анализ работы и нормирование простоев на станции с использованием имитационного моделирования [Текст] / В. А. Ивницкий, А. Г. Миркин // Вестник ВНИИЖТа. – 1990. – № 7. – С. 7-10.

63. Инструкция по эксплуатации двигателя K6S310DR для тепловоза ЧМЭЗТ [Текст]. – Ческа-Тршебова: ЧКД Прага. 1988. – 198 с.

64. Інструкція по технічному нормуванню витрат електричної енергії і палива локомотивами на тягу поїздів. ЦТ-0059 [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 05.03.2003 № 62-Ц. – К., 2003. – 85 с.

65. Калабухін, Ю. С. Методологія та результати оцінки техніко-економічних показників використання сучасних маневрових тепловозів для роботи на маневровій гірці [Текст] / Ю. С. Калабухін // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Харків, 2009. – Вип. 110. – С. 19-21.

66. Каретников, А. Д. График движения поездов / А.Д. Каретников, Н.А. Воробьев. – М.: Транспорт, 1979. – 301 с.

67. Кирлан, А. И. Цифровая модель горки для исследования алгоритмов управления горочными процессами [Текст] / А. И. Кирлан // Автоматизация управления и совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: Сб. научн. тр. – Вып. 13. – Свердловск: УО ЦНИИ МПС, 1969. – С. 112-114.

68. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. [Текст] / А. И. Кобзарь / М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
69. Кобзев, В. А. Новые вагонные замедлители [Текст] / В. А. Кобзев // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 10. – С. 10-12.
70. Кобзев, В. А. Состояние и перспективы развития тормозной горочной техники [Текст] / В. А. Кобзев // Автоматика, связь, информатика. – 2004. – № 11. – С. 2-5.
71. Кобзев, В. А. О возможности применения точечных замедлителей на сортировочных горках [Текст] / В. А. Кобзев // Автоматика, связь, информатика. – 2006. – № 6. – С. 25-26.
72. Кобзев, В. А. Новый вагонный замедлитель КЗ-5 для сортировочных горок [Текст] / В. А. Кобзев // Автоматика, связь, информатика. – 2000. – № 11 – С. 8-10.
73. Ковалев, И. А. Прогнозирование поездообразования на сортировочной станции с применением имитационного моделирования [Текст] / И. А. Ковалев, А. Э. Александров // Всероссийск. науч.-техн. конф. «Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров»: Сб. материалов. – Пенза: Приволж. дом знаний. – 2002. – С.59-63.
74. Козаченко, Д. М. Дослідження параметрів вагонопотоків, що розформовуються на сортувальних гірках [Текст] / Д. М. Козаченко, Березовий М. І., Болвановська Т. В. // Збірник наукових праць ДНУЗТ Транспортні системи і технології перевезень – 2012. – Вип. 4. – С. 44-48
75. Козаченко, Д. М. Эффективные режимы гальмування відчепів на сортувальних гірках [Текст] / Д. Н. Козаченко // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. :ДНУЗТ, 2011. – Вип. 2. – С. 55–59.
76. Козаченко, Д. Н. Исследование условий интервального регулирования скорости скатывания отцепов на автоматизированных горках [Текст] / Д.

Н. Козаченко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2010. – Вип. 34. – С. 46–50.

77. Козаченко, Д. Н. Критерий оптимизации режимов торможения отцепов расчетной группы в условиях действия случайных факторов [Текст] / Д. Н. Козаченко // Зб. наук. праць Донецького ін-ту залізн. трансп. укр. державної акад. залізн. трансп. – Дн.: Вид-во ДонІЗТ, 2010. – Вип. 23. – С. 14–21.

78. Козаченко, Д. М. Модель колійного розвитку для імітаційного моделювання гіркових процесів [Текст] / Д. М. Козаченко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 29 – С 53-57.

79. Козаченко, Д. М. Моделювання роботи сортувальної гірки в умовах невизначеності параметрів відчепів та характеристик навколишнього середовища [Текст] / Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, О. І. Таранець // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. : ДНУЗТ, 2007. – Вип. 16. – С. 73–76.

80. Козаченко, Д. М. Моделювання скочування відчепа як динамічної системи взаємопов'язаних вагонів [Текст] / Д. М. Козаченко // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту української державної академії залізничного транспорту. – 2009. – вип. 20 – С 5-15.

81. Козаченко, Д. М. Програмний комплекс для імітаційного моделювання роботи залізничних станцій на основі добового плану-графіка [Текст] / Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, Р. Г. Коробйова // Залізничний транспорт України. – 2008. – № 4. – С.18-20.

82. Козлов, П. А. Курс - на комплексную автоматизацию сортировочных станций [Текст] / П. А. Козлов // Автоматика, связь, інформатика. – 2001. – № 1. – С. 6-9;

83. Концепція та програма реструктуризації на залізничному транспорті України [Текст]. – Київ: Міністерство транспорту, 1998. – 232 с.

84. Корженевич, И. П. Оценка расхода топлива или электроэнергии через механическую работу локомотива [Текст] / И. П. Корженевич // Вісник

Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 29. – С. 88-90.

85. Луговой, П. А. Основы технико-экономических расчетов на железнодорожном транспорте [Текст] / П. А. Луговой, Л. Г. Цыпин, Р. А. Аукуционек – М.: Транспорт, 1973. – 232 с.

86. Луханін, М. І. Новий уповільнювач вагонний універсальний [Текст] / М. І. Луханін // Залізничний транспорт України. – 2006. – №3. – С. 48-50.

87. Луханін, М. І. Удосконалена модель підсистеми розформування поїздів на сортувальній станції [Текст] / М. І. Луханін, В. С. Селецький // Інф.-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2000. – № 8. – С. 71-74.

88. Методика тяговых расчетов для маневровой работы ЦДЛ-21 [Текст]. – М.: Транспорт, 1988. 132 с.

89. Методические указания по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, узлов и станций. – М.: ВПТИТРАНССТРОЙ, 1988. – 468 с.

90. Механизация и автоматизация формирования поездов [Текст] / Ю. А. Муха, В. А. Король, Н. М. Иванков и др. / Под общ. ред. Ю. А. Мухи. – К.: Техніка, 1987. – 136 с.

91. Мироненко, В. К. Реорганізація роботи сортувальних станцій та систем підведення вагонопотоків [Текст] // Залізничний транспорт України. – 2003. – № 2. – С. 6-7.

92. Мойсеенко, В. И. Управление тормозными средствами сортировочной горки на базе энергетической модели отцепа [Текст] / В. И. Мойсеенко, Н. Н. Рябчук // Інф.-керуючі системи на залізнич. трансп. – 2000. – № 4 – С. 104-105.

93. Монтгомери, Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных [Текст]: Пер. с англ. / Д. К. Монтгомери – Л.: Судостроение, 1980. —384 с.

94. Моргачев, В. Д. Создание эффективных электромагнитных вагонозамедлителей [Текст] / В. Д. Моргачев // Автоматика, телемеханика и связь –

1991. – № 9 – С. 6-7.

95. Музикіна, Г. І. Вплив параметрів накопичення вагонів на їх простій на сортувальній станції [Текст] / Г. І. Музикіна, Т. В. Болвановська, Є. М. Жорова // Вісник ДНУЗТ. – 2008. – Вип. 20. – С. 198-201.

96. Музикіна, Г. І. Скорочення простою вагонів на сортувальних станціях за рахунок підвищення ефективності їх роботи [Текст] / Г. І. Музикіна, Т. В. Болвановська // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. – К. : ДЕГУТ, 2007. – Вип. 12 : Серія "Транспортні системи і технології". – С. 131-136.

97. Муха, Ю. А. Управление скоростью скатывания вагонов на путях накопления в сортировочном парке [Текст] / Ю. А. Муха, А. А. Назаров // Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту. Сер. Транспортні системи і технології. – К. : КУЕТТ, 2005. – Вип. 8. – С. 159-163.

98. Муха, Ю. А. Моделирование на ЭЦВМ процесса скатывания отцепов с сортировочной горки [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа. – Вып. 90/6. – Днепропетровск, 1969. – С. 53-63.

99. Муха, Ю. А. Выбор оптимальных значений регулируемых параметров системы АЗСР ЦНИИ при ее внедрении [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на железнодорожных станциях: Труды ДИИТа. – Вып. 160/8. – Днепропетровск, 1975. – С. 44-64.

100. Муха, Ю. А. Программа моделирования процесса скатывания отцепов с сортировочной горки на ЭЦВМ «Урал - 3» [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа. – Вып. 97. – М.: Транспорт, 1970. – С. 37-54.

101. Муха, Ю. А. Цифровая модель процесса роспуска составов на автоматизированных сортировочных горках [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский, С. А. Попов // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного

процесса на станциях: Труды ДИИТа. – Вып. 181/10. – Днепропетровск. – 1976. – С. 23-40.

102. Нагорный, Е. В. Економіко-математична модель функціонування логістичного ланцюга транспортного комплексу «Сортувальна станція-прилегли ділянки» [Текст] / Е. В. Нагорний, Є. С. Альошинський // Зб. наук. праць ХарДАЗТ. – Вип. 42. – 2000. – С. 51-57.

103. Нагорный, Е. В. Решение задачи по энергосбережению при торможении отцепов на сортировочных горках [Текст] / Е. В. Нагорный, А. Я. Шейнин // Заліз. трансп. України. – 1998. – № 1 (4-5). – С. 70-72.

104. Нагорный, Е. В. Моделирование функционирования комплекса «Сортировочная станция-прилегающие участки» с помощью сетей Петри [Текст] / Е. В. Нагорный, Е. С. Алешинский // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2000. – № 2. – С. 98-103.

105. Назаров, О. А. Ефективність систем розподіленого регулювання швидкості вагонів на сортувальних коліях / О. А. Назаров // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 193-198.

106. Назаров, Л. С. Тяговые расчеты для маневровой работы [Текст] / Л. С. Назаров // Железнодорожный транспорт. – 1990. – №3. – С. 31-34.

107. Назаров, Л. С. Повышение эффективности маневровой работы [Текст] / Л. С. Назаров, С. Л. Назаров // Железнодорожный транспорт. – 2001. – №8. – С. 56-57.

108. Назаров, Л. С. Как оценить усовершенствования маневрового тепловоза [Текст] / Л. С. Назаров // Локомотив. – 2003. – №10. – С. 40-42.

109. Настанова по економічному використанню дизельного палива при експлуатації тепловозів. ЦТ-0198 [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 29.10.2010. № 161-ЦЗ / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2011. – 101 с.

110. Никитин, В. Д. Проектирование продольного профиля парков сортировочной станции с помощью математического моделирования маневровых

процессов на ЭЦВМ [Текст] / В. Д. Никитин, С. С. Мацкель // Сб. научн. тр., вып. 304. МИИТ, 1969, С. 4-41.

111. Образцов, В. Н. К вопросу о тяговых расчетах сортировочных горок [Текст] / В. Н. Образцов // Труды МИИТа. – Вып. 9. – М., 1928. – С. 129-152.

112. Овчинников, В. М. Сокращение расхода дизельного топлива на маневрах [Текст] / В. М. Овчинников, С. А. Пожидаев, Н. Г. Швец, В. В. Скрендевский // Зб. наук. праць ДНУЗТ «Транспортні системи та технології перевезень». – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – Вип. 1. – С. 62-70.

113. Огар, О. М. Науковий підхід до визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок [Текст] / О. М. Огар // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2009. – № 18. – С. 9-16.

114. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках: монография [Текст] / В. И Бобровский, Д. Н. Козаченко, Н. П. Божко, Н. В. Рогов, Н. И Березовый, А. В. Кудряшов. – Д.: Изд-во Маковецкий, 2010. – 260 с.

115. Панков, С. В. Моделирование суточного плана-графика станции на основе сетей Петри [Текст] / С. В. Панков // Вест. инженеров-электромех. ж.д. тр-та СамГАПС – 2003 – № 1 – С. 194-198.

116. Персианов, В. А. Расчет железнодорожных узлов методом моделирования их работы на ЭЦВМ [Текст] / В. А. Персианов, Н. С. Усков, И. Е. Четыркина // Транспортные узлы. – М.: Транспорт, 1966. – С. 420 – 446.

117. Персианов, В. А. Моделирование транспортных систем / В. А. Персианов, К. Ю. Скалов, Н. С. Усков. – М.: Транспорт, 1972. – 208 с.

118. Пилипченко, П. А. Моделирование на ЭЦВМ роспуска составов на сортировочной горке [Текст] / П. А. Пилипченко // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа. – Вып. 125/7. – Днепропетровск. – 1971. – С. 33-42.

119. Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств [Текст] // Муха Ю. А., Тишков Л. Б, Шейкин В. П. и др. – М: Транспорт, 1994. – 220 с.

120. Похилко, С. П. Визначення оптимальних режимів роботи електро-возу ВЛ8 при виконанні гіркових операцій [Текст] / С. П. Похилко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті – 2005. – №1/2. – С. 107-112

121. Правдин, Н. В. Анализ существующих методов расчета сортировочных горок [Текст] // Транспорт: наука, техника, управление – 2004 – № 5 – С. 22-27.

122. Правдин, Н. В. Определение уклонов скоростных участков и тормозных позиций на спускной части сортировочной горки [Текст] / Н. В. Правдин, С. А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление – 2008. – № 9. – С. 6-10.

123. Правдин, Н. В. Расчет параметров сортировочной горки с учетом случайных ходовых свойств отцепов [Текст] / Н. В. Правдин, С. А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление – 2007. – № 7. – С. 8-15.

124. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207-89 [Текст]. – М.: Транспорт, 1992. – 104 с.

125. Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст]: затв. наказом МТУ від 20.12.1996 р. №411 / Мін-во транспорту України. – К. : Поліграфсервіс, 2003. – 133 с.

126. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст]. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.

127. Рогов, Н. В. Имитационная модель скатывания отцепов с регулируемой зоной торможения [Текст] / Н. В. Рогов, Н. П. Божко, Д. Н. Козаченко // Проблемы и перспективы развития ж.д. транспорта: Тезисы LXV междунар. научно-практ. конф. – Д.: ДИИТ, 2005. – С. 109-110.

128. Рыков, В. В. Управляемые системы массового обслуживания [Текст] / В. В. Рыков // Итоги науки и техники. сер. «Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика». М: ВИНТИ, 1975. – Т. 12. – С. 45-152.

129. Савицкий, А. Г. Автоматизация работы сортировочной станции

[Текст] / А. Г. Савицкий, В. Н. Рубцов // Автоматика, связь, информатика. – 2001. – № 9. – С. 21-24;

130. Савицкий, А. Г. Концепция автоматизации и механизации процессов на сортировочных станциях [Текст] / А. Г. Савицкий // Автоматика, связь, информатика. – 2000. – № 4. – С. 49-52;

131. Совершенствование конструкции и технологии работы сортировочных комплексов железнодорожных станций [Текст]: монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, А. И. Колесник, Е. Б. Демченко, А. С. Дорош ; Днепрпетр. нац. ун-т ж.-д. тр-та им. акад. В. Лазаряна. – Д. : Маковецкий, 2012. – 232 с.

132. Сотников, И. Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог [Текст] / И. Б. Сотников. – М.: Транспорт, 1976. – 268 с.

133. Сотников, Е. А. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на потребную пропускную способность участков [Текст] / Е. А. Сотников, К. П. Шенфельд // Вестник ВНИИЖТ. – 2011. – № 5. – С. 3-9.

134. Сотников, Е. А. Интенсификация работы сортировочных станций [Текст] / Е. А. Сотников. – М.: Транспорт, 1979 – 239 с.

135. Справочник по электроподвижному составу, тепловозам и дизель-поездам [Текст] / Под ред. А. И. Тищенко. - М.: Транспорт, 1976. - Т. I. - 432 с.

136. Тененбаум, Э. М. Исследование автоматизированного роспуска составов на имитационной модели [Текст] / Э. М. Тененбаум, Е. П. Скиба, Т. Е. Москвичева // Автоматизированные системы управления технологическими процессами на сортировочных станциях магистрального и промышленного транспорта: Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 244/14. - Днепропетровск: ДИИТ, 1985. – С. 37-45

137. Тененбаум, Э. М. Организация имитационной модели управляемого роспуска составов [Текст] / Э. М. Тененбаум, Т. Е. Москвичева // Автоматизированные системы управления технологическими процессами на железнодорожных станциях: Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 224/11. – Днепропетровск: ДИИТ, – 1982. – С. 61-69.

138. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування [Текст]: підручник для ВНЗ залізнич. трансп. / Б. Є. Боднар, Є. Г. Нечаєв, Д. В. Бобирь / Під ред. Б. Є. Боднара. – Д.: ПП «Ліра ЛТД», 2010. – 358 с.

139. Тепловозы ТЭМ1 и ТЭМ2 [Текст]: Изд. 2-е, испр. и доп. / Под ред. Е. Ф. Сдобникова. – М.: Транспорт, 1978. – 279 с.

140. Топчієв, М. П. Аналіз конструкції поздовжнього профілю насувної частини сортувальних пристроїв станцій залізниць України / М. П. Топчієв, В. С. Алейник, І. В. Берестов, М. І. Данько, О. М. Огар // Збірник наукових праць / УкрДАЗТ. - Харків, 2004. - Вип. 62. с.67-75.

141. Туляганов, У. Рациональное использование маневровых средств на станциях [Текст] / У. Туляганов, С. С. Мацкель – Ташкент: Ин-т научно-технич. информации, 1972. – 23 с.

142. Тяговые расчеты [Текст]: справочник / П. Т. Гребенюк, А. Н. Додганов, А. И. Скворцова / Под ред. П. Т. Гребенюка. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.

143. Угрюмов, А. К. Неравномерность движения поездов [Текст] / А. К. Угрюмов. М.: Транспорт, 1968. – 112 с.

144. Усков, Н. С. Некоторые методические вопросы моделирования транспортных комплексов [Текст] / Н. С. Усков // Вопросы организации работы и развития транспортных узлов: Сб. научн. тр. – Вып. 29. – М.: ИКТП, 1972. – С. 152 – 160.

145. Устенко, А. Б. К вопросу об использовании микроЭВМ для управления вагонозамедлителями [Текст] / А. Б. Устенко, А. А. Муратов, И. В. Жуковицкий // Межвуз. сб. науч. тр. / ДИИТ. - Днепропетровск, 1990. – Вып. 279/17. – С. 26-31.

146. Федотов, В. А. Определение продолжительности простоя вагонов на станции в ожидании обслуживания методом моделирования на ЭВМ [Текст] / В. А. Федотов // Применение математических методов и ЭВМ в эксплуатации железных дорог: Сб. научн. тр. – Вып. 497. – М.: МИИТ, 1975. – С. 143 – 149.

147. Холлендер, М. Непараметрические методы статистики [Текст] /

М. Холлендер, Д. А. Вулф. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 518 с.

148. Чхаидзе, А. В. Сортировочные станции XXI века [Текст] // Железнодорожный транспорт. – 2000. – № 3. – С. 54-62.

149. Шабельников, А. Н. Комплексный подход к автоматизации сортировочных горок [Текст] / А. Н. Шабельников // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 8. – С.31-33.

150. Шавзис, С. С. Планирование поездообразования: новые подходы и решения [Текст] / С. С Шавзис //Железнодорожный транспорт. – 2003. – № 8. – С. 43-47.

151. Шафит, Е. М. Дифференциальные уравнения скатывания отцепов с сортировочной горки при различных способах аппроксимации продольного профиля [Текст] / Е. М. Шафит // Вопросы механизации и автоматизации сортировочных горок: Труды ДИИТ. – Вып. 52. – М.: Транспорт, 1965. - С. 55-72.

152. Швец, Н. Г. Энергоэффективные режимы маневровой работы на сортировочных горках [Текст] / Н. Г. Швец, В. М. Овчинников, С. А. Пожидаев // Материалы 2-й Междунар. науч.-практ. конф. «Интеграция Украины в международную транспортную систему». – Д.: ДНУЗТ, 2010. – С. 116-119.

153. Шелест, П. А. Тяговые расчеты тепловозов промышленного транспорта [Текст] / П. А. Шелест – М.: Транспорт, 1972. – 160 с.

154. Шелухин, В. И. Универсальный модуль управления тормозными позициями [Текст] / В. И. Шелухин, И. Н. Малышев // Автоматика, связь, информатика – 2000. – № 5. – С.12-14.

155. Яновський, П. О. Методичні основи забезпечення якісної взаємодії виробництва і транспорту [Текст] / П. О. Яновський // Залізничний транспорт України. – 2013. – №5/6. – С.104-111.

156. Яновський, П. О. Стан сучасної системи забезпечення якості перевізного процесу залізниць [Текст] / П. О. Яновський // Залізничний транспорт України. – 2013. – №3/4. – С.80-86.

157. Agarwal, R. P. New fluctuation analysis of D-policy bulk queues with

multiple vacations [Електронний ресурс] / R. P. Agarwal, J.H. Dshalalow // *Mathematical and Computer Modelling*. – 2005. – Volume 41. – Issues 2–3. – pp. 253-269
 Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895717705000786>

158. Amy, R. Asymptotically Optimal Admission Control of a Queue with Impatient Customers [Текст] / R. Amy, W. Kumar, S. Kumar // *Mathematics of Operations Research*. – 2008– Vol. 33. – No. 1 – pp. 167-202

159. Artalejo, J. R. On the M/G/1 queue with D-policy [Електронний ресурс] / J. R. Artalejo // *Applied Mathematical Modelling*. – 2001. – Volume 25. – Issue 12. – pp. 1055-1069. Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X01000312>

160. Bobrovskiy, V. The research of the domain of permissible braking modes of cuts on the gravity humps [Text] : IV Symposium of young researchers / V. Bobrovskiy, D. Kozachenko, A. Dorosh, E. Demchenko, T. Bolvanovska, A. Kolesnik // *Transport problems* – 2015. – P. 632-640.

161. 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.

162. Dorosh, A. S. Determination of braking optimal mode of controlled cut of design group [Текст] / A. S. Dorosh // *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. – 2015. – № 3(57). – P. 36-44.

163. Kamra, A Fair adaptive bandwidth allocation: a rate control based active queue management discipline [Електронний ресурс] / Abhinav Kamra, Huzur Saran, Sandeep Sen, Rajeev Shorey // *Computer Networks*. – 2004. – Volume 44. – Issue 2. – pp. 135-152. Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128603003475>

164. Kuo-Hsiung Wang Maximum entropy analysis to the N policy M/G/1 queueing system with a removable server [Електронний ресурс] / Kuo-Hsiung Wang, Shu-Lung Chuang, Wen-Lea Pearn // *Applied Mathematical Modelling*. –

2002. – Volume 26 – Issue 12 – pp. 1151-1162. Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X02000562>

165. Kuo-Hsiung Wang Optimal control of the N policy M/G/1 queueing system with server breakdowns and general startup times [Электронный ресурс] / Kuo-Hsiung Wang, Tsung-Yin Wang, Wen Lea Pearn // Applied Mathematical Modelling. – 2007 – Volume 31. – Issue 10. – pp. 2199-2212. Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X06002083>

166. Lewis, Mark E. Average optimal policies in a controlled queueing system with dual admission control [Текст] / Mark E. Lewis // J. Appl. Probab. – 2001 – issue. 38. – no. 2. – pp. 369-385. doi:10.1239/jap/996986750

167. Runtong Zhang. Fuzzy Control of Queuing Systems [Текст] / Runtong Zhang, Yannis A. Phillis, Vassilis S. Kouikoglou. Springer Science & Business Media, 2005 – 175 p.

168. Tsung-Yin Wang Optimization of the T policy M/G/1 queue with server breakdowns and general startup times [Электронный ресурс] / Tsung-Yin Wang, Kuo-Hsiung Wang, Wen Lea Pearn // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2009. – Volume 228. – Issue 1. – pp. 270-278. Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377042708004743>

169. Zhang Cost evaluation in M/G/1 queue with T-policy revisited [Электронный ресурс]: technical note / Zhang, Zhe George, Tadj, Lotfi and Bounkhel, Messaoud // European Journal of Operational Research. – 2011, Volume 214. – Issue 3. – pp. 814-817. Режим доступа: <http://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:ejores:v:214:y:2011:i:3:p:814-817>.

ДОДАТОК А**АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО
ДОСЛІДЖЕННЯ**

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи Демченка Є. Б., асистента кафедри станцій та вузлів Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ)

В 2012–13 рр. на замовлення ТОВ з П «Трансінвестсервіс» виконавцем – ТОВ «НВН «Укртранскад» було виконано розробку проектної документації **«Робочий проект. «Будівництво сортувального парку та сортувальної гірки парку «Южний» станції «Хімічна»** (договір № 25 від 25 квітня 2012 р., державний реєстраційний номер 0113U008346).

В розробках брав участь асистент кафедри станцій та вузлів ДНУЗТ Демченко Є. Б., який виконав розрахунок переробної спроможності нового сортувального комплексу станції «Хімічна» та запропонував варіанти організації маневрової роботи з розформування составів.

Впровадження результатів дисертаційної роботи Демченка Є. Б. при експлуатації нової сортувальної гірки та сортувальної станції дозволить оперативно змінювати інтенсивність розформування составів, і за рахунок цього забезпечити скорочення експлуатаційних витрат станції на переробку вагонів.

Заступник Генерального директора

ТОВ з П «Трансінвестсервіс»

28 вересня 2015 р.



А. І. Верлан

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

С. В. Мямлін

15 вересня 2015 р.



про використання результатів дисертації Демченка Євгена Борисовича
«ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ
СОРТУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ЗМІННОЇ
ІНТЕНСИВНОСТІ ВХІДНОГО ПОТОКУ ПОЇЗДІВ»

м. Дніпропетровськ

«15» вересня 2015 р.

Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна виконано наступні науково-дослідні роботи, в яких використано результати дисертації Демченка Є. Б. «Підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій в умовах змінної інтенсивності вхідного потоку поїздів»:

1. «Удосконалення конструкції та технології роботи сортувальних комплексів на станціях» (№ ДР 0109U000480);
2. «Удосконалення інформаційних технологій на залізничному транспорті» (№ ДР 0111U003613);
3. «Розробка вимог до інфраструктури залізничного транспорту та удосконалення методів її експлуатації в умовах розділення парку вантажних вагонів» (№ ДР 0114U002544);
4. «Визначення умов та розробка рекомендацій з безпечної організації розпуску составів на сортувальних гірках станції Нижньодніпровськ-Вузол для різних ступенів зменшення гальмової потужності уповільнювачів спускної частини гірки та паркової гальмової позиції» (№ ДР 0115U007067).

Начальник НДЧ
д. т. н., професор

Д. М. Козаченко

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор Дніпропетровського
національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна

 Б. Є. Боднар

22 вересня 2015 р.

АКТ

про використання результатів дисертації Демченка Євгена Борисовича
«ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИХ
КОМПЛЕКСІВ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ЗМІННОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ
ВХІДНОГО ПОТОКУ ПОЇЗДІВ»

м. Дніпропетровськ

«22» вересня 2015 р.

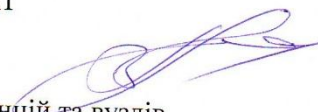
Цей акт складений про те, що у навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна при підготовці спеціалістів та магістрів за спеціальністю 7(8).07010102 «Організація перевезень та управління на залізничному транспорті» використовуються наукові та практичні результати, що отримані в дисертації Демченка Є. Б., а саме:

1. Теоретичні результати дисертації використовуються при викладанні дисциплін «Залізничні станції та вузли», «Розрахунок та проектування сортувальних пристроїв на станціях», «Основи теорії транспортних процесів та систем».

2. Результати дисертації використовуються при виконанні дипломних проєктів та дипломних магістерських робіт за спеціальністю 7(8).07010102 «Організація перевезень та управління на залізничному транспорті».

декан факультету УПП

к.т.н., доцент



Р. В. Вернигора

завідувач кафедри станцій та вузлів

д.т.н., професор



В. І. Бобровський

ДОДАТОК Б

ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ
РОЗФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ

Б.1 Модель основної гірки

300.000	0	#	0.00
267.210	0	#	-2.00
100.000	0	#	350.00
50.000	0	#	0.00
50.000	0	#	350.00
17.790	0	#	-19.86
10.000	0	#	350.00
5.000	0	#	-7.70
12.450	200	#	350.00
1.670	0		
0.160	0	#	0.00
1.190	200	#	350.00
5.910	200	TH	
13.840	200	#	47.30
11.500	0	#	250.00
2.760	200		
1.250	200	ES1	
4.010	200	#	22.30
6.120	6	GS1	250.00
11.390	6		
8.080	1		
7.530	6		
9.980	6	#	15.00
0.500	0	ER1	250.00
12.475	0	NR1	
1.000	0		
12.475	0	NR1	
0.500	0	GR1	
1.000	0		
1.500	200		
18.569	200	#	7.93
5.260	200	ES2	250.00
6.120	6	GS2	
11.390	6		
10.763	200		
3.000	0		
0.500	0	ER2	
12.475	0	NR2	
1.000	0		
12.475	0	NR2	
0.500	0	GR2	
3.000	0	ES3	
2.260	0	#	2.00
6.120	6	GS3	250.00
11.390	6		
7.970	200		

17.510	6		
5.260	0	ES4	
6.120	6	GS4	
11.390	6		
1.200	0		
5.260	0	ES5	
6.120	6	GS5	
11.390	6	WS1	
42.334	180		
1.325	180	ER3	
3.600	180	NR3	
2.650	180		
3.600	180	NR3	
2.650	180		
3.600	180	NR3	
1.325	180	GR3	
0.675	180		
7.141	180	#	0.60
42.859	0	#	250.00
900.00	0		
50.000	0	#	-2.00
50.000	0	#	250.00
1.000	77	FW	

Б.2 Модель пониженої гірки

300.000	0	#	0.00
367.120	0	#	-2.00
100.000	0	#	350.00
50.000	0	#	0.00
50.000	0	#	350.00
67.120	0	#	
32.880	0	#	-8.00
12.450	200	#	350.00
1.830	0		
2.840	200		
1.400	200	#	0.00
5.000	200	TH	350.00
11.700	200	#	40.00
11.500	0	#	250.00
2.760	200		
1.250	200	ES1	
4.010	200	#	22.30
6.120	6	GS1	250.00
11.390	6		
8.080	1		
7.530	6		
9.980	6	#	15.00
0.500	0	ER1	250.00
12.475	0	NR1	
1.000	0		
12.475	0	NR1	
0.500	0	GR1	
1.000	0		

1.500	200		
18.569	200	#	7.93
5.260	200	ES2	250.00
6.120	6	GS2	
11.390	6		
10.763	200		
3.000	0		
0.500	0	ER2	
12.475	0	NR2	
1.000	0		
12.475	0	NR2	
0.500	0	GR2	
3.000	0	ES3	
2.260	0	#	2.00
6.120	6	GS3	250.00
11.390	6		
7.970	200		
17.510	6		
5.260	0	ES4	
6.120	6	GS4	
11.390	6		
1.200	0		
5.260	0	ES5	
6.120	6	GS5	
11.390	6	WS1	
42.334	180		
1.325	180	ER3	
3.600	180	NR3	
2.650	180		
3.600	180	NR3	
2.650	180		
3.600	180	NR3	
1.325	180	GR3	
0.675	180		
7.141	180	#	0.60
42.859	0	#	250.00
900.00	0		
50.000	0	#	-2.00
50.000	0	#	250.00
1.000	77	FW	

Б.3 Приклад моделі составу

*число вагонов, путь назначения, Спрц

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

*данные о вагонах отцепа 25:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

2 3 739

пв 4р 40.0 1.05

пв 4р 40.0 0.97

*данные о вагонах отцепа 1:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

1 8 1021

пл 4с 42.0 3.60

*данные о вагонах отцепа 3:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

1 3 709

цс 4с 22.0 3.90

*данные о вагонах отцепа 4:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

2 12 865

кр 4р 54.0 2.20

кр 4р 54.0 2.20

*данные о вагонах отцепа 5:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

1 3 694

цс 4р 80.0 1.13

*данные о вагонах отцепа 6:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

2 17 668

кр 4р 65.0 1.18

кр 4р 65.0 1.02

*данные о вагонах отцепа 7:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

3 16 872

пв 4р 90.0 1.15

пв 4р 90.0 1.67

пв 4р 90.0 1.49

*данные о вагонах отцепа 8:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

1 10 989

пв 4р 22.0 4.50

*данные о вагонах отцепа 2:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

3 11 731

пв 4р 71.0 2.10

пв 4р 71.0 2.10

пв 4р 71.0 2.10

*данные о вагонах отцепа 9:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

1 6 1020

цс 4р 87.0 1.28

*данные о вагонах отцепа 10:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

1 9 652

пв 4р 62.0 2.00

*данные о вагонах отцепа 11:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

1 17 638

цс 4р 73.0 1.78

*данные о вагонах отцепа 12:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

4 13 692

кр 4р 61.0 1.35

кр 4р 61.0 1.12

кр 4р 61.0 1.15

кр 4р 61.0 1.41

*++данные о вагонах отцепы 14:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

2 5 617

пл 4р 79.0 1.41

пл 4р 79.0 1.09

*данные о вагонах отцепы 15:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

1 6 1005

пв 4р 30.0 4.00

*данные о вагонах отцепы 16:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

1 1 560

пв 4р 38.0 3.50

*данные о вагонах отцепы 17:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

2 6 990

кр 4р 65.0 1.25

кр 4р 65.0 1.10

*данные о вагонах отцепы 18:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

1 10 974

пв 4р 78.0 1.0

*данные о вагонах отцепы 19:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

1 16 827

пв 4р 46.0 3.00

*данные о вагонах отцепы 20:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

1 1 545

пв 4р 54.0 2.50

*данные о вагонах отцепы 13:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

1 14 935

пв 4р 85.0 0.50

*данные о вагонах отцепы 21:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

2 9 637

пв 4р 38.0 0.79

пв 4р 38.0 0.87

*данные о вагонах отцепы 22:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

1 4 736

пв 4р 62.0 2.05

*данные о вагонах отцепы 23:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

2 17 623

цс 4р 87.0 1.28

цс 4р 87.0 1.28

*данные о вагонах отцепы 24:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.

1 4 721

цс 4р 77.0 1.71

*данные о вагонах отцепы 26:

*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.
3 6 960
цс 4р 81.0 1.58
цс 4р 81.0 1.33
цс 4р 81.0 1.40
*данные о вагонах отцепа 27:
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.
1 16 812
пв 4р 78.0 1.0
*данные о вагонах отцепа 28:
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.
1 14 920
кр 4р 80.0 1.40
*данные о вагонах отцепа 29:
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.
2 4 706
пв 4р 80.0 0.95
пв 4р 80.0 0.87
*данные о вагонах отцепа 30:
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.
5 13 632
пв 4р 85.0 1.19
пв 4р 85.0 1.87
пв 4р 85.0 1.55
пв 4р 85.0 1.64
пв 4р 85.0 1.48
*данные о вагонах отцепа 31 :
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.
1 8 1006
пв 4р 84.0 1.27
*данные о вагонах отцепа 32:
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.
1 14 905
пв 4р 58.0 1.87
*данные о вагонах отцепа 33:
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.
1 13 557
пл 4р 80.0 0.88
*данные о вагонах отцепа 34:
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.
2 15 600
пл 4р 75.0 1.51
пл 4р 75.0 1.17
*данные о вагонах отцепа 35:
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.
1 6 915
пв 4р 70.0 1.50