

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

На правах рукопису

Болвановська Тетяна Валентинівна



УДК 656.212.5(23.01)

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПЕРЕРОБНОЇ
СПРОМОЖНОСТІ СОРТУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Дисертація
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Козаченко Дмитро Миколайович
доктор технічних наук,
професор

Дніпропетровськ – 2015

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ОЦІНКИ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК.....	12
1.1 Напрямки підвищення ефективності сортувального процесу	12
1.2 Проблеми оцінки переробної спроможності сортувальних гірок та сортувальних комплексів	18
1.3 Методи моделювання процесу розформування составів на гірках .	26
1.4 Постановка задач дослідження. Структура, послідовність та методи їх проведення.	33
1.5 Висновки за розділом 1.....	36
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК	37
2.1 Аналіз технічного забезпечення сортувального процесу	37
2.2 Аналіз поїздо- та вагонопотоків, що надходять у розформування .	39
2.3 Аналіз розділення відчепів на стрілочних позиціях сортувальної гірки.....	47
2.4 Висновки за розділом 2.....	55
РОЗДІЛ 3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РОЗФОРМУВАННЯ – ФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ ПОЇЗДІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ.....	57
3.1 Модель процесу скочування відчепів	57
3.2 Удосконалення методів вибору режимів інтервального регулювання швидкості скочування відчепів.....	67
3.3 Дослідження впливу різних факторів на умови інтервального регулювання швидкості скочування відчепів	76

3.4 Дослідження впливу швидкості розпуску составів на умови прицільного регулювання швидкості скочування відчепів...	81
3.5 Удосконалення методів вибору режимів гальмування відчепів в умовах зміни швидкості розпуску відчепів	89
3.6 Висновки за розділом 3.....	92
РОЗДІЛ 4 ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕРОБНОЇ СПРОМОЖНОСТІ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК.....	
4.1 Аналіз факторів, що впливають на переробну спроможність сортувальних комплексів	94
4.2 Визначення переробної спроможності сортувального комплексу..	97
4.3 Висновки за розділом 4.....	105
ВИСНОВКИ.....	106
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:	109
ДОДАТОК А АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	
ДОДАТОК Б ВИХІДНІ ДАНІ ТА РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПУ	128
ДОДАТОК В ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПА	131
ДОДАТОК Г ВИХІДНІ ДАНІ ТА РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ СКОЧУВАННЯ СОСТАВУ	133

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АРМ	— автоматизоване робоче місце;
АРШ	— система автоматичного регулювання швидкості скочування відчепів з сортувальної гірки;
АСК (АСУ)	— автоматизована система керування (автоматизована система управління);
В	— відчеп важкої вагової категорії;
ВГП	— верхня (перша) гальмова позиція;
ВФ	— витяжна колія формування;
ГАЦ	— гіркова автоматична централізація;
ГВП	— гірка великої потужності;
ГМП	— гірка малої потужності;
ГПП	— гірка підвищеної потужності;
ГСП	— гірка середньої потужності;
ЕОМ	— електронно-обчислювальна машина;
КГМ	— комплекс гірковий мікропроцесорний;
КР-Сортув.	— Кривий Ріг-Сортувальний;
Л	— відчеп легкої вагової категорії;
ЛС	— відчеп легко-середньої вагової категорії;
НД-Вузол	— станція Нижньодніпровськ-Вузол;
ОДР	— область допустимих режимів гальмування;
ОДШ	— область допустимих швидкостей виходу відчепу з гальмових позицій
ПГП	— паркова гальмова позиція;
ПОР	— порожній вагон (відчеп)
ПФП	— план формування поїздів;
С	— відчеп середньої вагової категорії;

СВ	– відцеп середньо-важкої вагової категорії;
СМО	– система масового обслуговування;
СГП	– середня (друга) гальмова позиція;
СС	– сортувальна станція;
ст	– станція;
ЦНІ	– Центральний науково-дослідний інститут Міністерства шляхів сполучення СРСР.

ВСТУП

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку економіки України залізничний транспорт зберіг за собою роль основного перевізника. Залізничні станції є одним з основних елементів в системі організації перевізного процесу, тому вирішення поставлених в роботі завдань потребує реалізації ефективних заходів, спрямованих на комплексне удосконалення їх роботи. Особливої уваги при цьому вимагають питання визначення раціональної технології роботи для більш якісного використання існуючого технічного оснащення. Залізнична транспортна система України в основному формувалася за часів Радянського Союзу і забезпечувала потреби його економіки. Після здобуття незалежності в Україні відбулися суттєві зміни в напрямку та обсягах вагонопотоків, і, як наслідок, в умовах роботи залізничних станцій. Пріоритетом розвитку залізничного транспорту, визначеним Транспортною стратегією України, є розвиток опорних сортувальних станцій, на яких буде концентруватись сортувальна робота. У цих умовах актуальним питанням для залізничного транспорту України є розрахунок переробної спроможності залізничних станцій.

Зв'язок теми з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до пріоритетних напрямків розвитку залізничної галузі, які визначені в Транспортній стратегії України до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010), а також пов'язана з НДР, що виконані Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: «Розробка вимог до інфраструктури залізничного транспорту та удосконалення методів її експлуатації в умовах розділення парку вантажних вагонів» (державний реєстраційний номер (№ ДР) 0114U002544), «Формування підходів щодо покращення використання вантажних вагонів та оперативного

управління просуванням вагонопотоків в міжнародних перевезеннях» (№ ДР 0115U002423), «Удосконалення методів оцінки та підвищення функціональної безпеки в експлуатаційній роботі на залізницях» (№ ДР 0112U003560), «Аналіз відповідності технічного оснащення залізничного транспорту ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» існуючим та перспективним обсягам роботи» (№ ДР 0111U009657), «Робочий проект «Будівництво сортувального парку та сортувальної гірки парку «Южний» станції «Хімічна» (№ ДР 0113U008346), «Розрахунок максимальної пропускної спроможності дільниці Чорноморська – Берегова (Хімічна)» (№ ДР 0115U004154), у яких автор є виконавцем та автором звітів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій за рахунок визначення раціональних техніко-технологічних параметрів. Поставлена мета досягається в результаті вирішення таких задач:

- аналіз сучасних методів розрахунку переробної спроможності сортувальних гірок та сортувальних станцій;
- дослідження технічного забезпечення сортувальних станцій України та характеристик вагонопотоків, що на них переробляються;
- удосконалення методу вибору режимів гальмування відцепів состава;
- дослідження впливу швидкості розпуску составів на умови прицільного та інтервального регулювання швидкості скочування відцепів;
- удосконалення методів вибору параметрів системи розформування-формування составів.

Об'єктом дослідження є процес розформування-формування составів поїздів на сортувальних станціях.

Предметом досліджень є взаємозв'язки параметрів вагонопотоку, що переробляється на гірці, та параметрів сортувальної гірки з показниками роботи сортувального комплексу.

Методи дослідження. Математична статистика та кореляційний аналіз використані для оцінки технічного стану сортувальних комплексів сортувальних станцій та дослідження характеристик вагонопотоків.

Імітаційне моделювання та числові методи розв'язання диференціальних рівнянь застосовувалися для моделювання процесів руху відчепів на сортувальних гірках, дослідження впливу швидкості розпуску составів на умови прицільного та інтервального регулювання швидкості скочування.

Теорія ймовірностей, теорія маневрової роботи, імітаційне моделювання, математична статистика, планування факторних експериментів, техніко-економічний аналіз – для удосконалення методів вибору режимів гальмування відчепів та вибору параметрів системи розформування-формування составів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

– вперше отримано залежності конфігурації області допустимих режимів гальмування відчепа від його швидкості на вершині гірки, що дозволяє спростити оцінку впливу швидкості розпуску состава на величину інтервалів на розділових елементах;

– запропоновано новий підхід до оцінки впливу швидкості розпуску на переробну спроможність гірки, який, на відміну від існуючих, враховує неточність інформації про характеристики відчепів та неточність реалізації режимів гальмування, що виникають під час розпуску, і за рахунок

цього дозволяє оцінити вплив технічного оснащення гірок на показники сортувального процесу;

- запропоновано новий метод оцінки переробної спроможності сортувальної гірки, який, на відміну від існуючих, ґрунтується на взаємозв'язку собівартості переробки вагонів та кількості перероблених вагонів і дозволяє підвищити ефективність оцінки організаційно-технічних та реконструкційних заходів зі збільшення переробної спроможності станцій;

- удосконалено метод оцінки ймовірності розділення відчепів на стрілках гіркової горловини шляхом визначення вказаних ймовірностей для сполучень з різною кількістю вагонів у відчепах, що розділюються, який дозволяє враховувати характеристики вагонопотоку під час виконання техніко-експлуатаційної оцінки переробної спроможності сортувальної гірки;

- удосконалено метод вибору режимів гальмування відчепів, який за рахунок урахування фактичної тривалості руху регульованого та суміжних відчепів до моменту входу регульованого відчепа в уповільнювач дозволяє зменшити ризики нерозділення відчепів на стрілках.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові результати, які отримані в дисертаційній роботі, а також розроблені методи можуть бути використані при складанні технологічних процесів роботи станцій, розробці рекомендацій гірковим операторам, черговим по сортувальних гірках та маневровим диспетчерам. Включення таблиць, що пов'язують обсяги переробки з потрібним технічним забезпеченням гірок, до технологічних процесів роботи залізничних станцій дозволить більш повно характеризувати їх сортувальні комплекси, оцінити ефективність їх роботи в різних умовах та необхідність вживання організаційно-технічних заходів зі збільшення переробної спроможності.

Результати роботи використовуються в навчальному процесі в ході підготовки спеціалістів та магістрів зі спеціальності 7(8).07010102 «Організація перевезень і управління на залізничному транспорті», під час виконання дипломних робіт та в курсі лекцій з дисциплін «Станції та вузли» та «Управління експлуатаційною роботою».

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, що наведені у додатку А.

Особистий внесок здобувача. Всі результати теоретичних та експериментальних досліджень, що наведені у роботі, отримані автором самостійно. Статті [27, 24] опубліковані без співавторів. В роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному: в роботі [21] автором визначено ризик нерозділення відчепів, у статті [51] автором отримано залежності переробної спроможності сортувальної гірки від швидкості розпуску; у статті [52] досліджені параметри вагонопотоків. У статті [66] автором визначені параметри вагонопотоків, що прямують основними вантажними напрямками залізниць України. У роботі [50] автором досліджувався метод вибору режиму інтервального регулювання швидкості скочування відчепів, у статті [65] – тривалість простою вагонів на сортувальній станції.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на 71-й, 72-й, 73-й та 74-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2011, 2012, 2013, 2014 рр.); на 2-й та 3-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств» (Кострина, 2013 р., та Дніпропетровськ, ДНУЗТ,

2014 р.), на наукових семінарах кафедри «Станції та вузли» ДНУЗТ 2011-2015 рр. У повному обсязі дисертація доповідалась і була схвалена в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна на міжкафедральному науковому семінарі (2015 р.).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 15 наукових праць, з них: 5 науково-технічних статей у фахових виданнях, що входять до переліку, затвердженому Департаментом атестації кадрів МОН України, 2 статті в іноземних виданнях та 7 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ОЦІНКИ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК

Конкурентоспроможність залізничного транспорту в значній мірі залежить від швидкої та якісної роботи залізничних станцій. За тривалість свого обороту вагони близько 55 % часу знаходяться на технічних станціях, основними з яких є сортувальні. Покращення роботи сортувальних станцій, дає можливість досягнути скорочення тривалості знаходження вагонів на них, що зменшить термін доставки вантажів, експлуатаційні витрати на перевезення, дозволить збільшити переробну спроможність елементів станції та покращить якість використання існуючого технічного оснащення.

1.1 Напрямки підвищення ефективності сортувального процесу

У сучасній науці існує декілька напрямів покращення якості та ефективності сортувального процесу. Основні з них спрямовані на підвищення безпеки при виконанні розформування-формування составів, зниження експлуатаційних витрат, пов'язаних з виконанням станційних процесів, підвищення інтенсивності обробки составів поїздів на станціях, широке впровадження автоматизації технологічних процесів і, як наслідок, зростає пропускна та переробна спроможності залізничних станцій та їх елементів. Оцінити ефект від впровадження удосконалень не завжди можливо.

Розвиток сортувальних станцій України відбувався в основному за часів Радянського Союзу. Економічна криза початку 90-х років призвела до різкого скорочення перевезень залізничним транспортом. Сучасні обсяги перевезень залізничним транспортом складають близько 40 % від

обсягів перевезень 1990 року, тому сортувальні станції Уззалізниці в цілому їх виконують. Однак для інфраструктури станцій характерним є скорочення кількості маневрових локомотивів, знос та старіння технічного оснащення, фізичне та моральне старіння систем управління [117]. Наслідком цього є відставання вітчизняних сортувальних станцій у порівнянні з сучасними іноземними сортувальними станціями.

Основними напрямками підвищення ефективності роботи сортувальних станцій згідно з [57, 89, 90] є такі:

- удосконалення конструкції плану та профілю сортувальних гірок;
- автоматизація управління гірковими процесами;
- перегляд норм обслуговування та оперативного персоналу в залежності від обсягів потоку, що перероблюється;
- впровадження ресурсозберігаючих технологій, орієнтованих на приведення технічного оснащення сортувальних станцій до відповідності обсягам робіт, що виконуються.

Значний внесок у вирішення проблем удосконалення роботи сортувальних станцій та сортувальних гірок зробили вчені Акулінічев В. М., Березовий М. І., Бессоненко С. А., Берестов І. В., Бобровський В. І., Божко М. П., Бутько Т. В., Грунтов П. С., Єфименко Ю. І., Журавель В. В., Жуковицький І. В., Козаченко Д. М., Колесник А. І., Кудряшов А. В., Ломотько Д. В., Муха Ю. О., Нагорний Є. В., Негрей В. Я., Образцов В. М., Огар О. М., Правдін М. В., Сотніков Є. А., Торопов Б. І., Шафіт Є. М., Шабалін М. М., Ющенко М. Р., Яновський П. О. та інші. У другій половині ХХ сторіччя вчені займалися питаннями інтенсифікації роботи сортувальних станцій за рахунок впровадження паралельного розпуску составів. К. А. Бернгард, Н. В. Правдин, І. І. Страковський, Л. Б. Тишков, Є. А. Сотніков, П. Р. Ботавин, В. Я. Болотний [35, 83, 97] розробили та за-

пропонували раціональні схеми гіркових сортувальних станцій з додатковими пристроями для паралельного розпуску.

У теперішній час актуальним є питання концентрації сортувальної роботи на меншій кількості сортувальних станцій. На думку авторів [96] необхідно розвивати опорні сортувальні станції, підвищувати переробну спроможність їх сортувальних гірок.

Професори Бобровський В. І., Жуковицький І. В., Шафіт Є. М., Муха Ю. О., Козаченко Д. М. важливими заходами підвищення інтенсивності роботи сортувальної станції вважають автоматизацію процесу розпуску составів та підготовки необхідної інформації, застосування перемінних швидкостей розпуску, скорочення інтервалів між розпусками суміжних составів, застосування ефективних режимів гальмування відчепів та застосування інформаційних систем управління сортувальним процесом, впровадження автоматизованих робочих місць (АРМ) оперативних працівників станції [18, 37 – 39, 55, 86, 113 – 115]. Запропоновані заходи мають спрощувати умови праці, зменшувати втручання в технологічні процеси, збільшуючи при цьому їх роль як координаторів та спостерігачів.

Основні системи автоматизації, що здобули широке розповсюдження, ГАЦ ЦНП, ГАЦ КР, АСК МР дозволяли контролювати процеси, що відбувалися з моменту насуву вагонів на горб гірки до постановки їх у сформований состав [88]. Удосконалені системи передавали інформацію до автоматизованої системи керування сортувальною станцією (АСК СС) [42]. Створення додаткової системи автоматичного завдання швидкості розпуску АЗШР ЦНП дозволяло використовувати змінну швидкість розпуску состава, прискорити розформування составів та збільшити переробну спроможність сортувальної гірки [42].

Системи автоматизованого регулювання швидкості скочування відчепів мали за мету скоротити втручання операторів гальмових позицій у

процес розформування составів. Проте недосконалість систем АРШ ГТСС [104] і АРШ ЦНП [108, 109] залишила операторам близько 50 % роботи [106].

Наступним кроком автоматизації сортувального процесу було створення системи автоматизованого керування розформуванням составів на гірці (АСК РСГ). Ця система обмінювалася інформацією з АСК СС, здійснювала регулювання швидкості насуву, маршруту та швидкості скочування відчепів [62, 87]. Система вирізнялася використанням двох підходів: оптимізаційного та оперативного управління процесом розпуску состава, що значно покращило якість керування [112]. АСК РСГ визначала оптимальні режими скочування відчепів та значення швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій [110]. У процесі експлуатації посилювалися вимоги до точності визначення ходового опору, оптимізації ухилу сортувальних колій, ділянок контролю заповнення колій [41, 105].

Гірковий мікропроцесорний комплекс (КГМ РПЗТ), створений для автоматизації процесів розформування составів за рахунок автоматичного керування маршрутами скочування та регулювання швидкості руху відчепів [1, 64], складався з плануючої та керівної підсистем. У першій виконувалася розробка програми розпуску; попередній розрахунок процесу управління маршрутами руху; оперативне коригування режимів і адаптація моделей у реальному часі тощо. У керівній підсистемі реалізовувався контроль правильності розчеплення; коригування програми розпуску; спостереження за відчепами та визначення їх маршрутів. КГМ РПЗТ є системою, яка виконує оперативне керування процесом скочування.

Автоматизоване управління процесом розформування має враховувати дію всіх факторів, бути достатньо простим у реалізації, швидкодіючим в оперативних умовах роботи та оптимальним у техніко-економічних питаннях. Розв'язання цих задач може бути досягнуто за рахунок підви-

щення якості регулювання [86, 94] швидкості розпуску составів; скорочення інтервалів між відчепами на спускній частині гірки; забезпечення дальності скочування та допустимої швидкості зіткнення на коліях сортувального парку. Критерієм ефективності управління запропонована середня швидкість розпуску або тривалість розпуску составів. Обмеженнями є середня довжина «вікна», ймовірність не перевищення допустимої величини швидкості зіткнення, ймовірність нерозділення вагонів. Використання таких критеріїв викликає ряд суперечностей, наприклад, для зменшення величини «вікна» слід застосовувати більшу швидкість скочування відчепів після виходу з паркової (ППП) гальмової позиції, це може привести до перевищення швидкості зіткнення з вагонами на коліях сортувального парку.

У [3] наведено опис основних систем автоматизованого розпуску составів, які застосовуються на станції Дебальцево-Сортувальна, їх переваги перед неавтоматизованою технологією розпуску. Для зменшення витрат на автоматизацію гіркових процесів автори пропонують не застосовувати вагоміри, а користуватися інформацією поїзних документів. Слід зазначити, що використання лише даних натурних листів, погіршує якість сортувального процесу, через неточність інформації, що в них міститься.

Вимоги до показників роботи засобів автоматизації гіркових операцій наведені в [73]: кількість відчепів, що прослідували за незапланованим маршрутом («запуск» відчепів), повинна бути не більша 5 %; швидкості співударяння відчепів не повинні перевищувати 5 км/год, як і встановлено [85]. У [94] встановлені норми швидкості розпуску, яка для одновагонних відчепів не повинна перевищувати 2,5 м/с, ступінь заповнення сортувальних колій у межах дії зони автоматизації – не менша 80 %, ймовірність забезпечення безпечної швидкості співударяння відчепів – не

менше 0,9; ймовірність «запуску» відчепів зменшена до 0,8 %. У [91] наведені проектні значення показників системи АСК РСГ, які встановлюють швидкість розпуску одновагонних відчепів не більше 2 м/с для гірок середньої та великої потужності, ймовірність нерозділення відчепів – не більше 0,005; швидкості співударяння відчепів – не більше 5 км/год, середня довжина «вікна» в зоні автоматичного контролю вільності колії не більше 3 м на один перероблений вагон; діапазон розрахункових швидкостей виходу відчепів з першої та другої гальмових позицій при автоматичному режимі 1,4 – 5,28 м/с; зона автоматичного контролю вільності колії – 400 м.

Аналіз існуючих систем автоматизації дозволяє зробити висновок про необхідність подальшого розвитку та удосконалення систем та алгоритмів прийняття рішень.

Іншим напрямком підвищення ефективності функціонування сортувальних станцій є удосконалення конструкції, плану та профілю сортувальної гірки [5, 6, 71, 79, 82]. Так в [33] автором запропонована методика комплексного розрахунку конструктивних параметрів сортувальних гірок, яка дозволить отримати оптимальну потрібну потужність вагонних уповільнювачів, що, своєю чергу, дозволить привести у відповідність енерговитрати та розміри переробки вагонів. Роботи [72, 77] присвячені питанням енергозбереження. У [77] доведено, що оптимальні конструктивно-технологічні параметри сортувальних гірок повинні отримуватися при мінімізації приведених річних витрат, варіантів конструкції та технічного оснащення при мінімально можливій висоті гірки.

Для оцінки якості роботи сортувальної станції та її елементів доцільно використовувати математичні моделі. Для таких складних системи, як сортувальна станція, існує багато параметрів, які визначають поведінку системи в цілому. Дослідження довели, що доцільно розробляти та вико-

ристовувати комплекс взаємозв'язаних моделей. Важливо знайти величину гранично допустимого завантаження кожного елементу станції та оптимальну величину резерву пропускної та переробної спроможності цих елементів, при якій робота станції буде стабільною, задовольняючи вимогам експлуатаційної надійності. Зі всіх технологічних ліній сортування вагонопотоків є домінуючою, найбільш потужною лінією [58].

Прогнозування ймовірнісних станів систем сортувальних станцій при зміні інтенсивності вхідного потоку та інтенсивності їх обслуговування наведено в [59]. За допомогою теорії марковських процесів аналізуються ланки переходів, складаються матриці переходів, досліджуються питання прогнозування умов роботи станції. Використання СМО [34] дозволило дослідити роботу системи сортувальної станції, щоб виявити режим роботи, який забезпечить безперервність, ритмічність, паралельність та поточність усіх операцій.

1.2 Проблеми оцінки переробної спроможності сортувальних гірок та сортувальних комплексів

Основний показник, який дозволяє оцінити якість використання технічного оснащення станції та технології її роботи, є переробна спроможність. Методи визначення цього показника змінювалися з плином часу. У переважній частині наукових праць переробна спроможність сортувальних гірок оцінюється як співвідношення добового бюджету часу до кількості вагонів, що переробляється за одиницю часу.

Так в роботі академіка В. М. Образцова [75] переробна спроможність сортувальної гірки розраховується для умов, коли маневровий локомотив безперервно працює на гірці та підміняється на період екіпірування за формулою

$$N = \frac{1440}{T_c} m, \quad (1.1)$$

де m – кількість вагонів у составі;

T_c – тривалість розформування одного состава на гірці, хв.

Величину T_c у загальному вигляді запропоновано визначати за формулою

$$T_c = t_c m + t_{\text{и}}, \quad (1.2)$$

де t_c – тривалість розпуску, що припадає на один вагон;

$t_{\text{и}}$ – величина інтервалу між розпусками.

Тривалість розпуску та інтервалу між розпусками визначались у залежності від взаємного розташування парку приймання і сортувального та кількості маневрових локомотивів за елементами сортувального процесу: витягування, насув, розпуск, осаджування, заїзд. Тривалість останніх визначалася за середньою швидкістю їх виконання.

У подальшому методика визначення переробної спроможності гірки ускладнювалась. Так у [60] переробну спроможність гірки пропонується визначати за виразом

$$N = \frac{1440 - \sum T_{\text{пост}}^{\Gamma}}{t_{\text{и}}^{\Gamma}}, \quad (1.3)$$

де $\sum T_{\text{пост}}^{\Gamma}$ – тривалість технологічних перерв у роботі гірки, пов'язаних з поточним утриманням її механізмів, екіпіровкою локомотивів та зміною локомотивних бригад;

$t_{\text{и}}^{\Gamma}$ – величина гіркового інтервалу.

Величина гіркового інтервалу в [81, 99] визначається за графіком роботи гірки. При цьому його елементи розраховуються аналітично зале-

жно від середньої швидкості виконання операцій. Зокрема для визначення допустимої швидкості розпуску пропонується використовувати формулу, запропоновану к.т.н. Шабаліним М.М.

$$v_{\text{рос}} = \frac{3,2l_{\text{від}}}{14,3 + l_{\text{від}}},$$

де $l_{\text{від}}$ – довжина відчепа.

У [4] при визначенні переробної спроможності сортувальних гірок запропоновано враховувати ворожість маршрутів, що виникає через поїзні та маневрові пересування гірковою горловиною. Для цього до формули (1.3) додано коефіцієнт ворожості $\alpha_{\text{вр}}$

$$N = \frac{\alpha_{\text{вр}} (1440 - \sum T_{\text{пост}}^{\Gamma})}{t_{\text{и}}^{\Gamma}} m. \quad (1.4)$$

Професором Тіхоміровим [103] запропоновано визначати переробну спроможність сортувальної гірки за виразом

$$N = \frac{1440 - \sum T_{\text{ф}}^{\Gamma} - \sum T_{\text{пост}}^{\Gamma}}{t_{\text{и}}^{\Gamma}} m + N_{\text{форм}}, \quad (1.5)$$

де $\sum T_{\text{ф}}^{\Gamma}$ – витрати часу на закінчення формування составів через гірку;

$N_{\text{форм}}$ – кількість вагонів, що переробляється через гірку під час закінчення формування составів.

З виходом рекомендацій з нормування маневрової роботи [61, 102] для визначення тривалості гіркових операцій почали використовуватись не середні швидкості руху, а усереднені значення, що отримані в результаті статистичних спостережень за роботою залізничних станцій. Зокрема, швидкість розпуску при цьому має встановлюється залежно від того

механізована, чи немеханізована гірка та залежно від середньої довжини відчепа за наведеними у [29] нормативами.

Під час сортування вагонів через вплив факторів таких, як відсутність вільного місця на сортувальних коліях під час розпуску, нерозділення відчепів на стрілках і т.ін. частина вагонів надходить на колії не за призначенням. Окрім того, час від часу пристрої сортувальної гірки виходять з ладу. У зв'язку з цим у [35] переробну спроможність сортувальних гірок пропонується визначати за виразом

$$N = \frac{1440\alpha_{\text{гip}} - \sum T_{\text{пост}}^{\Gamma}}{t_{\Gamma}\mu_{\text{повт}}(1 + \rho_{\Gamma})} m_{\text{с}} + N_{\text{пост}}^{\Gamma}, \quad (1.6)$$

де $\sum T_{\text{пост}}^{\Gamma}$ – тривалість протягом доби виконання на гірці технологічних операцій, які не залежать від вагонопотоку, що переробляється на гірці;

$\mu_{\text{повт}}$ – коефіцієнт, який враховує повторне сортування вагонів у процесі завершення формування та через недостатню кількість і довжину сортувальних колій;

ρ_{Γ} – коефіцієнт, який враховує відмови технічних засобів, нерозділення вагонів та ін.;

$N_{\text{пост}}^{\Gamma}$ – кількість місцевих вагонів з колій ремонту, кутових, вагонного депо та ін., які розпускають за час $\sum T_{\text{пост}}^{\Gamma}$.

Нормативним документом, який визначає порядок розрахунку переробної спроможності сортувальних гірок є [43]. Згідно з викладеною у ньому методикою переробна спроможність сортувальної гірки визначається за формулою

$$N = \mu_{\text{пвт}} \sum_{i=1}^m n_{\text{p},i} b_{\text{p},i} + N_{\text{пост}}^{\text{гip}}, \quad (1.7)$$

де $n_{p,i}$, $b_{p,i}$ – відповідно, переробна спроможність гірки для поїздів з i -го підходу та середня кількість вагонів у них;

m – кількість підходів, з яких поїзди надходять у розформування;

$\mu_{\text{пвт}}$ – коефіцієнт, що враховує повторне сортування частини вагонів у процесі закінчення формування з гірки i через недостатню кількість та довжину сортувальних колій;

$N_{\text{пост}}^{\text{гip}}$ – кількість місцевих вагонів з колій ремонту, кутових, вагонного депо та ін., які розпускаються за час $\sum T_{\text{пост}}^{\text{гip}}$,

$\sum T_{\text{пост}}^{\text{гip}}$ – час займання гірки протягом доби виконанням постійних операцій, кількість яких не змінюється пропорційно зі збільшенням обсягу переробки, або кількість яких задається на розрахунковий період.

Переробна спроможність гірки для поїздів з i -го підходу визначається як

$$n_{p,i} = \frac{n'_{p,i}}{K}, \quad (1.8)$$

де $n'_{p,i}$ – кількість поїздів, що надходить у розформування з i -го підходу;

K – коефіцієнт використання переробної спроможності гірки. Визначається за формулою

$$K = \frac{\mu_{\text{пвт}} T}{1440 \alpha_{\text{гip}} - \sum T_{\text{пост}}^{\text{гip}}}, \quad (1.9)$$

де T – загальний час заняття гірки операціями, що визначаються розмірами руху;

$\alpha_{\text{гip}}$ – коефіцієнт, що враховує можливі перерви при використанні гірки через ворожі пересування;

Загальний час заняття гірки операціями, що визначаються розмірами руху, розраховується

$$T = \left(t_{\text{гip}} \sum_{i=1}^m n'_{\text{p},i} + T_{\text{зал}}^{\text{гip}} \right) (1 + \rho_{\text{r}}), \quad (1.10)$$

де $t_{\text{гip}}$ – середня тривалість займання гірки, що припадає на один состав, який розформовується, з урахуванням закінчення формування та інших операцій, тобто гірковий технологічний інтервал;

$T_{\text{зал}}^{\text{гip}}$ – додатковий час зайняття передгіркової горловини поїзними та маневровими пересування, який залежить від обсягу переробки;

ρ_{r} – коефіцієнт, що враховує відмови технічних пристроїв, нерозчеплення вагонів тощо.

В результаті підстановки виразів (1.8), (1.9) та (1.10) у вираз (1.7) отримуємо

$$N = \frac{1440 \alpha_{\text{гip}} - T_{\text{пост}}^{\text{гip}}}{t_{\text{гip}} \alpha_{\text{зал}} (1 + \rho_{\text{r}})} m_{\text{c}} + N_{\text{пост}}^{\text{гip}}, \quad (1.11)$$

де m_{c} – середня кількість вагонів в составі

$$m_{\text{c}} = \frac{\sum_{i=1}^m n'_{\text{p},i} b_{\text{p},i}}{\sum_{i=1}^m n'_{\text{p},i}},$$

$\alpha_{\text{зал}}$ – коефіцієнт, що враховує додаткові витрати часу, пов'язані із заняттям передгіркової горловини поїзними та маневровими пересуваннями, які залежать від обсягу переробки

$$\alpha_{\text{зал}} = \frac{t_{\text{гip}} \sum_{i=1}^m n'_{\text{p},i} + T_{\text{зал}}^{\text{гip}}}{t_{\text{гip}} \sum_{i=1}^m n'_{\text{p},i}}$$

Аналіз виразу (1.11) показує, що він фактично передбачає визначення переробної спроможності за пропорцією залежно від обсягу існуючої переробки гірки, витрат часу на його переробку та максимально можливої тривалості роботи гірки. В цілому методика, викладена в [43] має значні недоліки, так як після математичних перетворень та спрощень у ній не враховується повторне сортування вагонів, а заняття гірки ворожими маршрутами враховується як коефіцієнтом $\alpha_{\text{гip}}$, так і додатковими витратами часу $T_{\text{зал}}^{\text{гip}}$.

Структура виразу (1.11) відповідає формулі для розрахунку переробної спроможності (1.6). Дослід процесів, що відбуваються на сортувальних гірках показує, що доцільним є врахування як коефіцієнту $\alpha_{\text{зал}}$ так і $\mu_{\text{пвт}}$.

Виконаний аналіз діючої методики визначення переробної спроможності сортувальних гірок та станцій показав ряд недоліків.

По-перше, показник «переробна спроможність сортувальної гірки» враховує значну кількість факторів, що не є характеристиками сортувальної гірки як пристрою. В той же час діюча методика враховує:

- тривалість заїзду і насуву, та додаткових операцій, що виконує гірковий локомотив;
- характеристики поїздопотоків;
- кількість гіркових локомотивів;
- обсяг роботи, пов'язаний із закінченням формування, яка виконується на гірці;
- тривалість заняття гіркової горловини додатковими поїзними та

маневровими пересуваннями.

Проте зміна тривалості операції зняття закріплення, простоїв гіркових локомотивів через ворожість пересувань у вхідній горловині парку прибуття, тривалість екіпірування гіркових локомотивів, яка впливає на переробну спроможність сортувальної гірки, тривалість заняття гіркового локомотиву операціями подачі – прибирання вагонів на вантажні fronti – ні.

По-друге, діюча методика не встановлює зв'язку між такими характеристиками процесу розформування як швидкість розпуску, частота осаджування та додаткові витрати часу на ліквідацію наслідків відправлення вагонів на колії, що не відповідають їх призначенню. При цьому відсутня можливість встановлення зв'язку між технічним оснащенням сортувальної гірки та її переробною спроможністю.

Окремо необхідно відмітити проблему виконання на сортувальній гірці операцій із закінчення формування. Тривалість виконання цих операцій на гірці є меншою, ніж на витяжних коліях. Тому, при наявності резервів переробної спроможності, гірка використовується для їх виконання. Урахування цих технологічних операцій на гірці в (1.5) здійснюється шляхом віднімання від загального бюджету часу величини $\sum T_{\phi}^{\Gamma}$ та подальшого урахування $N_{\text{форм}}$. У виразі (1.7) додаткова робота з закінчення формування враховується коефіцієнтом $\mu_{\text{пвт}}$, при цьому кількість вагонів, що повторно переробляються через гірку в процесі закінчення формування, на відміну від (1.6), при визначенні переробної спроможності не враховується.

Згідно з [43] переробну спроможність станції пропонується визначати як найбільшу кількість поїздів або вагонів, які станція може розформувати та сформувати протягом доби в поїзди встановленої маси та дов-

жини за призначенням плану формування в разі повного і комплексного використання колійного розвитку та технічного забезпечення при використанні передової технології та найбільш продуктивних методів організації праці.

У [4] вказується, що до 50-х років 20-го сторіччя переробна спроможність сортувальних станцій визначалась окремо з розформування-формування составів на сортувальних гірках та формуванню вагонів на витяжних коліях. У [81] вказується на необхідність узгодження процесів розформування-формування та виконання оптимального розподілу сортувальної роботи між основними та допоміжними сортувальними пристроями.

Розвиток методів оптимізації розподілу виконано у [98]. В даній роботі оптимальний розподіл роботи між гіркою і витяжками формування встановлюється за показником мінімуму експлуатаційних витрат на розформування-формування та закінчення формування, а також простоїв в очікуванні технологічних операцій.

Виконаний аналіз показав, що методика визначення переробної спроможності залізничних станцій та їх елементів вимагає удосконалення.

1.3 Методи моделювання процесу розформування составів на гірках

Одним із ефективних методів встановлення взаємозв'язків між технічним забезпеченням сортувального процесу і його технологією та показниками роботи станції є моделювання розформування-формування поїздів.

Найбільш широке використання для моделювання роботи станцій отримав метод імітаційного моделювання, який застосовували в управлінні роботою станцій [120], в разі оцінки систем розформування [118],

моделювання роботи станції з вагонами, що потребують дотримання особливих умов при розформуванні [2], в питаннях черговості розвитку станції та її переробної спроможності [98]

Важливим кроком має стати створення динамічної моделі сортувальної станції [32], але авторами не пропонується критерії, за якими можливо оцінити користь описаного розвитку.

Окрема увага була приділена технології роботи з вагонами, що заборонені до розпуску, а потребують осаджування з сортувальної гірки з маневровим локомотивом [40].

У Польщі була розроблена імітаційна модель роботи сортувальної станції, яка достатньо точно відображає технологію роботи односторонньої сортувальної станції з переробки транзитного вагонопотоку [119]. У моделі передбачені всі операції, пов'язані з обробкою состава по прибуттю на станцію та підготовкою до розпуску з сортувальної гірки, а також операції з формування та відправлення поїздів, змодельована робота персоналу станції. Модель дозволяє отримувати інформацію про положення станції в будь-який момент часу та коректувати вихідну інформацію. Особливості цієї моделі дозволяють використовувати її для прийняття проектних рішень та розв'язання поточних експлуатаційних задач. В експлуатаційній діяльності з її допомогою можна порівняти можливі варіанти зміни технології роботи станції, оцінити необхідні заходи з покращення колійного розвитку, ліквідації вузьких місць на станції та підвищення її переробної спроможності. Ця модель при її деякій модифікації може бути використана для оперативних цілей; пошуку оптимального рішення в складних ситуаціях, складання оперативних планів. План роботи станції на 6-годинний термін може бути розроблено протягом 10 – 15 хвилин.

Для розробки оптимальної технології роботи у [121, 122] наведені математичні моделі сортувальних станцій, у [107] з використання пере-

творень Лапласа та теорії виробничих функцій отримано аналітичний опис деяких характеристик процесу накопичення составів.

Важливим є моделювання не лише роботи в цілому сортувальної станції, а і її окремих технологічних ліній, таких як розформування составів на сортувальних гірках. Дослідження різних систем керування [13, 36, 37, 110, 116] показали, що остаточно задача вибору алгоритму не вирішена. В [123] було отримано програмне забезпечення, яке дозволяє оцінити необхідність збільшення технічних засобів сортувальних станцій.

Загальну аналітичну модель процесу скочування відчепів було отримано у роботі [111], але вперше система виразів $\Delta s = f(v)$, які є рішенням диференційного рівняння руху відчепа була отримана акад. В. М. Образцовим [74].

Проф. Муха Ю. О. багато робіт присвятив питанням моделювання руху составу, який насувають на гірку, та одночасно моделюванню руху відчепів спускною частиною гірки [68 – 70]. Швидкість v і тривалість скочування t кожного відчепа в процесі моделювання розглядаються як функції шляху.

У основу робіт [10, 15] проф. Бобровського В. І. було покладено часовий принцип моделювання, при якому швидкість відчепа та пройдений шлях розглядаються як функція тривалості його руху, тобто $v = f(t)$ та $S = f(t)$. Подальший розвиток методів моделювання наведений у роботі [20]

У [92] надана методика моделювання прицільного гальмування на ПТП, в подальшому це використано в роботі [93] для формалізованого опису процесу розпуску составів. На підставі виконаних досліджень було запропоновано імітаційну модель сортувального процесу [100, 101], в якій імітується робота всіх пристроїв та елементів процесу з урахуванням сто-

частичних характеристик відчепів та погрішностей вимірювання їх параметрів.

Не менш важливим при розробці моделей є детальний достовірний опис плану та поздовжнього профілю сортувальних пристроїв [76], а також метеорологічних умов скочування [78].

Питанням побудови та удосконалення імітаційної моделі розформування составів з урахуванням невизначеності інформації про ходові характеристики відчепів та випадкові характеристики навколишнього середовища присвячені роботи [22, 44, 47]. Дослідження проводилися при скочуванні розрахункової групи відчепів. Застосування отриманих результатів при оптимізації режимів гальмування відчепів состава, що складається з великої кількості відчепів не дозволить отримати оптимальних режимів. Модель розформування составів отримала подальший розвиток і була доповнена моделюванням роботи гіркових локомотивів [23].

При вирішенні задачі вибору режимів гальмування відчепів составу як елементарної розрахункової групи зазвичай розглядається група з трьох відчепів з керованим середнім [7, 14]. Величини інтервалів між відчепами на розділових елементах залежать від часу звільнення і заняття розділових елементів першим і третім відчепами розрахункової групи, а також від режимів гальмування, що визначають швидкості виходу керованого відчепа з першої (ВГП) і другий (СГП) гальмових позицій:

$$\begin{aligned}\delta t_1(v'_2, v''_2) &= t_{h,1} + t_2(s_1, v'_2, v''_2) - \tau_1(s_1), \\ \delta t_2 &= t_{h,2} + t_3(s_2) - \tau_2(s_2, v'_2, v''_2),\end{aligned}\tag{1.12}$$

де $t_{h,1}, t_{h,2}$ – початкові інтервали на вершині гірки, відповідно в першій та другій парах елементарної групи;

$t_2(s_1, v'_2, v''_2)$ – тривалість скочування керованого відчепа від моменту

відриву до моменту зайняття ізольованої ділянки (ІД) стрілки розділення s_1 в першій парі при заданій швидкості його виходу з ВГП v'_2 та СГП v''_2 ;

$\tau_2(s_2, v'_2, v''_2)$ – те саме, до моменту звільнення ІД стрілки розділення s_2 в другій парі.

$\tau_1(s_1), t_3(s_2)$ – відповідно тривалість скочування першого відчепу до зайняття ІД стрілки розділення s_1 та третього відчепу до звільнення ІД стрілки розділення s_2 .

Чисельні значення величин тривалості та швидкості скочування відчепів для вирішення завдання вибору режимів їх гальмування приймаються на підставі результатів математичного моделювання скочування. Методики моделювання наведені зокрема в [14]. Там же надано вирішення завдання оптимізації режиму гальмування середнього (керованого відчепу) у розрахунковій групі з трьох відчепів.

Реальні состави можна розглядати як множину з $n-2$ елементарних розрахункових груп (тут n - кількість відчепів у составі). У составах присутні розрахункові групи як із сприятливим, так і з несприятливим поєднанням відчепів. Зокрема, сприятливими є поєднання, в яких присутні багатовагонні відчепа. У таких групах, за рахунок вибору раціонального режиму гальмування відчепів, можуть бути створені значні резерви часу на розділових елементах. Несприятливими є випадки поділу одновагонних відчепів на четвертій – п'ятій стрілках за маршрутом скочування, особливо за наявності відчепів легкої вагової категорії [21].

Інтервали між відчепами, які скочуються послідовно, пов'язані між собою. Зміна режиму гальмування керованого відчепу в розрахунковій групі призводить до зміни умов скочування третього відчепу в попередній розрахунковій групі і першого відчепу в наступній. Через це вибір не-

раціональних режимів гальмування відчепів може призводити до погіршення умов розділення відчепів не тільки в суміжних групах, але і в наступних групах зі значним запізненням. У [14] запропоновано ітераційний метод, що дозволяє до початку розпуску на підставі комплексного аналізу характеристик відчепів складу і багаторазового вирішення задачі пошуку оптимальних режимів гальмування в елементарних розрахункових групах, перерозподілити резерви часу на розділових елементах і максимізувати мінімальний інтервал між відчепами. У якості критерію оптимальності в даній роботі використовується критерій Вейбула

$$\min\{\delta t_i\} \rightarrow \max, \quad i=1...n-1, \quad (1.13)$$

де n – кількість відчепів в складі.

Необхідно відзначити, що обґрунтування вибору режимів гальмування у [14] виконано для умов, коли ходові характеристики відчепів відомі до початку скочування, а гальмівні позиції точно реалізують задані режими гальмування. Однак, досвід практичної експлуатації сортувальних гірок показує, що їх функціонування відбувається в умовах дії значного числа випадкових факторів [7, 47].

Результати досліджень вибору режимів гальмування в стохастичних умовах наведені в [45, 48, 49]. При цьому оцінка умов інтервального регулювання швидкості скочування виконується за допомогою ризику нерозділення, що характеризує можливу кількість вагонів, які в результаті розпуску проїдуть шляхом з порушенням плану розпуску. Ризик нерозділення відчепів може бути оцінений за допомогою виразу

$$r_n = \sum_{i=1}^{n-1} \Phi \left(\frac{t_{0i}(v_0) - t_{pe} - M[\tau_i^*] + M[t_{i+1}^*]}{\sqrt{D[\tau_i^*] + D[t_{i+1}^*]}} \right) \quad (1.14)$$

де $t_{0i}(v_0)$ – величина початкового інтервалу на вершині гірки в залежності від швидкості розпуску;

t_{pe} – мінімальний допустимий інтервал на розділовому елементі;

$M[\tau_i^*], M[t_i^*]$ – відповідно, математичні сподівання випадкової величини часу скочування відчепа від моменту відриву до моментів заняття та звільнення розділових елементів при нормативній швидкості розпуску та відповідному їй оптимальному режимі гальмування;

$D[\tau_i^*], D[t_i^*]$ – відповідно, дисперсія випадкової величини часу скочування відчепа від моменту відриву до моментів заняття та звільнення розділових елементів при нормативній швидкості розпуску та відповідному їй оптимальному режимі гальмування.

Зміна критерію оптимізації з (1.13) на (1.14) дозволяє поліпшити показники інтервального регулювання швидкості скочування відчепів за умов дії випадкових факторів. Однак завдання надійного поділу відчепів в групах з несприятливим їх поєднанням вимагає подальшого дослідження.

Недоліком наведеного в [49] методу є те, що прийняття рішення щодо вибору режиму гальмування виконується до початку скочування. Проте, виконані в [47] дослідження показали, що одним з основних факторів, який впливає на середнє квадратичне відхилення тривалості скочування, є відстань пробігу відчепа. Необхідно відзначити, що рішення про вибір режиму гальмування може формуватися безпосередньо перед моментом входу відчепів в уповільнювачі або навіть у процесі його руху гальмівною позицією. Саме таким чином діє гірковий оператор, вирішуючи у процесі розпуску локальні завдання розділення суміжних відчепів. Однак, при такому підході комплексна оцінка впливу обраного режиму гальмування на умови розділення не виконується, що призводить до неви-

правданих ризиків нерозділення керованого відчепа з попереднім, або до зростання ризиків нерозділення при розформуванні частини составу, що залишилася.

Використання інформації про час заняття та звільнення окремих ділянок за маршрутами руху потенційно дозволяє зменшити невизначеність умов скочування відчепів і, за рахунок цього, поліпшити показники інтегрального регулювання швидкості їх скочування.

Питання розділення відчепів на стрілочних переводах сортувальної гірки розв'язувалося в роботі [8]. У подальшому було виявлено існування розділень несуміжних відчепів [9], яке суттєво впливає на вибір режимів гальмування при скочуванні і потребує детального вивчення.

1.4 Постановка задач дослідження. Структура, послідовність та методи їх проведення.

Виконаний аналіз показав, що в сучасних умовах задача ефективності роботи сортувальних гірок остаточно не вирішена. У теперішній час оцінка переробної спроможності сортувальних гірок ґрунтується на усереднених нормативах, що не дозволяє оцінити відповідність їх технічного забезпечення та технології переробки вагонопотоку існуючим обсягам роботи та її характеру.

У зв'язку з цим метою роботи є підвищення ефективності переробки вагонопотоків на станціях за рахунок удосконалення методів оцінки ефективності сортувального процесу.

При цьому предметом дослідження обрано процес переробки вагонопотоків на сортувальних станціях та взаємозв'язки параметрів вагонопотоку, що переробляється на гірці, та параметрів сортувальної гірки з показниками роботи сортувального комплексу. Об'єктом дослідження є

процес розформування-формування составів поїздів на сортувальних станціях

Основним технічним засобом сортувальних станцій для переробки вагонопотоків є сортувальна гірка. Сортувальна гірка – це система, в якій тісно взаємодіє велика кількість факторів, пов'язаних між собою прямим та зворотнім зв'язком. Елементами сортувальної гірки є колійний розвиток, гальмові уповільнювачі, система управління; також в якості елементів сортувальної гірки розглядались маневрові локомотиви та вагони, що на ній переробляються. Стан сортувальної гірки як системи можна охарактеризувати положенням основних технічних елементів (колійний розвиток, локомотиви, уповільнювачі) та розташуванням вагонів на них. Сортувальна гірка є підсистемою сортувального комплексу і тісно взаємодіє з парком прибуття, сортувальним парком та витяжками формування.

Вхідним потоком для системи вважається вагонопотік, що підлягає переробці на гірці, та умови роботи сортувальної гірки. Вхідний потік надходить з парку прибуття та з сортувального парку (повторна переробка). Вихідним утворює вагонопотік, що надходить на сортувальні колії. Поведінка системи обумовлюється станом технічного оснащення сортувальної гірки, характеристикою та станом вагонів, що розпускаються, а також якістю роботи персоналу, що бере участь у процесі розпуску (ДСПГ, оператори гальмових позицій, складачі поїздів). Тобто, можна зробити висновок, що сортувальна гірка є ергатичною системою, за природою елементів система є реальною, штучною за походженням, динамічною за зміною властивостей, відкритою у зв'язку з зовнішнім середовищем та складною.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій за рахунок визначення раціо-

нальних техніко-технологічних параметрів. Поставлена мета досягається в результаті вирішення таких задач:

- аналіз сучасних методів розрахунку переробної спроможності сортувальних гірок та сортувальних станцій;
- дослідження технічного забезпечення сортувальних станцій України та характеристик вагонопотоків, що на них переробляються;
- удосконалення методу вибору режимів гальмування відчепів состава;
- дослідження впливу швидкості розпуску составів на умови прицільного та інтервального регулювання швидкості скочування відчепів;
- удосконалення методів вибору параметрів системи розформування-формування составів.

Досягти поставленої мети можна з використанням таких методів дослідження:

- математична статистика та кореляційний аналіз використані для оцінки технічного стану сортувальних комплексів сортувальних станцій та дослідження характеристик вагонопотоків;
- імітаційне моделювання та числові методи розв'язання диференціальних рівнянь застосовувалися для моделювання процесів руху відчепів на сортувальних гірках, дослідження впливу швидкості розпуску составів на умови прицільного та інтервального регулювання швидкості скочування;
- теорія ймовірностей, теорія маневрової роботи, імітаційне моделювання, математична статистика, планування факторних експериментів, техніко-економічний аналіз – для удосконалення методів вибору режимів гальмування відчепів та вибору параметрів системи розформування-формування составів.

1.5 Висновки за розділом 1

При виборі математичного апарату моделювання задач транспорту приймається до уваги його адаптивність, ефективність та зручність користування. Кількість станів у моделях визначається технологічним процесом роботи станції або технологією роботи окремого її елемента.

Існуючі системи автоматизації потребують подальшого удосконалення технічних засобів та алгоритмів прийняття рішень, якими керуються ці системи.

Одним з критеріїв, що дозволяє оцінити якість роботи сортувальної гірки є переробна спроможність. У теперішній час оцінка переробної спроможності сортувальних гірок ґрунтується на усереднених нормативах, які не дозволяють оцінити відповідність їх технічного забезпечення та технології переробки вагонопотоку існуючим обсягам роботи та її характеру.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК

2.1 Аналіз технічного забезпечення сортувального процесу

Основна частина роботи з розформування та формування составів вантажних поїздів на залізницях України виконується на сортувальних станціях. На сьогодні на магістральній мережі Укрзалізниці функціонують 35 сортувальних станцій, з яких 31 за обсягами роботи віднесена до позакласних [65]. Основними елементами сортувальних станцій є сортувальні гірки.

Всього на станціях Укрзалізниці нараховується 49 сортувальних гірок.

Розподіл сортувальних гірок за потужністю в відсотковому співвідношенні наведено на рис. 2.1.

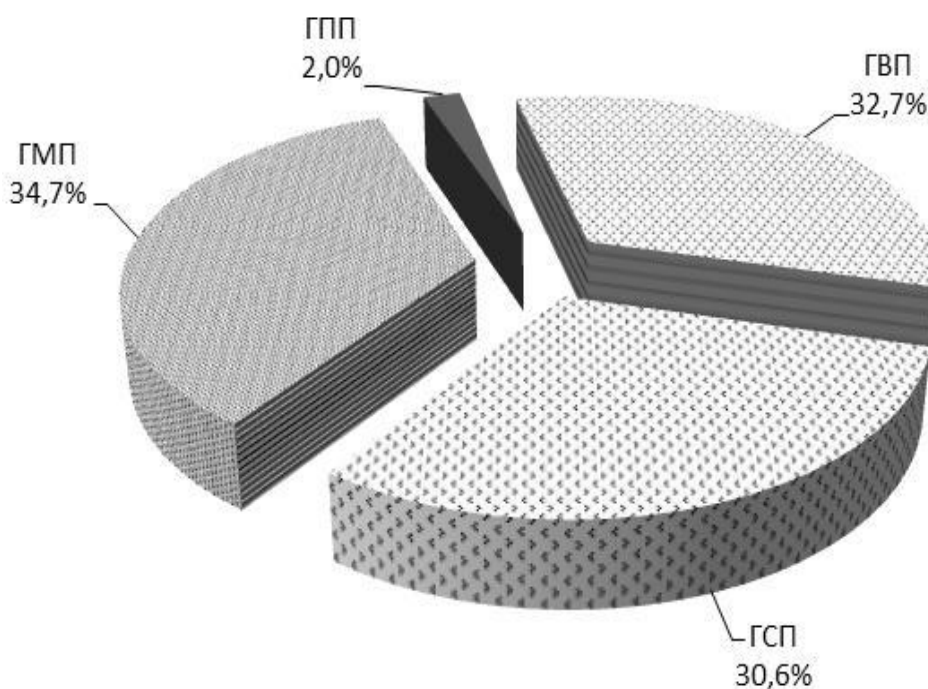


Рисунок 2.1 – Розподіл сортувальних гірок Укрзалізниці за потужністю

Згідно з ТРА станцій за потужністю гірки розподілені наступним чином:

- гірки підвищеної потужності (ГПП) – 1;
- гірки великої потужності (ГВП) – 16;
- гірки середньої потужності (ГСП) – 15;
- гірки малої потужності (ГММ) – 17.

Характеристика технічного забезпечення сортувального процесу основних технічних станцій Придніпровської залізниці наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика сортувальних комплексів основних технічних станцій Придніпровської залізниці (дані 2012 р.)

Станція	Кількість колій насуву	Кількість гіркових локомотивів	Тип сортувального пристрою	Коефіцієнт завантаження	Кількість колій у сортувальному парку	Додаткові сортувальні пристрої	Кількість локомотивів в хвості сортувального парку
НД-Вузол, непарна система	1	1	ГСП	0,42	32	-	1
НД-Вузол, парна система	1	1	ГСП	0,59	16	-	1
Кривий Ріг-Сортувальний	1	2	ГСП	0,71/0,79	26	Витяжна колія в хвості	1
Запоріжжя-Ліве	1	1	ГВП	0,73/0,71	24	Витяжна колія в хвості	2
Джанкой	1	1	ГСП	0,95/0,44	18	Додаткова ГМП	1
Верхівцеве	1	1	ГСП	0,32	18	12 тупикових колій	1 або 2 від обсягів

Примітка: в чисельнику наведені коефіцієнти завантаження основного сортувального пристрою, в знаменнику – додаткового.

На Придніпровській залізниці працює 4 сортувальні станції (по одній на кожній дирекції), Нижньодніпровськ-Вузол (НД-Вузол), Кривий Ріг-Сортувальний (КР-Сортувальний), Джанкой та Запоріжжя-Ліве. Також за обсягом роботи, що виконується, можна додати станцію Верхівцеве Дніпропетровської дирекції, яка на даний момент є дільничною, але достатньо довго відносилася до сортувальних станцій.

2.2 Аналіз поїздо- та вагонопотоків, що надходять у розформування

Аналіз характеристик вагонопотоків основних технічних станцій Придніпровської залізниці показав, що вони суттєво залежать від місцевих умов.

Так сортувальні станції однієї залізниці суттєво відрізняються за потужністю призначень плану формування поїздів [66, 67]. Для прикладу на рис. 2.2 наведена потужність вагонопотоків декількох станцій Придніпровської залізниці.

Найбільший вагонопотік переробляється на дільничній ст. Верхівцеве, яка формує поїзди на менші за обсягами роботи дільничні станції, що обслуговують велику кількість промислових підприємств та виконують сортування вагонів відповідно плану навантаження-вивантаження.

Вагонопотоки, що переробляються на сортувальних станціях, суттєво відрізняються за кількістю призначень плану формування (ПФП) (рис. 2.3) та за потужностями призначень [28].

Найбільша кількість призначень плану формування на станції НД-Вузол, оскільки ця станція є двосторонньою сортувальною станцією, що обладнана двома сортувальними гірками.

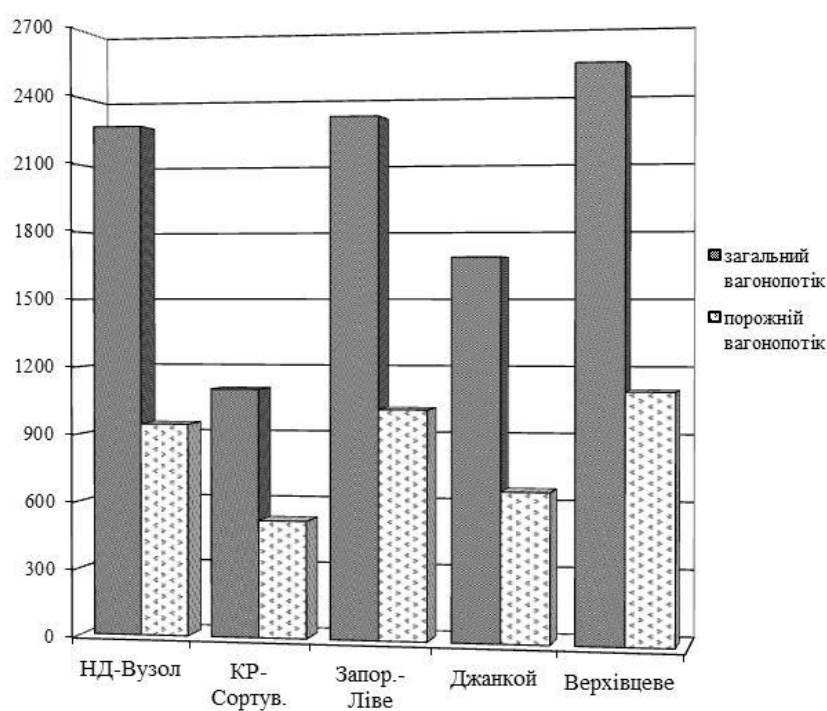


Рисунок 2.2 – Потужність вагонопотоків на станціях
Придніпровської залізниці

Найменша кількість призначень – на станції Верхівцеве, оскільки ця станція є дільничною.

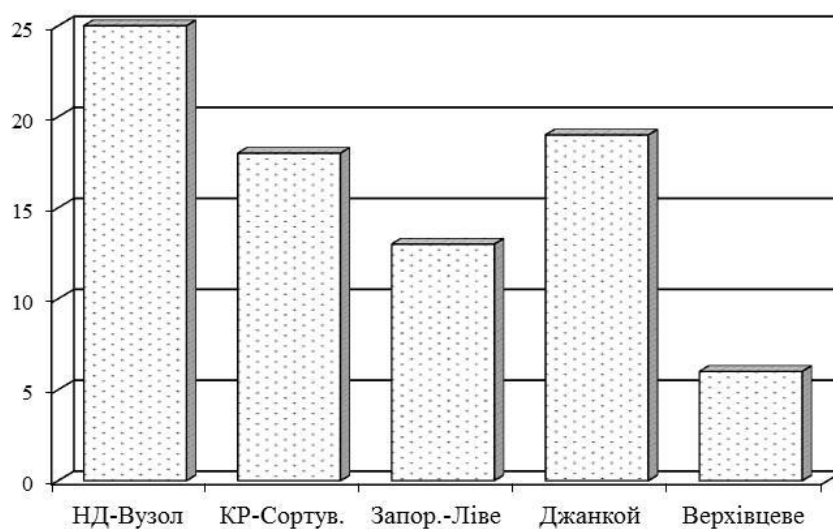


Рисунок 2.3 – Кількість призначень плану формування поїздів на станціях
Придніпровської залізниці

Потужності призначень плану формування однієї сортувальної станції коливаються в досить широких межах. У табл. 2.2 наведено потужності призначень плану формування сортувальної станції Нижньодніпровськ-Вузол.

Таблиця 2.2 – 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	КР Сорт.	145
Клепарів	107	Дніпропетровськ	8	Джанкой	56
Одеса (охор)	14	Сухачівка	-	Ясинувата	196
Одеса	141	Чаплине	39	Волноваха	58
Чорноморська	-	Павлоград 1	214	Красний Лиман	81
Знам'янка	263	Верхівцеве	88	Дебальцеве-Сорт.	183
Знам'янка (охор)	7	Запоріжжя Ліве	210	регулюв. пв	165
Миколаїв	46	КР Головний	81	регулюв. цс	6
Зустрічний	8				

На рис. 2.4 наведено діаграми розподілу призначень плану формування станції Нижньодніпровськ-Вузол за потужністю напрямку. Наявність значної кількості порожніх вагонів пояснюється тим, що станція Нижньодніпровськ-Вузол формує поїзди з порожніх піввагонів під навантаження в Донецький вугільний басейн; з порожніх цистерн світлого та темного наливу – на територію Казахстану та інші струмені порожніх вагонопотоків в райони навантаження та для повернення піввагонів вантажовласникам.

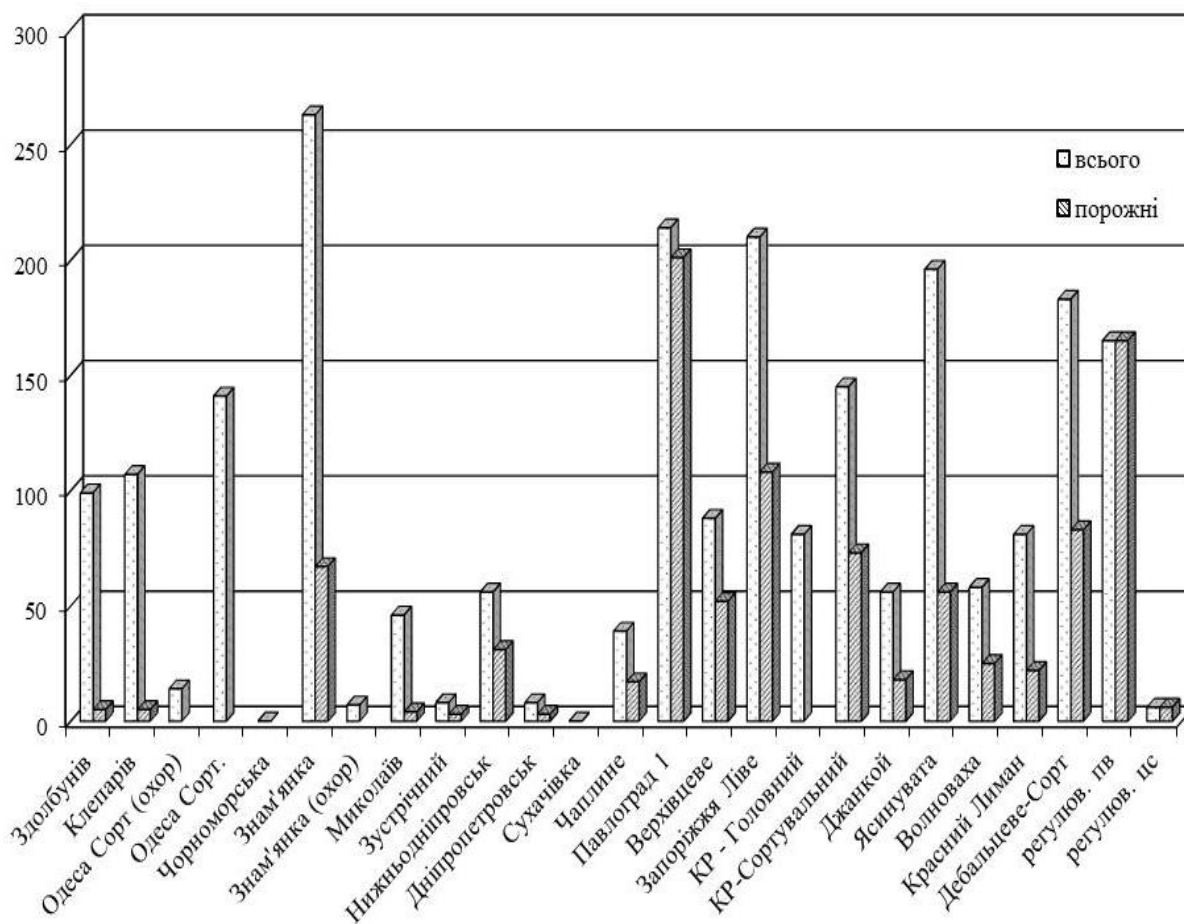


Рисунок 2.4 – Потужність вагонопотоків призначень плану формування поїздів по станції НД-Вузол

По іншому виглядає розподіл вагонопотоків на станції Верхівцеве, яка в минулому відносилася до сортувальних станцій, а зараз є дільничною (рис. 2.5). Кількість призначень плану формування поїздів – 6, при цьому добовий вагонопотік складає 2521 вагон, що перевищує добовий обсяг переробки двосторонньої сортувальної станції НД-Вузол, який становить 2271 вагон. Це пов'язано з особливістю сортувальної роботи станції Верхівцеве: станція формує поїзди з порожніх піввагонів та спеціального рухомого складу (зерновози, цементовози, коксовози та хоппервертушки) для подачі на місця навантаження та інші дільничні станції.

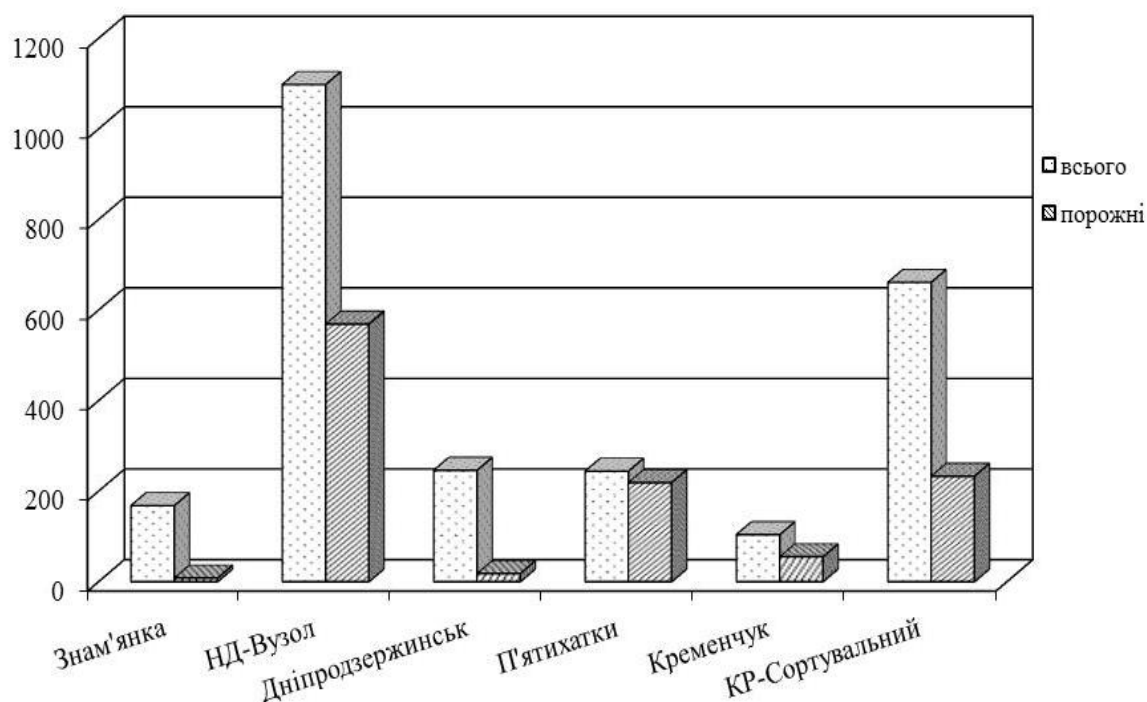


Рисунок 2.5 – Потужність вагонопотоків призначень плану формування поїздів по станції Верхівцеве

Відповідно до ваги бруutto вагона виділяють 5 вагових категорій відчепів:

- легку (Л – маса бруutto до 28 т);
- легко-середню (ЛС – 28-44 т);
- середню (С – 44-60 т);
- середньо-важку (СВ – 60-72 т);
- важку (В – понад 72 т).

Статистична обробка натурних листів составів, що надходять у розформування, станцій Верхівцеве та Нижньодніпровськ-Вузол дозволяє зробити певні висновки та виявити деякі залежності.

На рис. 2.6 наведено структуру вагонопотоку, що розформується на непарній сортувальній гірці станції НД-Вузол.

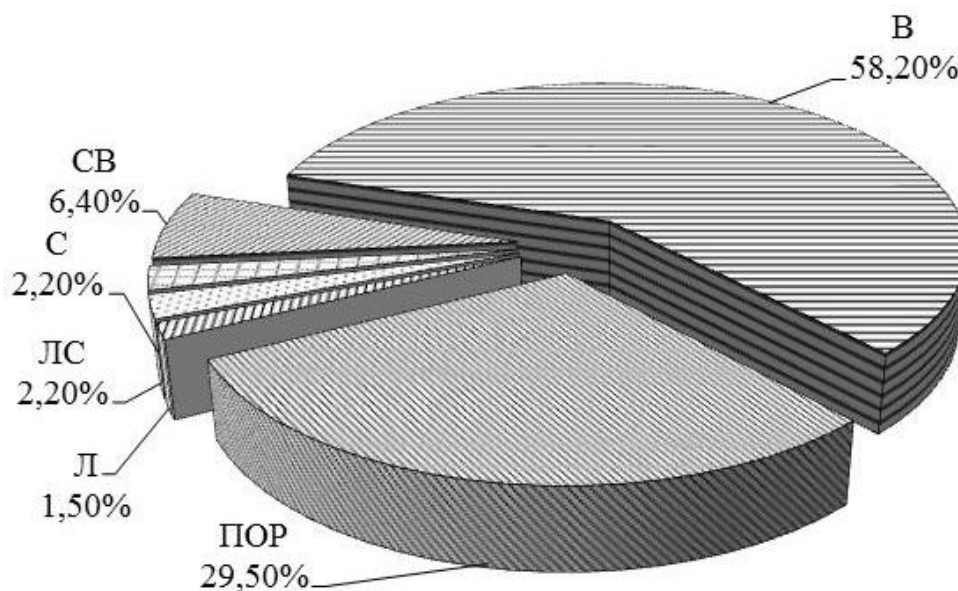


Рисунок 2.6 – Розподіл відчепів за ваговими категоріями
для непарної системи станції НД-Вузол

Для порівняння на рис. 2.7 наведено дані про структуру вагонопотоку станції Верхівцеве.

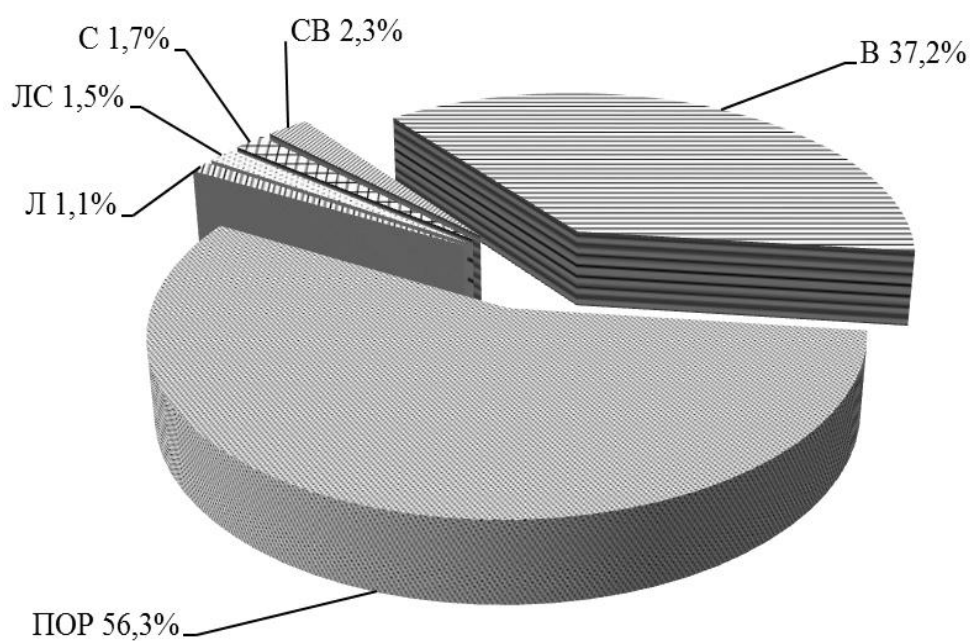


Рисунок 2.7 – Розподіл відчепів за ваговими категоріями
для станції Верхівцеве

Для станції НД-Вузол частка порожніх вагонів та вагонів важкої вагової категорії складають 30 % та 58 % відповідно [54]. Частка вагонів легкої, легко-середньої та середньої вагових категорій складає по 2 %, вагони середньо-важкої категорії – 6 %. Наявність великої кількості вагонів важкої вагової категорії зумовлена прямуванням з Донецького вугільного басейну завантажених вагонів з вугіллям.

Станція Верхівцеве характеризується більшим порожнім вагонопотоком, оскільки через неї прямують вагони під завантаження до Донецького вугільного басейну та до Кривбасу для завантаження рудою.

Після обробки сортувальних листків станцій НД-Вузол та Верхівцеве було побудовано гістограми розподілу випадкової величини кількості вагонів у відчепах для кожної станції (рис. 2.8 та 2.9 відповідно).

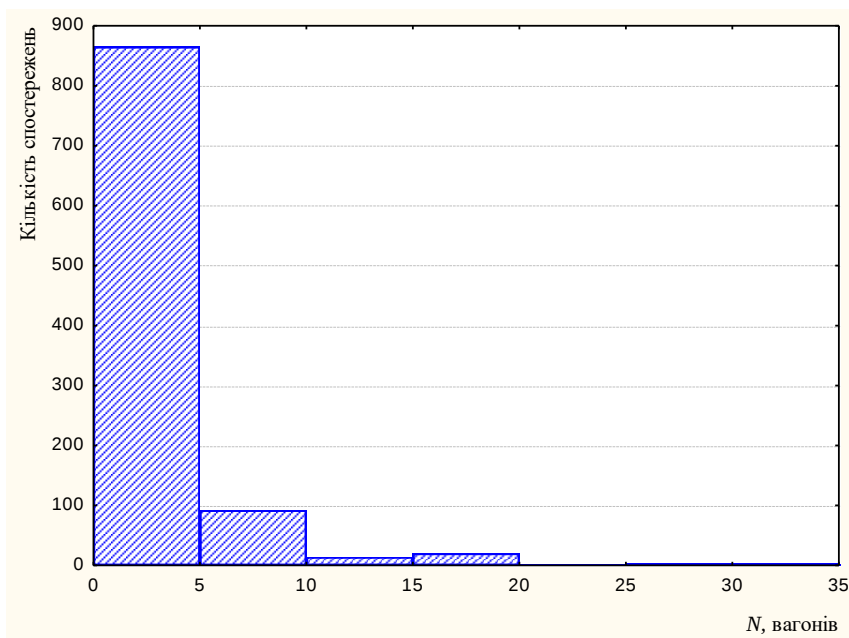


Рисунок 2.8 – Гістограма розподілу випадкової величини кількості вагонів у відчепі на непарній системі ст. НД-Вузол

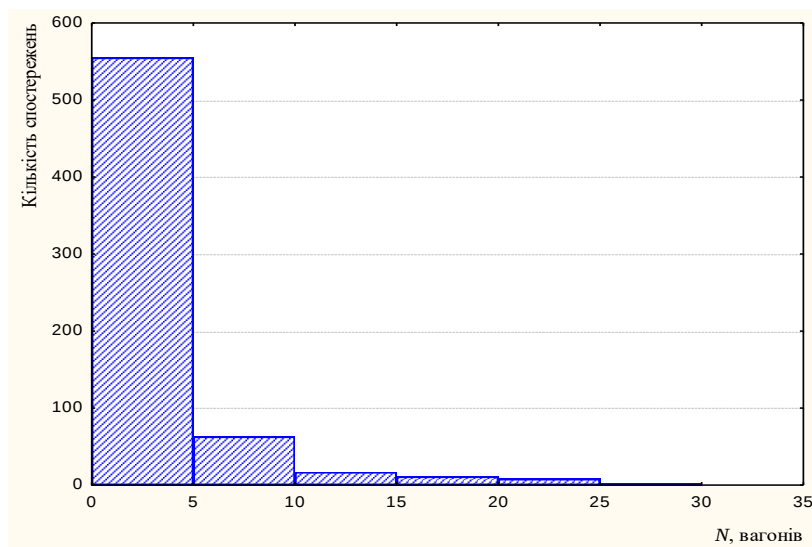
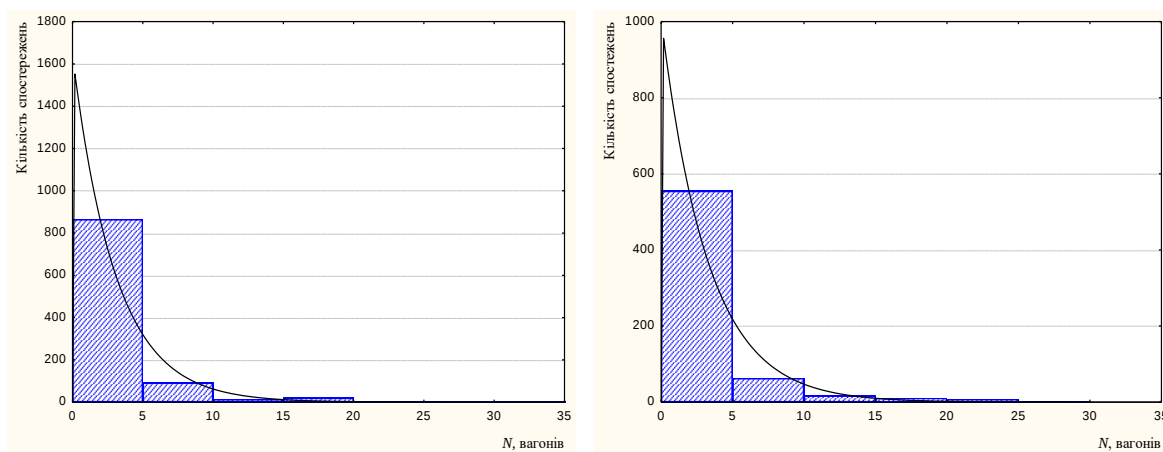


Рисунок 2.9 – Гістограма розподілу випадкової величини кількості вагонів у відчепі на ст. Верхівцеве

У результаті статистичної обробки наведених гістограм встановлено, що кількість вагонів у відчепі має експоненціальний закон розподілу. Це означає, що в основному відчепи складаються з малої кількості вагонів (дивись рис. 2.10).



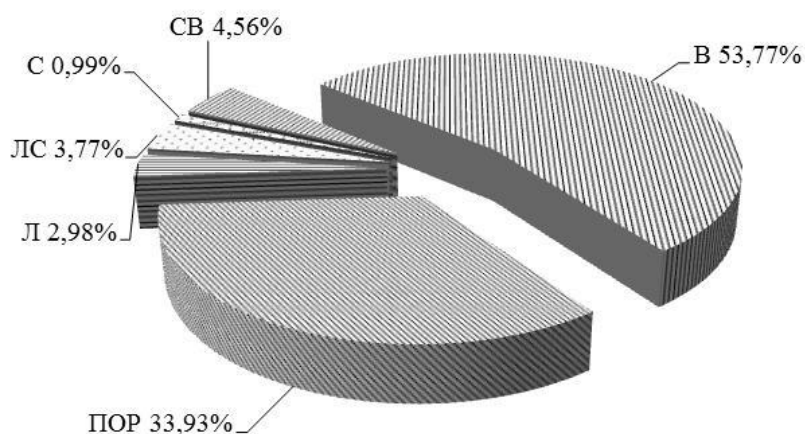
а) – ст. НД-Вузол, б) – ст. Верхівцеве

Рисунок 2.10 – Гістограма та функція розподілу випадкової величини кількості вагонів у відчепі

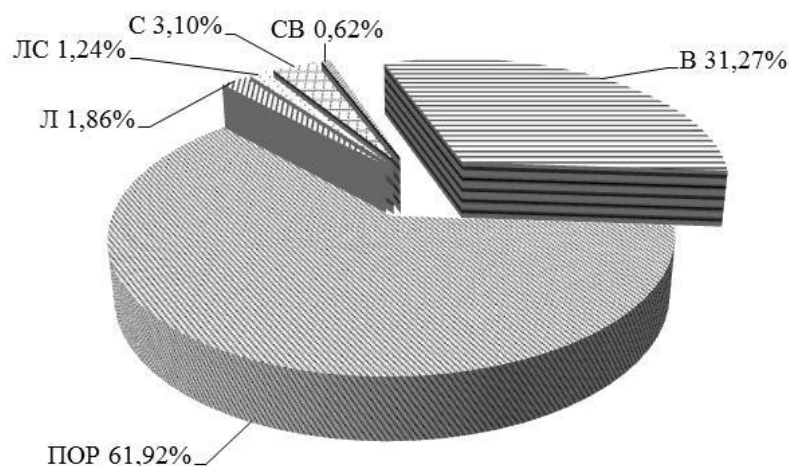
Ймовірність появи одновагонного відчепу на сортувальній гірці непарної системи ст. НД-Вузол складає 50,5 %, для гірки ст. Верхівцеве 49,2 %. Серед одновагонних відчепів ст. НД-Вузол переважають важкі ва-

гони – 53,8 %, для ст. Верхівцеве характерні одновагонні порожні відчепи (рис. 2.11).

а)



б)



а) – ст. НД-Вузол, б) – ст. Верхівцеве

Рисунок 2.11 – Розподіл одновагонних відчепів за ваговими категоріями

2.3 Аналіз розділення відчепів на стрілочних позиціях сортувальної гірки

У схемах гіркових горловин сортувальних парків станцій НД-Вузол та Верхівцеве можна виділити 5 стрілочних позицій, перша розташовується після горба гірки, п'ята (остання) – перед парковою гальмів-

ною позицією. Одним з критеріїв оцінки якості конструкції гіркової горловини є умови розділення відчепів на стрілочних позиціях сортувальної гірки.

У [16] запропоновано визначати ймовірність розділення на стрілочній позиції за умови, що кожна стрілка має однакову кількість колій при відхиленні вліво та вправо, за формулою:

$$P(c) = \frac{2S^2}{M(M-1)},$$

де S – кількість колій, що примикає до одного напрямку стрілочного перевodu;

M – кількість колій у сортувальному парку.

Фактично вагонопотоки на різні колії сортувального парку можуть суттєво відрізнятись. Для аналізу отриманих теоретичних значень було визначено ймовірність розділення відчепів на непарній сортувальній гірці реальної станції Нижньодніпровськ-Вузол та порівняно її з величиною, розрахованою за аналітичними формулами [25]. Аналіз виявив суттєві розбіжності між статистичними та теоретичними значеннями (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Ймовірність розділення відчепів на стрілочних позиціях непарної гірки ст. НД-Вузол

№ стрілочної позиції	Кількість стрілок в позиції	Кількість колій, що примикає до одного напрямку	Кількість колій, що примикає до другого напрямку	Ймовірність розділення відчепів	
				за формулами	Статистичні дані
1	1	16	16	0,516	0,466
2	2	8	8	0,258	0,273
3	4	4	4	0,129	0,169
4	8	2	2	0,065	0,048
5	16	1	1	0,032	0,044
Разом	31			1,000	1,000

Конструкція гіркових горловин гірок станцій НД-Вузол та Верхівцеве відрізняються, кількість та потужність призначень плану також, тому існує різниця між частотою розділення відчепів на стрілочних позиціях сортувальних гірок цих станцій (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Частота розділення відчепів на стрілочних позиціях

№ стрілочної позиції	Частота розділення	
	Верхівцеве	Непарна система НД-Вузол
1	0,403	0,466
2	0,212	0,273
3	0,346	0,169
4	0,009	0,048
5	0,030	0,044

Аналіз наведеної таблиці показує, що найбільша частота розділення відчепів на гірці непарної системи НД-Вузла спостерігається на першій та другій стрілочній позиції, а на гірці ст. Верхівцеве – на першій та третій стрілочних позиціях.

Розформування составів відбувається за умов невизначеності їх ходових характеристик та умов навколишнього середовища. Факторами, які забезпечують успішне рішення задачі інтервального гальмування є наявність у розрахункових групах багатовагонних відчепів, що створює значні резерви на вершині гірки, достатні для погашення відхилень фактичного часу руху відчепів від розрахункових. Також одним із визначальних факторів є сполучення стрілочних переводів у розділових групах відчепів. Так, якщо перша розділова стрілка розташована до першої гальмової позиції, то конструкція сортувальної гірки повинна забезпечувати розділення усіх відчепів на цій стрілці. Якщо при розділенні відчепів має місце значна відстань між стрілками розділення, то, за рахунок вибору режимів гальмування, інтервал у розділових групах може бути перерозподілений і таким чином мінімізовано ризик нерозділення.

Значний вплив на умови розділення відчепів на стрілках чинить сполучення розділових стрілок у парах елементарної розділової групи з трьох відчепів.

У табл. 2.5 наведено ймовірності розділення відчепів на непарній сортувальній гірці ст. НД-Вузол. Найбільша кількість розділень припадає на стрілочні позиції, які розташовані між ВГП та СГП, що покращує умови розділення відчепів [52].

Таблиця 2.5 – Статистична частота розділення трійки відчепів на стрілочних позиціях

Друга пара		№ стрілки розділення				
Перша пара		1	2	3	4	5
№ стрілки розділення	1	0,2698	0,1074	0,0514	0,0140	0,0168
	2	0,1046	0,1307	0,0411	0,0084	0,0056
	3	0,0551	0,0336	0,0504	0,0093	0,0121
	4	0,0121	0,0140	0,0047	0,0084	0,0019
	5	0,0159	0,0084	0,0103	-	0,0140

Аналіз наведеної таблиці показує, що частота появи несприятливих умов розділення відчепів [21], коли розділовими стрілками є стрілки 4-4, 4-5, 5-4 та 5-5, складає 0,0243.

У табл. 2.6 наведено ймовірності розділення відчепів на гірці станції Верхівцеве. Найбільша кількість відчепів, близько 25 %, розділяються на першій стрілочній позиції, яка розташована перед ВГП, близько 21 % – на стрілочній позиції 3, що розташована одразу після СГП. Це значно покращує умови розділення, оскільки процес контролюють та регулюють складач поїздів, оператор гальмової позиції та машиніст маневрового локомотиву. При цьому частота появи несприятливих умов розділення відчепів, коли розділовими стрілками є стрілки 4-4, 4-5, 5-4 та 5-5 складає 0,0061.

Таблиця 2.6 – Статистична частота розділення трійки відчепів на стрілочних позиціях станція Верхівцеве

Друга пара		№ стрілки розділення				
Перша пара		1	2	3	4	5
№ стрілки розділення	1	0,2515	0,0470	0,0961	0,0020	0,0143
	2	0,0532	0,1084	0,0409	0,0041	0,0041
	3	0,0757	0,0470	0,2106	0,0041	0,0061
	4	0,0041	0,0041			
	5	0,0123	0,0041	0,0041		0,0061

Найбільш несприятливими умовами регулювання швидкості скоювання є розділення одновагонних відчепів. Частота появи одновагонної трійки відчепів на сортувальній гірці непарної системи ст. НД-Вузол складає 0,105; на ст. Верхівцеве – 0,131. Ймовірність появи розділення одновагонної трійки відчепів на стрілках 4-4, 4-5, 5-4 та 5-5 для ст. НД-Вузол складає 0,0037, для ст. Верхівцеве – 0 (табл. 2.7 та 2.8 відповідно).

Таблиця 2.7– Статистична частота розділення трійки одновагонних відчепів на стрілочних позиціях гірки непарної системи ст. НД-Вузол

Друга пара		№ стрілки розділення				
Перша пара		1	2	3	4	5
№ стрілки розділення	1	0,0280	0,0121	0,0037	0,0028	0,0019
	2	0,0103	0,0215	0,0009	0,0019	–
	3	0,0047	0,0009	0,0056	–	–
	4	0,0009	0,0019	–	0,0019	0,0019
	5	0,0009	0,0019	0,0009	–	–

З метою прискорення процесу сортування вагонів состави можуть розформовуватися із змінною швидкістю. Змінна швидкість розпуску регулюється черговим по гірці, який залежно від величини відчепів, умов проходження їх у стрілочній зоні, призначення відчепів за пучками, сту-

пеня заповнення колій сортувального парку, дає команду машиністу гіркового локомотива про зміну швидкості насуву состава на горб гірки.

Таблиця 2.8– Статистична частота розділення трійки одновагонних відчепів на стрілочних позиціях гірки ст. Верхівцеве

Друга пара		№ стрілки розділення				
Перша пара		1	2	3	4	5
№ стрілки розділення	1	0,0389	0,0102	0,0102	—	0,0041
	2	0,0082	0,0184	0,0061	—	—
	3	0,0123	0,0020	0,0164	—	—
	4	0,0020	—	—	—	—
	5	—	—	0,0020	—	—

У табл. 2.9 наведені основні швидкості, які встановлені на сортувальних гірках станцій Придніпровської залізниці, відповідно до наказу начальника ДП «Придніпровська залізниця» від 17.02.2011 р. № 100/Н.

Швидкості розпуску встановлені в наказі начальника залізниці враховують певним чином технічне забезпечення сортувальних гірок. Зокрема найменші швидкості розпуску визначені для гірки ст. Кривий Ріг-Сортувальний, що викликано її технічним оснащенням: паркова гальмова позиція – не механізована, використовуються гальмівні башмаки.

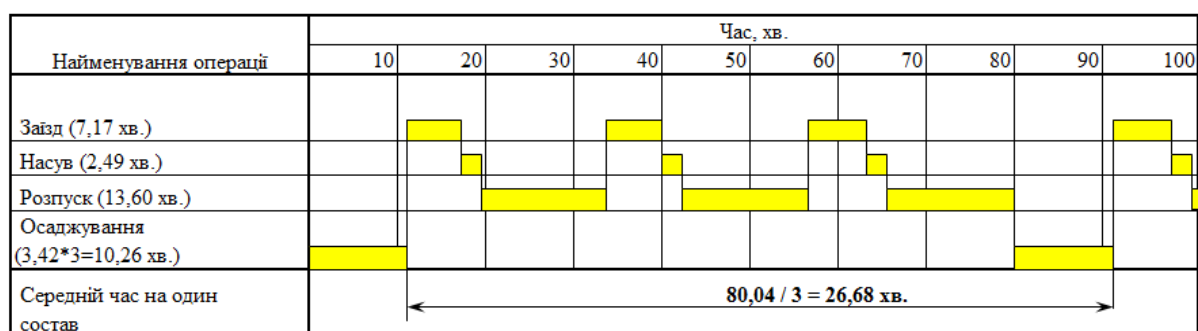
Фактично зв'язок між встановленими швидкостями розпуску та розрахунковою тривалістю розформування составів відсутній. Підвищення швидкості розпуску до максимально допустимої дозволяє зменшити тривалість відповідної операції на 42-30 %. Враховуючи, що збільшення швидкості розпуску призводить до збільшення енергетичної висоти на вершині гірки лише на 0,1 м.е.в, воно не може призвести до перевищення швидкості вагона в розрахунковій точці і порушення вимог безпеки руху. Тому вибір швидкості розпуску визначається лише ризиками нерозділення відчепів.

Таблиця 2.9 – Швидкості розпуску га гірках основних станцій Придніпровської залізниці, км/год

Станція	Згідно [29]	Згідно наказу		
		Зелений вогонь	Зелений із жовтим	Жовтий вогонь
НД-Вузол, непарна система	5/6,8	10	8	6
НД-Вузол, парна система	5/6,8	9	6	4
Кривий Ріг-Сортувальний	6/7,9	5	4	3
Запоріжжя-Ліве	5/6	7	4	3
Джанкой	5/6	9	6	4
Верхівцеве	5/6	10	7	5

Примітка: в чисельнику наведено номінальне значення швидкості розпуску, в знаменнику – максимальне значення швидкості розпуску.

На рис. 2.12 наведено технологічний графік роботи сортувальної гірки з одним маневровим локомотивом. Враховуючи наявність у гірковому циклі інших операцій, то підвищення швидкості розпуску на 36 % призводить до скорочення гіркового циклу на 19,5 %.



Технологічний цикл роботи непарної гірки:
 $T_{\text{ц}} = 7,17 \cdot 3 + 2,49 \cdot 3 + 13,60 \cdot 3 + 10,26 = 80,04 \text{ хв.}$

Середній гірковий інтервал:
 $t_{\text{г}} = 80,04 / 3 = 26,68 \text{ хв.}$

Рисунок 2.12 – Технологічний графік роботи непарної гірки ст. НД-Вузол при роботі одного маневрового локомотива

При роботі на гірці декількох маневрових локомотивів величина

гіркового технологічного інтервалу суттєво залежить від рівня паралельності виконання гіркових операцій та визначається за технологічним графіком роботи гірки.

Для прикладу розглянуто парну та непарну сортувальні гірки станції Нижньодніпровськ-Вузол. При роботі двох локомотивів заїзд та насув можуть виконуватися паралельно до розпуску, та заїзд може виконуватися паралельно розпуску состава. У випадку, якщо насув составів до вершини гірки здійснюється різними коліями, то між послідовними заняттями гірки різними маневровими локомотивами необхідно передбачити інтервал часу не менше ніж $t_{\text{інт}}=1$ хв для подання команд працівникам гірки про початок розпуску та відкриття гіркового світлофора.

Парна гірка має одну колію насуву. У випадку, якщо насув составів здійснюється по одній колії насуву, то між послідовними заняттями гірки різними маневровими локомотивами необхідно передбачити інтервал часу достатній для звільнення локомотивом колії насуву, передачі управління стрілками і сигналами між черговим по станції та черговим по гірці, попередження працівників про маневрові пересування та відкриття сигналів. У цьому випадку величина $t_{\text{інт}}$ при відстані насуву до 270 м визначається за виразом

$$t_{\text{інт}} = 1 + t_{\text{н}} + 0,05\sqrt{l_{\text{н}}},$$

в разі відстані насуву понад 270 м – за виразом

$$t_{\text{інт}} = 1,407 + t_{\text{н}} + 0,0015l_{\text{н}}.$$

Тривалість гіркових інтервалів на станціях Придніпровської залізниці наведена в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Тривалість гіркових інтервалів (дані технологічних процесів роботи станцій)

Станція Показник	НД-Вузол		Кривий Ріг- Сортува- льний	Запорі- жжя-Ліве	Джанкой	Верхів- цеве
	Парна система	Непарна система				
Заїзд, хв	4,47	7,17	5	5	6	7
Насув, хв.	3,24	2,49	8	4,5	6	3
Розпуск, хв.	11,90/ 10,18	13,60/ 11,63	9	9	13	10
Кількість составів у циклі	3/4	3/4	3	2	4	4
Гірковий інтервал, хв	22,97/ 15,92	26,26/ 16,82	-/15	-/16	28,75/ 21,25	23/-

Примітка: в чисельнику наведені значення гіркового інтервалу при роботі на гірці одного маневрового локомотива, в знаменнику – при роботі двох маневрових локомотивів.

Аналіз даних табл. 2.10 показує, як використання двох маневрових локомотивів дозволяє значно скоротити тривалість гіркового інтервалу, що дозволить збільшити обсяг переробки вагонів та зменшити тривалість їх знаходження в парку приймання.

2.4 Висновки за розділом 2

Кількість та потужність призначень плану формування поїздів відрізняються для станцій однієї залізниці.

Вхідний потік поїздів, що надходять в розформування на сортувальну станцію, розподілений за нормальним законом, кількість вагонів у відчепі розподілена за експоненціальним законом, тобто відчепи складаються переважно з невеликої кількості вагонів.

Існують розбіжності між величиною ймовірності розділення на

стрілочних позиціях сортувальної гірки, яка отримана за допомогою обробки сортувальних листів та за класичними формулами. Найгіршими за умов розділення є сполучення одновагонних відчепів, найгіршим сполученням стрілок є сполучення 5-5, 4-5, 4-4 та 5-4, тобто стрілки, що розташовані якнайдалі від вершини гірки.

Найбільш несприятливими умовами регулювання швидкості скоювання є розділення одновагонних відчепів. Частота появи одновагонної трійки відчепів на сортувальній гірці непарної системи ст. НД-Вузол складає 0,105, на ст. Верхівцеве – 0,131.

Результатами досліджень встановлено, що характеристика вагонопотоку, який переробляється, та характер роботи станцій суттєво впливають на їх переробну спроможність. В умовах спаду обсягів роботи сортувальні станції мають резерви переробної спроможності, але через зношеність та скорочення кількості працюючих маневрових локомотивів вони не відповідають сучасному рівню ефективності сортувального процесу. У зв'язку з цим методи оцінки переробної спроможності сортувальних гірок та станцій вимагають удосконалення.

РОЗДІЛ 3

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РОЗФОРМУВАННЯ – ФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ ПОЇЗДІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ

У теперішній час оцінка конструкції сортувальних гірок та умов їх експлуатації виконується в основному на підставі скочування розрахункової групи відчепів при заданих параметрах та умовах зовнішнього середовища. Така методика може застосовуватися на етапі проектування і дозволяє перевіряти роботоспроможність гірок.

3.1 Модель процесу скочування відчепів

Найпоширенішим методом техніко-експлуатаційної оцінки сортувальних гірок, які існують та проектуються, є математичне моделювання процесу скочування відчепів.

Загальна структура існуючої моделі скочування містить опис маршруту скочування відчепів та їх осьові моделі [68]. Маршрут скочування розбитий на елементи, для яких межами є характерні точки плану колійного розвитку: вершина гірки, розрахункова точка, межі стрілочних переводів, кривих, уповільнювачів, гальмових позицій, ізольовані ділянки. Поздовжній профіль маршруту скочування наведений за допомогою кубічного сплайна. Приклад вихідних даних та результатів моделювання наведено в додатку Б.

Скочування відчепів у моделі описується диференціальним рівнянням $v' = f(s, v)$, для розв'язання якого використовується метод Рунге-Кутта IV. На кожному кроці Δs моделювання переміщення виконується за допомогою диференціального рівняння [11]:

$$v' = \frac{dv}{ds} = \frac{g'(i - w_o - w_{cb} - w_{ck} - w_t) \cdot 10^{-3}}{v}, v > 0 \quad (3.1)$$

де g' – прискорення вільного падіння з урахуванням інерції частин вагону, що обертаються, м/с²;

v – швидкість відчепа, м/с;

w_o – основний питомий опір руху відчепа, кгс/тс;

w_{cb} – додатковий питомий опір руху від повітряного середовища, кгс/тс;

w_{ck} – додатковий питомий опір руху, що виникає при проходженні стрілок і кривих;

i – ухил ділянки профілю.

Для забезпечення безперервної дії сил на відчеп, що скочується, при інтегруванні Δs може коректуватися.

Миттєве значення ухилу, яким рухається центр тяжіння відчепа, визначається:

$$i(s) = \frac{1}{Q_{\text{від}}} \sum_{j=1}^{m_{\text{від}}} \frac{Q_{\text{в}j}}{n_{\text{в}j}} \sum_{r=1}^{n_{\text{в}j}} i(s_{rj}) \quad (3.2)$$

де $m_{\text{від}}$ – число вагонів у відчепі;

$Q_{\text{від}}$ – вага відчепа;

$Q_{\text{в}j}$, $n_{\text{в}j}$ – відповідно, вага і число осей вагону;

s_{rj} – координата точки, в якій знаходиться r -а вісь j -го вагону;

$i(s_{rj})$ – значення ухилу, на якому знаходиться r -а вісь j -го вагону.

Модель скочування відчепа містить інформацію розташування вагонів на сортувальних коліях, що дозволяє враховувати проштовхування вагонів на коліях сортувального парку. При моделюванні перевіряється можливість об'єднання відчепа, що скочується, з вагонами, які стоять на

сортувальних коліях.

Під час скочування відчепа на нього діють сили опору випадкового характеру: основний опір, опір середовища та вітру, опір стрілок та кривих.

3.1.1 Основний опір руху вантажних вагонів

Основний опір з'являється внаслідок дії таких факторів: тертя вісей колісних пар у буксах, удари коліс на стиках, тертя між колесами вагона та рейками під час кочення, нерівномірності зносу бандажів та ін.

Випадкове значення основного питомого опору руху одиночного вагона визначається згідно з [84] за виразом

$$w_0 = \frac{1}{b} \ln \left(\prod_{j=1}^a R_j \right), \quad (3.3)$$

де a, b – параметри гамма-розподілу, що залежать від вагової категорії відчепа;

R_j – випадкові числа, що рівномірно розподілені в інтервалі $[0, 1]$.

3.1.2 Опір руху вантажних вагонів від стрілок та кривих

Опір від стрілочних переводів та кривих виникає через підвищене тертя коліс об рейки при вписуванні в криві, удари об гостряки та в хрестовинах стрілочних переводів.

Розрахунок питомих сил опору від стрілок і кривих $w_{ск}$ виконується за формулою:

$$w_{ск}(v) = C_{сб,ск} v^2, \quad (3.4)$$

де $C_{сб,ск}$ – середньозважений коефіцієнт опору стрілок і кривих.

Для визначення $w_{сб}$ у моделі містяться дані для визначення значення

коефіцієнтів повітряного опору на кожному кроці Δs , а також дані про вагу і тип кожного вагона. Для розрахунку коефіцієнт опору модель містить інформацію про розташування та параметри стрілочних переводів та кривих на насувній, спускній частині та коліях сортувального парку.

3.1.3 Опір руху вантажних вагонів від середовища та вітру

При розрахунках висоти сортувальної гірки опір повітряного середовища та вітру визначається згідно з [84] за формулою:

$$W_{\text{св}} = c v_{\text{від}}^2, \quad (3.5)$$

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

c — приведений коефіцієнт повітряного опору, що залежить від параметрів вагонів відчепа та температури навколишнього середовища;

Дослідження вітру та питання, що пов'язані з усередненням швидкості вітру, розглядалися в роботах [30, 63]. Результати робіт свідчать про необхідність врахування реальної швидкості вітру. При моделюванні прийнято, що вітрове навантаження складається із пульсуючої та статичної складових. Згідно [30] швидкість вітру визначається як

$$v_{\text{в}} = \gamma_{\text{в}} \bar{v}_{\text{в}}, \quad (3.6)$$

де $\bar{v}_{\text{в}}$ — середня швидкість вітру;

$\gamma_{\text{в}}$ — випадкова величина відношення реальної швидкості вітру до середньої.

3.1.4 Гальмовий опір руху вантажних вагонів

Для керування процесом скочування відцепів використовуються

гальмові засоби (уповільнювачі або гальмові башмаки). Математично дію гальмових засобів враховують через величину діючого на відчеп питомого гальмового опору:

$$b_r = \frac{B_r}{Q}, \quad (3.7)$$

де B_r – повна величина діючої на відчеп гальмової сили, тс.

При цьому визначення величини B_r (відповідно і b_r) є проблематичним, оскільки вона залежить від великої кількості факторів: розмірів коліс вагонів, сили тиску шин уповільнювачів на колеса вагона, розмір шин уповільнювачів та коефіцієнта тертя коліс. На даний час характер дії цих факторів повністю не досліджений та не формалізований.

При виконанні розрахунків в дослідження процесів розформування [68, 70] величина b_r визначається за допомогою використання величини енергетичної висоти (h_r , м ен. в.), яка погашається на гальмовій позиції:

$$b_r = \frac{h_r}{l_{p,гп}} 10^3, \quad (3.8)$$

де $l_{p,гп}$ – робоча довжина гальмової позиції, м.

3.1.5 Модель відчепа

У якості моделі відчепа обрана осьова модель [15, 70], в якій відчеп розглядається як недеформуємий гнучкий стержень і представляється структурою

$$c_o = \left\{ \mathbf{V}_o, \nu_{vo}, x_o, p_r, l_{прц} \right\}, \quad (3.9)$$

де $\mathbf{V}_o$ – вагони відчепа;

$v_{\text{во}}$ – поточна швидкість відчепа;

x_o – координата першої осі відчепа;

p_{Γ} – колія призначення відчепа;

$l_{\text{прц}}$ – відстань від вершини гірки до точки прицілювання.

Параметри кожного вагону $v_{o,n} \in \mathbf{V}_o$, $n = \overline{1, N}$ у моделі відчепа представлені:

$$v_o = \left\{ \mathbf{A}, q_{\text{вг}}, \omega_0, K_{\text{св}} \right\}, \quad (3.10)$$

де $\mathbf{A}$ – вектор міжосьових відстаней;

$K_{\text{св}}$ – коефіцієнт середовища та вітру

Значення $\mathbf{A}$ і $K_{\text{св}}$ визначаються відповідно до типу вагона. Маса та основний питомий опір вагона визначаються на підставі вагової категорії відчепа. Відповідно до [47] у межах вагових категорій Л, ЛС, С та СВ випадкова величина $q_{\text{вг}}$ розподілена за рівномірним законом і моделюється

$$q_{\text{вг}, n} = q_{\text{вкм}}(b_{\text{вг}}) + R_j (q_{\text{вкб}}(b_{\text{вг}}) - q_{\text{вкм}}(b_{\text{вг}})), \quad (3.11)$$

де $q_{\text{вкб}}(b_{\text{вг}})$, $q_{\text{вкм}}(b_{\text{вг}})$ – максимальна та мінімальна маса відчепа у ваговій категорії $b_{\text{вг}}$.

Маса вагона важкої вагової категорії визначається:

$$q_{\text{вг}, n} = q_{\text{т}} + q_{\text{вп}} + \bar{\varepsilon} \ln R_j, \quad (3.12)$$

де $q_{\text{т}}$, $q_{\text{вп}}$ – відповідно, маса тари та вантажопідйомність вагона, т;

$\bar{\varepsilon}$ – математичне сподівання величини недовантаження вагона, т.

Основний питомий опір відчепа моделюється за допомогою виразу (3.3).

3.1.6 Модель сортувальної гірки.

Модель гірки дозволяє виконувати моделювання керованого руху відчепа, використовуючи чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь [22]. Вона містить дані про план, поздовжній профіль, розділові стрілки, уповільнювачі та сортувальні колії, що дозволяє моделювати керований рух відчепа.

Модель маршруту скочування наводиться множиною прямолінійних та криволінійних ділянок

$$a_{\Gamma k} = \{l_k, \theta_{\Pi}, R_k, \bar{K}_{\text{СК}}, K_{\text{СК}}, b_{\Gamma}, n_{\text{ГП}}\}, a_{\Gamma k} \in \mathbf{A}_{\Gamma}, k = \overline{1, s_{\Gamma}}, \quad (3.13)$$

де $K_{\text{СК}}$ - коефіцієнт опору стрілок та кривих на ділянці,

$$K_{\text{СК}} = -0,125 \ln \left(\prod_{j=1}^8 R_j \right). \quad (3.14)$$

Для визначення гальмового опору ділянки b_{Γ} математичне сподівання гальмової потужності уповільнювачів та її середнє квадратичне відхилення обирається відповідно до типу уповільнювача $\tau_{\text{Гу}}$.

Модель сортувальної гірки також містить інформацію, яка необхідна для моделювання опору руху відчепа від середовища та вітру: температура навколишнього середовища $t_{\text{НС}}$, математичне сподівання $\bar{v}_{\text{В}}$ та середнє квадратичне відхилення $\sigma_{v_{\text{В}}}$ швидкості вітру, математичне сподівання $\bar{\alpha}_{\text{В}}$ та середнє квадратичне відхилення $\sigma_{\alpha_{\text{В}}}$ напрямку вітру.

3.1.7 Моделювання скочування відчепів

Рух відчепа описується диференціальним рівнянням, незалежною змінною в якому є шлях (3.1). Для моделювання руху відчепів на попередньому етапі здійснюється пошук кореня дерева G , далі здійснюється обхід дерева G з метою побудови маршруту від його кореня v_k до кінця ко-

лії, якій відповідає маршрут скочування. Перед кожним скочуванням здійснюється параметризація відчепу та моделі маршруту відповідно до заданих параметрів розподілу випадкових величин. На рис. 3.1 наведено «вікно» програми моделювання скочування відчепів.

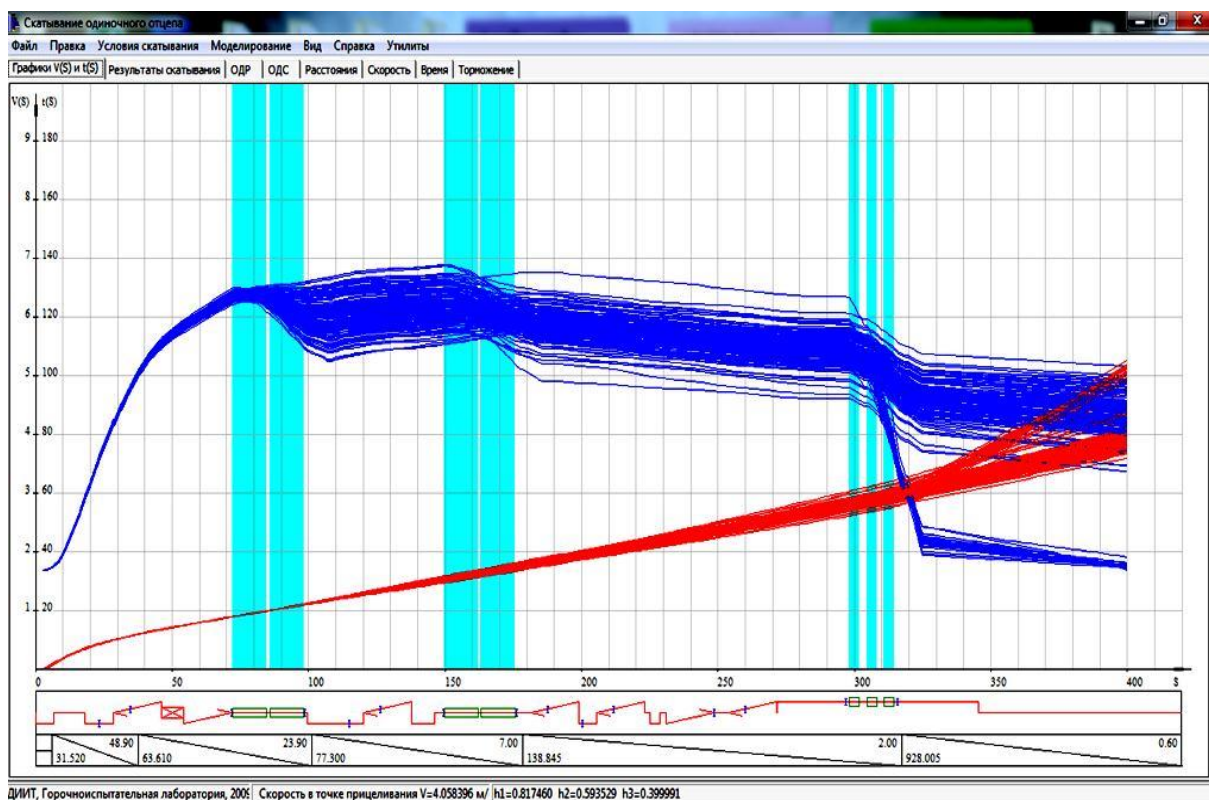


Рисунок 3.1 – Результати моделювання скочування відчепів

Модель дозволяє проводити експерименти при різній точності реалізації швидкості виходу відчепу з гальмової позиції та враховувати невідомість умов скочування та параметрів відчепів.

Обробка результатів моделювання дозволяє визначати параметри розподілу випадкових величин тривалості скочування відчепів до будь-якої точки, швидкості входу та виходу відчепів із уповільнювачів, швидкості підходу та співударяння з вагонами, що знаходяться на сортувальних коліях.

Проведено експерименти скочування 300 відчепів при різній точності реалізації заданих швидкостей виходу з уповільнювачів

($\sigma_{\text{гн}} = 0,2; 0,3; 0,4$ м/с).

На рис. 3.2 та 3.3 наведені гістограми та функцій щільності розподілу відповідно часу скочування та швидкості відчепа до 4-ї розділової стрілки при точності реалізації заданих швидкостей виходу з уповільнювачів $\sigma_{\text{гн}} = 0,3$ м/с.

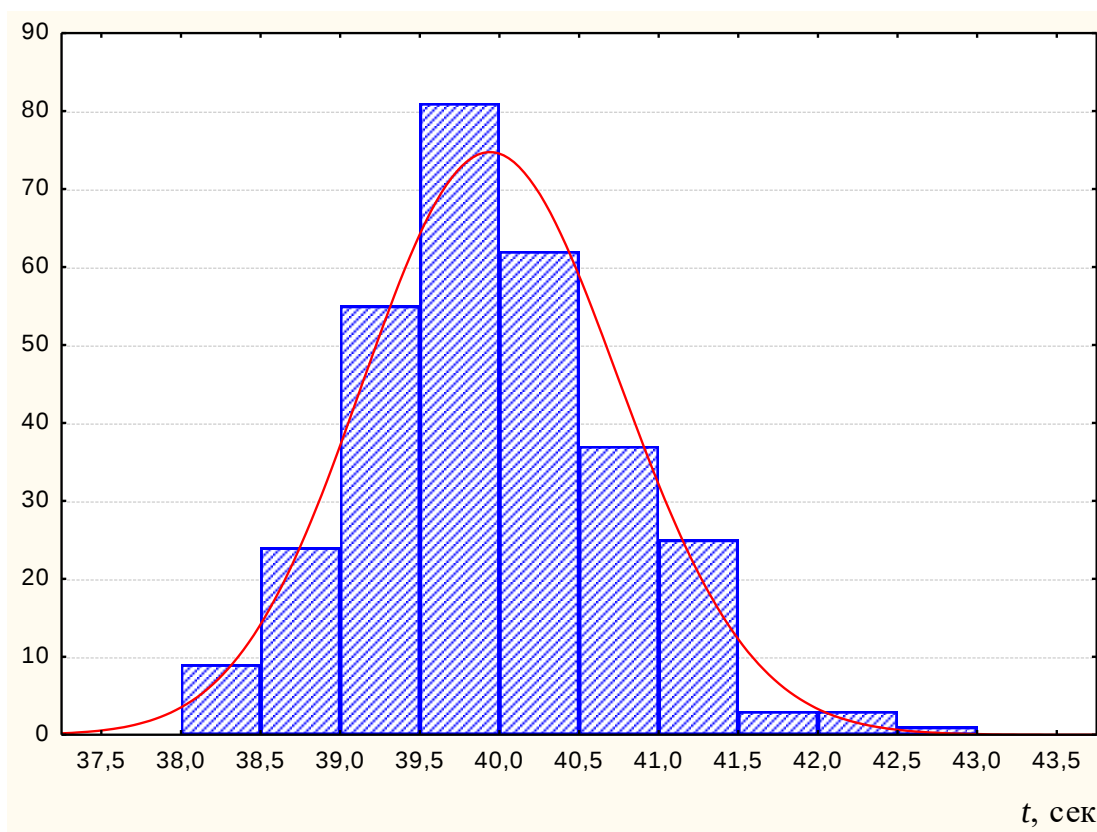


Рисунок 3.2 – Гістограма та функція щільності розподілу випадкової величини тривалості скочування відчепа до входу на 4-ту розділову стрілку

Випадкова величина тривалості скочування відчепа має логарифмічно-нормальний закон розподілу.

Аналіз залежностей показує, що випадкова величина швидкості скочування відчепа має нормальний закон розподілення.

Гістограми та функцій щільності розподілу швидкості та часу скочування відчепа до 4-ї розділової стрілки при точності реалізації заданих

швидкостей виходу з уповільнювачів $\sigma_{\text{гп}} = 0,2$ та $0,4$ м/с наведені в Додатку В.

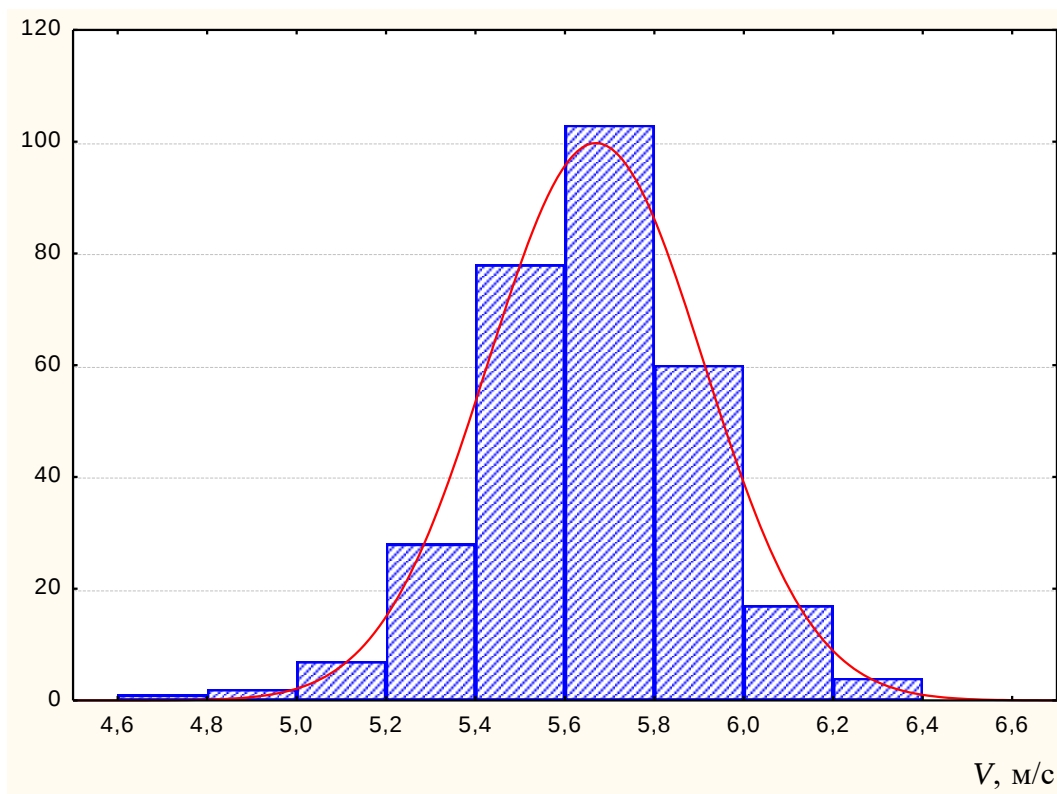
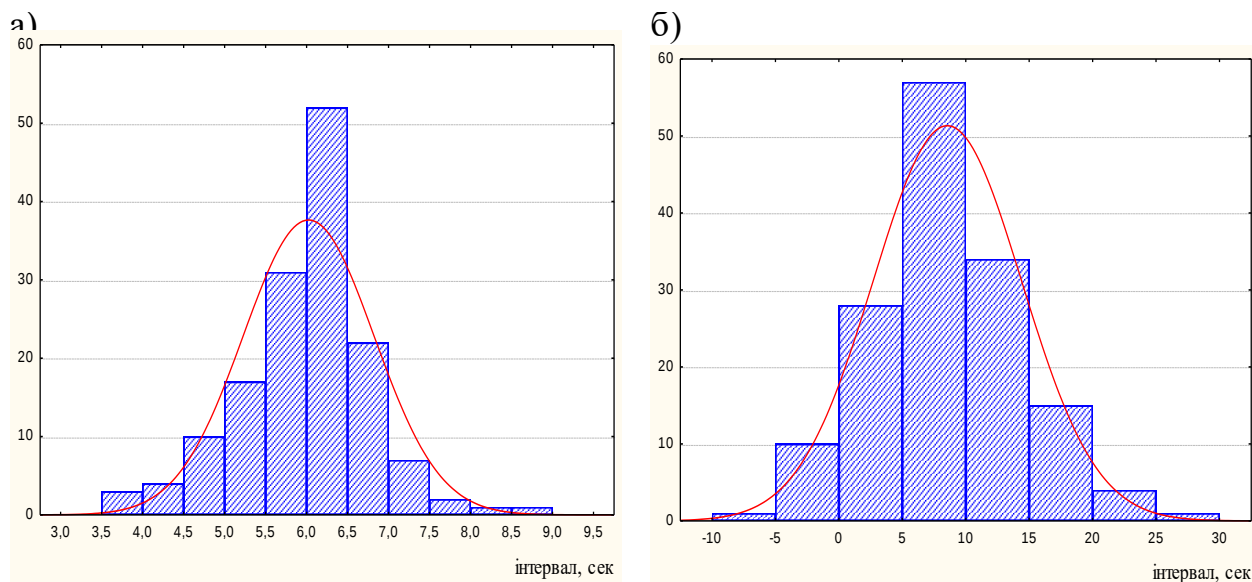


Рисунок 3.3 – Гістограма та функція щільності розподілу випадкової величини швидкості скочування відчепа в момент входу на 4-ту розділову стрілку

Зважаючи на те, що характеристики відчепів, умови їх скочування під час вибору режимів точно невідомі, а гальмові позиції реалізують задані швидкості виходу відчепів з похибками, то час руху відчепів за маршрутами, а відповідно і інтервали між ними є випадковими величинами. На рис. 3.4 наведені гістограми та функції щільності розподілу випадкової величини інтервалу між відчепами на 4-й та 5-й розділовій стрілці за маршрутом скочування. Величини інтервалів на розділових стрілках мають нормальний закон розподілення.



а) – 4-а розділова стрілка; б) – 5-а розділова стрілка
Рисунок 3.4 – Гістограма та функція щільності розподілу випадкової величини інтервалу між відчепами

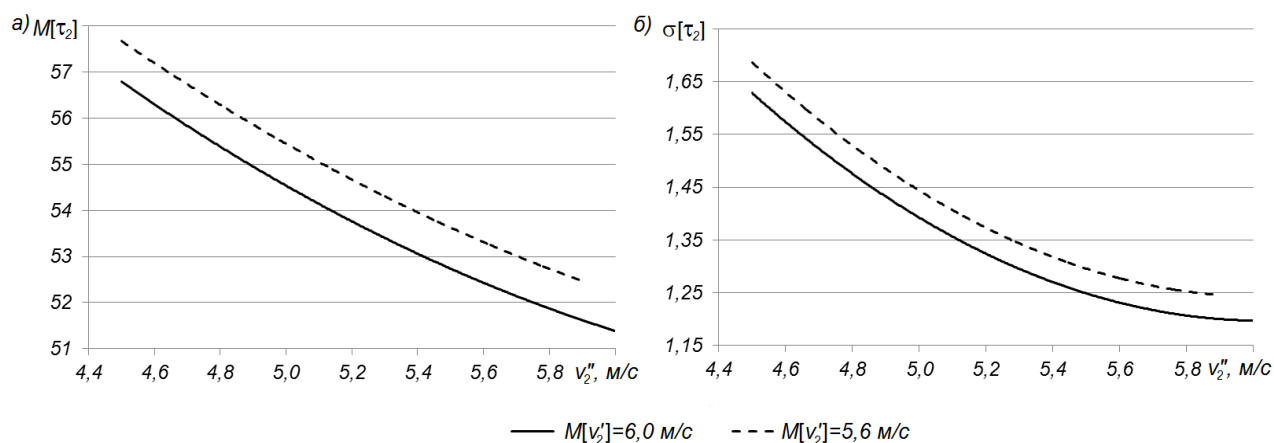
На рис. 3.5 наведені залежності математичного сподівання і середнього квадратичного відхилення часу скочування відчепу від моменту відриву до звільнення ізолюваної ділянки п'ятого стрілочного переводу.

3.2 Удосконалення методів вибору режимів інтервального регулювання швидкості скочування відчепів

Дослідження виконувалися на моделі сортувальної гірки з 32 коліями в підгірковому парку. У якості розрахункової групи прийнята група з трьох одновагонних відчепів, відповідно легкої, важкої і легкої вагової категорії. У якості розділового елемента було обрано найгірше сполучення стрілок [17, 21]: в першій та другій парах прийнятий п'ятий стрілочний перевід за маршрутом скочування.

Характеристиками відчепів є навантаження на вісь і основний питомий опір руху. З огляду на те, що при виконанні обчислювальних експериментів не моделюється робота систем уточнення ходових характери-

стик відчепів, прийнято, що опори руху залишаються постійними в процесі скочування, проте невідомими для експериментатора.



а – математичне сподівання; б – середнє квадратичне відхилення

Рисунок 3.5 – Залежності параметрів випадкової величини часу скочування керованого відчепу від заданих математичних величин швидкостей виходу відчепу з гальмових позицій

Також як випадкові величини розглядаються опір стрілок і кривих, опір середовища та вітру. Методика моделювання зазначених випадкових величин наведена в [47]. Швидкості виходу відчепів з першої та другої гальмових позицій і при гальмуванні моделювалися як випадкові величини з нормальним законом розподілу. Математичне сподівання величин v_i' та v_i'' задаються особою, яка виконує моделювання, а середнє квадратичне відхилення прийнято рівним 0,3 м/с [53].

Режими гальмування першого та третього відчепів розрахункової групи прийняті фіксованими. При цьому, вони скочуються без гальмування на ВГП, а математичне сподівання швидкості виходу з СГП встановлено рівним 6,0 м/с. На величину математичного сподівання швидкості виходу другого (керованого) відчепу з першої гальмової позиції накладено обмеження $M[v_2'] \leq 6,15$ м/с для забезпечення його входу в уповільнювач другої гальмової позиції з допустимою швидкістю з імовірністю не

менше 0,95.

Для визначення статистичних характеристик умов розділення відчепів у ході кожного обчислювального експерименту виконувалося моделювання скочування 300 відчепів. Вікно програми моделювання скочування розрахункової групи відчепів у стохастичних умовах наведено на рис. 3.6, де для кожного з трьох відчепів побудовано ряд кривих тривалості скочування.

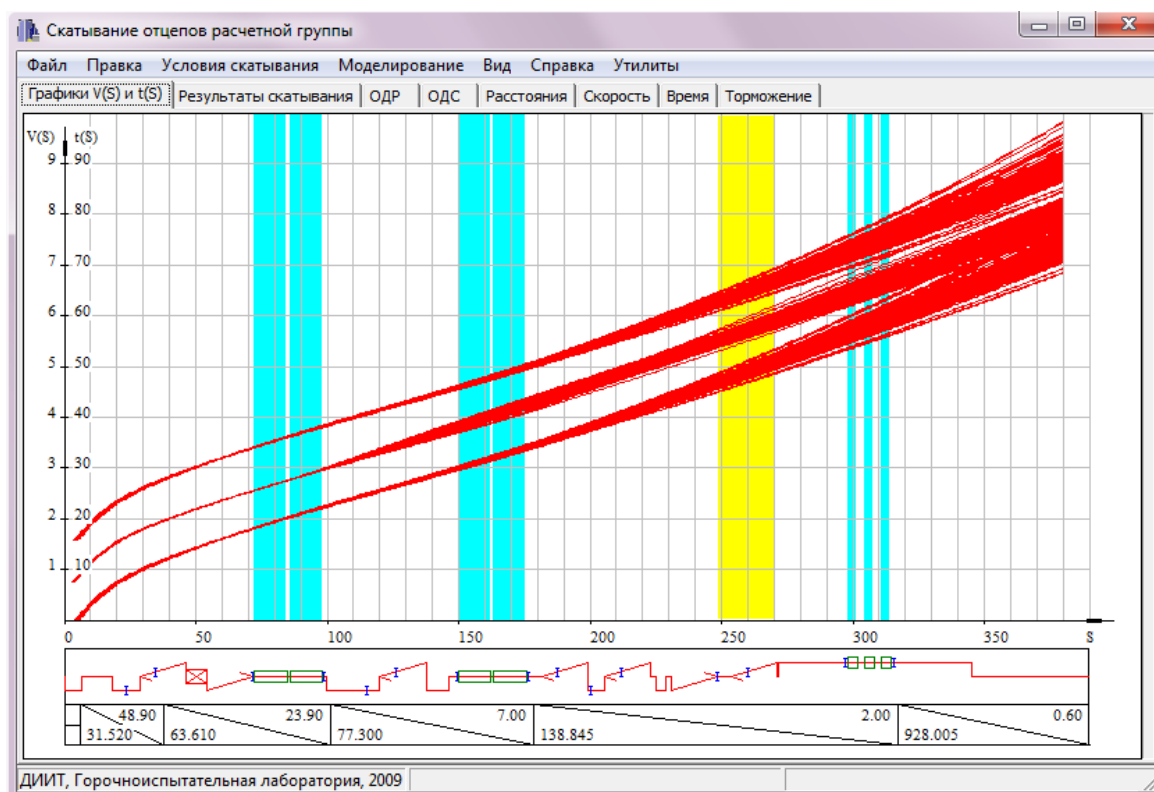


Рисунок 3.6 – Криві тривалості скочування відчепів розрахункової групи з трьох відчепів у стохастичних умовах

На першому етапі дослідження виконана оптимізація режиму гальмування середнього відчепа для умов, коли рішення про швидкості його виходу з гальмових позицій приймається до початку скочування. Величини початкових інтервалів часу на вершині гірки між відривом відчепів від составу визначалися за формулою

$$t_{0i} = \frac{l_i - s_{0,i} + s_{0,i+1}}{v_p}, \quad (3.15)$$

де l_i – довжина i -го відчепу;

$s_{0,i}, s_{0,i+1}$ – відповідно координата відриву i -го та наступного за ним відчепу.

Зважаючи на малість середніх квадратичних відхилень випадкових величин початкових інтервалів часу між відчепами в порівнянні з середніми квадратичними відхиленнями часу руху відчепів до характерних точок за маршрутом скочування значення початкових інтервалів були прийняті рівними їх математичним сподіванням і склали в першій парі 7,65 с, а в другій парі – 8,72 с.

Параметри випадкової величини часу скочування першого і третього відчепів від моментів відривів відповідно до моменту звільнення розділового елемента в першій парі та до моменту заняття розділового елемента в другій парі наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри випадкових величин часу руху крайніх відчепів розрахункової групи до точок розділення, с

№ відчепу	Параметр	Математичне сподівання	Середнє квадратичне відхилення
1	τ_1	51,08	1,063
3	t_3	46,92	0,813

Параметри випадкових величин часу скочування керованого відчепу до точок розділення залежать від заданих математичних величин швидкостей виходу відчепу з гальмових позицій.

Режим гальмування відчепу на спускній частині гірки визначається швидкостями його виходу з ВГП і СГП, відповідно $M[v_2']$ і $M[v_2'']$. На рис. 3.7 наведена графічна інтерпретація рішення завдання визначення режиму

гальмування відчепу на СГП, що забезпечує мінімальний ризик нерозділення при математичному сподіванні швидкості виходу відчепу з ВГП $M[v'_2] = 6,0$ м/с.

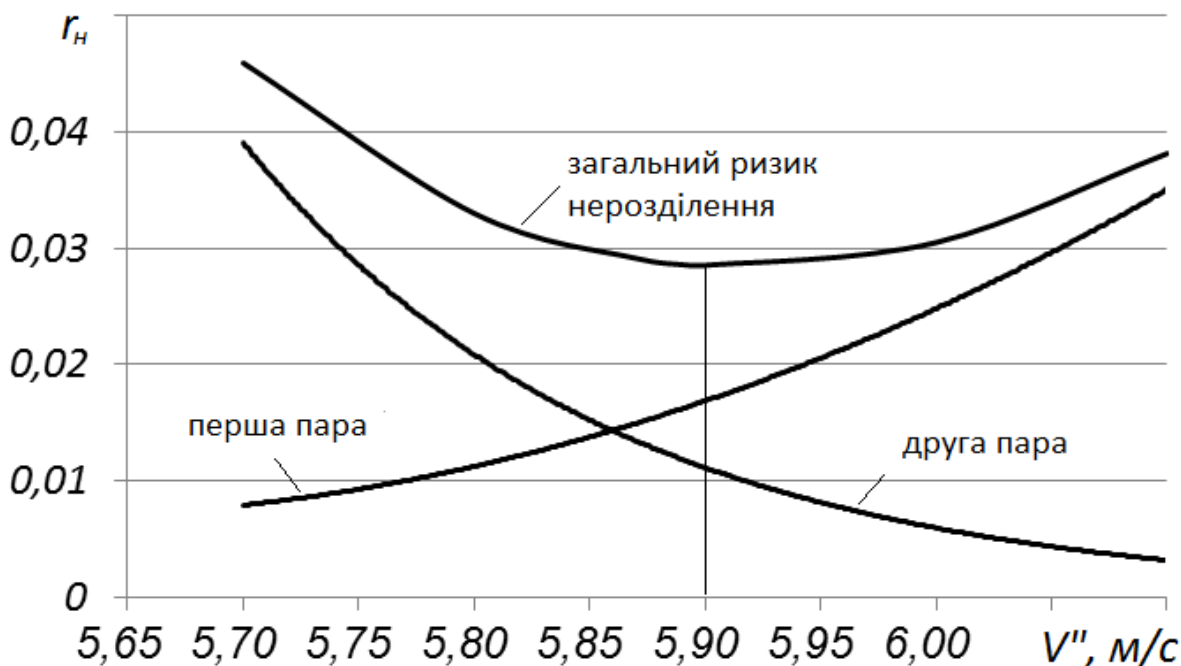


Рисунок 3.7 – Залежність між режимом гальмування відчепу на СГП і ризиком нерозділення відчепів при математичному сподіванні швидкості виходу відчепу з ВГП $M[v'_2]=6,0$ м/с

Пошук оптимального режиму гальмування у двовимірному просторі $M[v'_2]$ і $M[v''_2]$ здійснювався за допомогою методу координатного спуску. В результаті встановлено, що оптимальні умови розділення відчепів досягаються при заданих значеннях математичного сподівання швидкості виходу другого (керованого) відчепу з першої гальмової позиції 6 м/с, з другої – 5,9 м/с. Величина ризику нерозділення відчепів при цьому становить 0,028.

На другому етапі досліджень розглянуто випадок, коли вибір режиму гальмування відчепу здійснюється в момент його входу на гальмівну позицію. У табл. 3.2 наведено аналіз характеристик випадкових величин

часу скочування відчепів розрахункової групи в характерні моменти часу для випадку, коли швидкість виходу керованого відчепа з ВГП встановлена рівною 6 м/с, а з СГП – 5,9 м/с.

Таблиця 3.2 – Розташування відчепів составу в характерні моменти часу

№ відчепа	Положення відчепа		Момент входу на елемент		Скочування до точки розділення			
					Вхід		Вихід	
	Елемент	Ймовірність	$\min\{t_T\}$	$\max\{t_T\}$	$M[t_{дв}]$	$\sigma[t_{дв}]$	$M[\tau_{дв}]$	$\sigma[\tau_{дв}]$
До початку розпуску составу								
1	у составі	1,0	–	–	–	–	51,08	1,063
2	у составі	1,0	–	–	47,60	0,990	51,55	1,138
3	у составі	1,0	–	–	46,92	0,813	–	–
Вхід керованого відчепа на ВГП								
1	вхід на ІД СП2	1,0	24,37	25,40	–	–	26,06	1,036
2	вхід на ВГП	1,0	18,05	18,20	29,48	0,992	33,43	1,138
3	вхід на ІД СП1	1,0	8,36	8,93	38,26	0,813	–	–
Вхід керованого відчепа на СГП								
1	вхід на ІД СП4	0,56	37,44	39,28	–	–	12,77	0,535
1	вихід з ІД СП3	0,13	37,11	38,88	–	–	13,13	0,750
1	вихід з СГП	0,31	35,26	36,68	–	–	15,14	0,854
2	вхід на СГП	1,0	29,85	31,95	16,87	0,674	20,82	0,855
3	вхід на ВГП	1,0	18,28	18,52	28,51	0,813	–	–

Аналіз даних табл. 3.2 показує, що до моменту входу керованого відчепа на ВГП перший відчеп розрахункової групи незалежно від його ходо-

вих характеристик і умов скочування вже увійшов на розділовий ділянку другого стрілочного перевodu за маршрутом (ІД СП2), а третій – на розділовий ділянку другого стрілочного перевodu за маршрутом (ІД СП1). Середні квадратичні відхилення часу руху відчепів до моментів заняття / звільнення розділових елементів $\sigma[t_{дв}]$ для даної групи відчепів несуттєво відрізняються від умов, коли скочування розглядається від моменту відриву відчепів від состава. У зв'язку з цим використання додаткової інформації про процес скочування відчепів на даній ділянці не дозволяє істотно поліпшити показники інтервального гальмування в даній розрахунковій групі.

До моменту входу регульованого відчепа на СГП третій відчеп розрахункової групи вже увійшов на ВГП. Перший відчеп розрахункової групи, залежно від поєднання умов скочування, може увійти на ізолювану ділянку четвертого стрілочного перевodu (ІД СП4), звільнити ізолювану ділянку третього стрілочного перевodu (ІД СП3) або вийти з СГП.

Зменшення середньоквадратичного відхилення швидкості скочування першого і другого відчепів розрахункової групи, а також точне знання часу їх руху до моменту прийняття рішення створює умови для підвищення якості інтервального регулювання швидкості скочування відчепів.

У цьому випадку ризик нерозділення відчепів у розрахунковій групі пропонується визначати за формулою

$$r_{нг} = \Phi \left(\frac{t_{н,1} - t_{пе} - t_{т,1} - M[\tau_{дв,1}] + t_{тп,2} + M[t_{дв,2}]}{\sqrt{D[\tau_{дв,1}] + D[t_{дв,2}]}} \right) m_2 + \\ + \Phi \left(\frac{t_{н,2} - t_{пе} - t_{т,2} - M[\tau_{дв,2}] + M[t_3]}{\sqrt{D[\tau_{дв,2}] + D[t_3]}} \right) m_3 \rightarrow \min \quad (3.16)$$

Для оцінки ефективності запропонованого методу встановлені оптимальні режими гальмування для різних сполучень тривалостей входу регульованого відчепа на СГП і попереднього йому відчепа на певну ділянку маршруту скочування. У кожному окремому випадку пошук оптимального режиму гальмування відчепа на СГП здійснювався так, як це наведено на рис. 3.7. Відкориговані значення v_i'' перебувають у межах $[5,3-6,15]$ м/с.

Також у результаті обчислювальних експериментів встановлено ймовірності поєднань тривалостей входу регульованого відчепа на СГП і попереднього йому відчепа на певну ділянку маршруту скочування. Для прикладу на рис. 3.8 наведені ймовірності поєднань тривалості руху керованого відчепа від його відриву до входу на СГП і відчепа, що передує йому, від відриву до входу на ІД СП4.

Ризик нерозділення відцепів розрахункової групи можна оцінити за допомогою формули

$$r_n = p_y(L_i) p_c(U_{jk} | L_i) r_{n,ijk}, \quad (3.17)$$

де $p_y(L_i)$ – ймовірність того, що в момент входу керованого відчепа на ВГП відцеп, що йому передує, буде розміщуватися на ділянці L_i ;

$p_c(U_{jk} | L_i)$ – умовна ймовірність поєднання часів входу регульованого відчепа на СГП і попереднього відчепа на ділянку L_i ;

$r_{n,ijk}$ – ризик нерозділення відцепів при сполученні U_{jk} часу входу регульованого відчепа на ВГП та попереднього відчепа на ділянку L_i .

У результаті ризик нерозділення відцепів у розглянутій групі вдалося зменшити в 3,6 рази, і він становить 0,0077. Враховуючи, що збір інформації про заняття і звільнення відчепами окремих ділянок за маршрутом скочування проводиться системами управління розпуском для завдань

ведення протоколів, пропонуване удосконалення не вимагає додаткового розвитку технічних засобів автоматизованої системи.

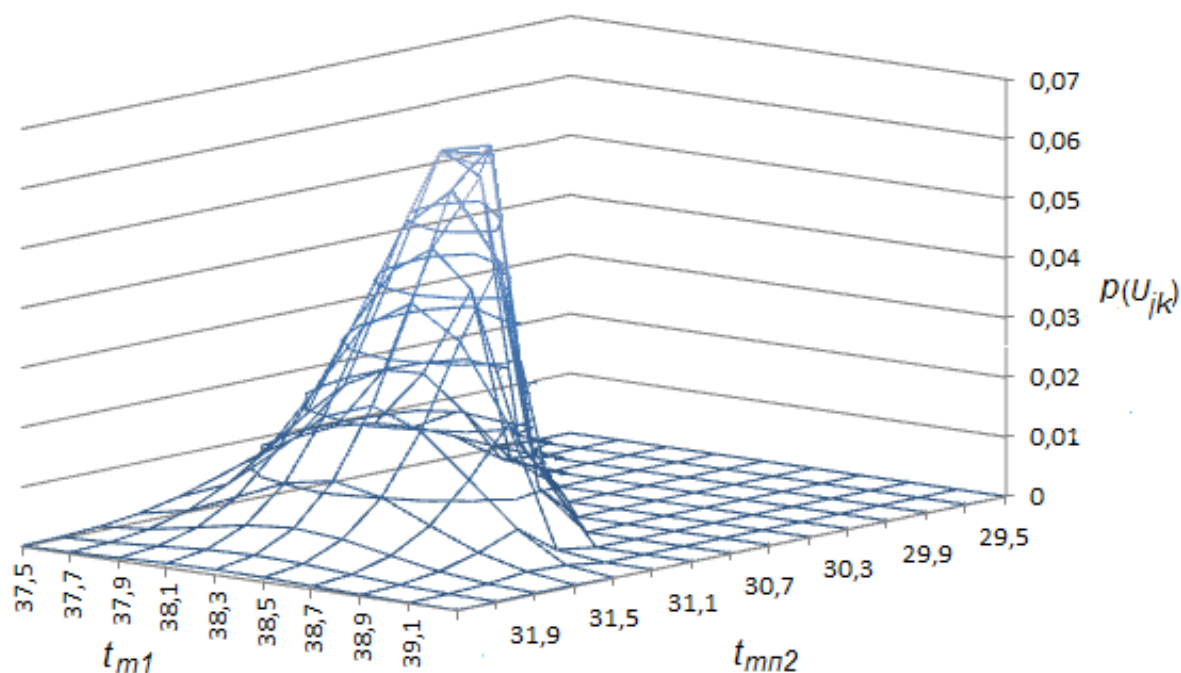


Рисунок 3.8 – Ймовірності поєднань тривалості руху керованого відчепа від відриву до входу на СГП і відчепа, що йому передує, від відриву до входу на ІД СП4

При вирішенні завдання управління швидкістю скочування відчепів составу режим гальмування відчепа вибирається за умови [50]

$$r_n^* = \sum_{i=j+1}^k \Phi \left(\frac{t_{n,i} - t_{pe} - t_{r,i} - M[\tau_{дв,i}] + t_{тп,i+1} + M[t_{дв,i+1}]}{\sqrt{D[\tau_{дв,i}] + D[t_{дв,i+1}]}} \right) m_{i+1} +$$

$$+ \sum_{i=k}^{n-1} \Phi \left(\frac{t_{n,i} - t_{pe} - M[\tau_i] + M[t_{i+1}]}{\sqrt{D[\tau_i] + D[t_{i+1}]}} \right) m_{i+1} \rightarrow \min \quad (3.18)$$

де j, k – відповідно кількість відчепів, що вийшли із зони розділення і відірвалися від составу в момент прийняття рішення про вибір режиму гальмування.

У цілому завдання управління швидкістю скочування відчепів складається пропонується вирішувати поетапно. До початку розпуску на попередньому етапі виконується оптимізація режимів гальмування відчепів за виразом (3.18). У відповідності з отриманим рішенням і оперативними обставинами, які склалися, встановлюються групи з несприятливим поєднанням відчепів, вибирається раціональна швидкість розпуску складу [31], плануються перерви в розпуску. У процесі розпуску в моменти входу відчепів на гальмівні позиції виконується коригування попередніх значень швидкостей виходу відчепа з гальмових позицій у відповідності з ситуацією, що склалася на спускній частині гірки.

3.3 Дослідження впливу різних факторів на умови інтервального регулювання швидкості скочування відчепів

З метою оцінки впливу параметрів відчепів, що скочуються на величину початкового інтервалу виконано серію імітаційних експериментів зі скочування одновагонних та багатоввагонних відчепів з гірки. У якості відгуку було обрано величину початкового інтервалу між відчепами на горбу сортувальної гірки. У якості факторів прийнято:

$l_1(x_1)$ – довжина першого відчепа, м;

$Q_1(x_2)$ – вага першого відчепа, т;

$l_2(x_3)$ – довжина другого відчепа, м;

$Q_2(x_4)$ – вага другого відчепа, т.

Фактори та рівні їх варіювання наведені у табл. 3.3.

На підставі результатів імітаційних експериментів отримані коефіцієнти рівняння:

$$y = 24,565 + 13,761x_1 + 0,43x_2 + 2,615x_3 - 0,43x_4 + 0,131x_1x_2$$

Таблиця 3.3 – Фактори та рівні їх варіювання для дослідження впливу параметрів відчепів на величину початкового інтервалу

Фактори	$x_i = -1$ (нижній рівень)	$x_i = 0$ (основний рівень)	$x_i = 1$ (верхній рівень)
Довжина першого відчепу (x_1), l_1	1	3	5
Вага першого відчепу (x_2), Q_1	22	53,5	85
Довжина другого відчепу (x_3), l_2	1	3	5
Вага другого відчепу (x_4), Q_2	22	53,5	85

Виконано нормування коефіцієнтів та отримано остаточний вигляд моделі:

$$t_0 = 0,33474 + 6,76925l_1 + 0,00745Q_1 + 1,3075l_2 - 0,016365Q_2 + 0,0021l_1Q_1 \quad (3.19)$$

Аналіз коефіцієнтів моделі показує, що основними факторами, що впливають на величину інтервалу є довжини відчепів. Збільшення довжини відчепів, збільшує інтервал між ними на вершині гірки та зменшує ризики нерозділення відчепів на розділових стрілках.

На величину початкового інтервалу впливає також швидкість розпуску составів. При її збільшенні зменшується середнє значення інтервалу на вершині гірки та його середнє квадратичне відхилення (рис. 3.9), при цьому коефіцієнт варіації має постійне значення.

Момент відриву відчепа від состава на вершині гірки та час його скочування до першої гальмової позиції не залежить від обраних режимів гальмування. При зміні швидкості розпуску состава змінюється тривалість скочування до виходу з першої гальмової позиції, далі виконується гальмування на ВГП та СГП для забезпечення заданих швидкостей виходу з гальмових позицій, тобто тривалість скочування відчепів від точки виходу з ВГП до розрахункової точки не залежить від швидкості розпуску состава.

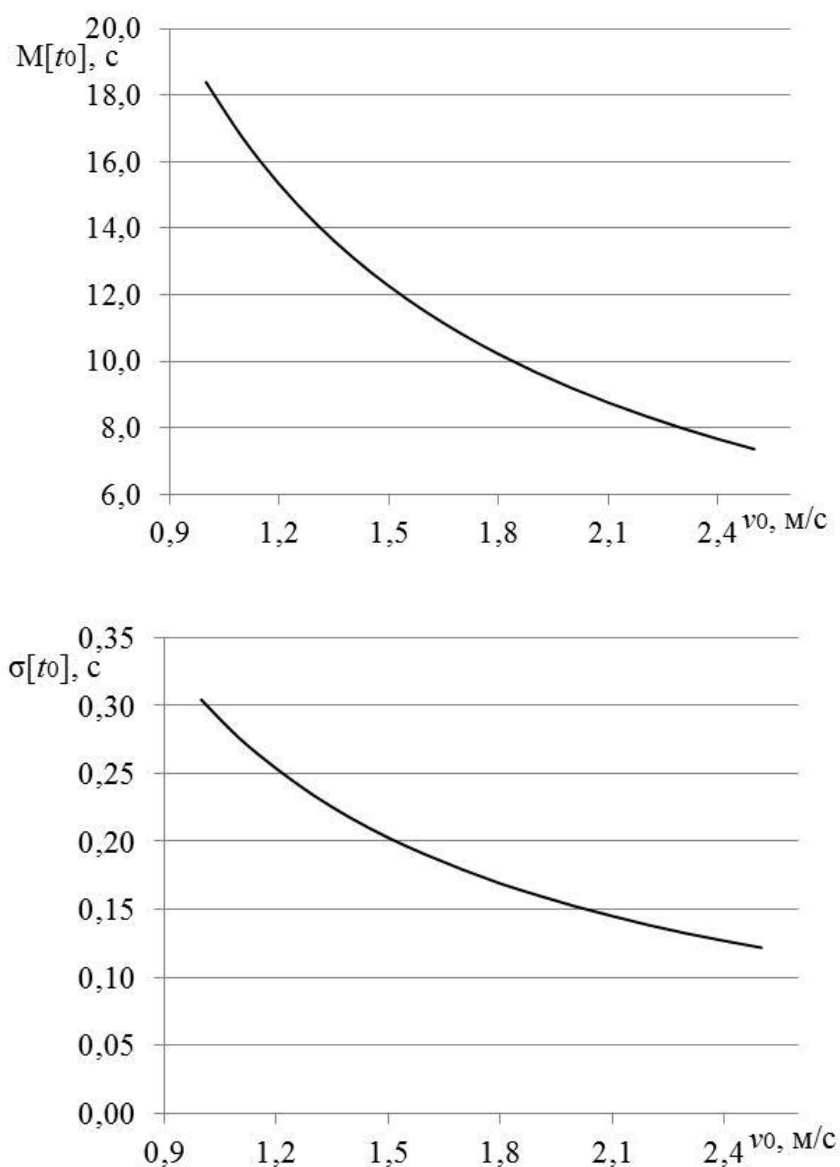


Рисунок 3.9 – Залежності випадкової величини початкового інтервалу та його середнього квадратичного відхилення від швидкості розпуску состава

Виконано дослідження впливу швидкості розпуску состава на тривалість скочування відчепів до моменту виходу з ВГП (рис. 3.10). Для цього виконано моделювання скочування 300 відчепів легкої та важкої вагових категорій при несприятливих умовах скочування.

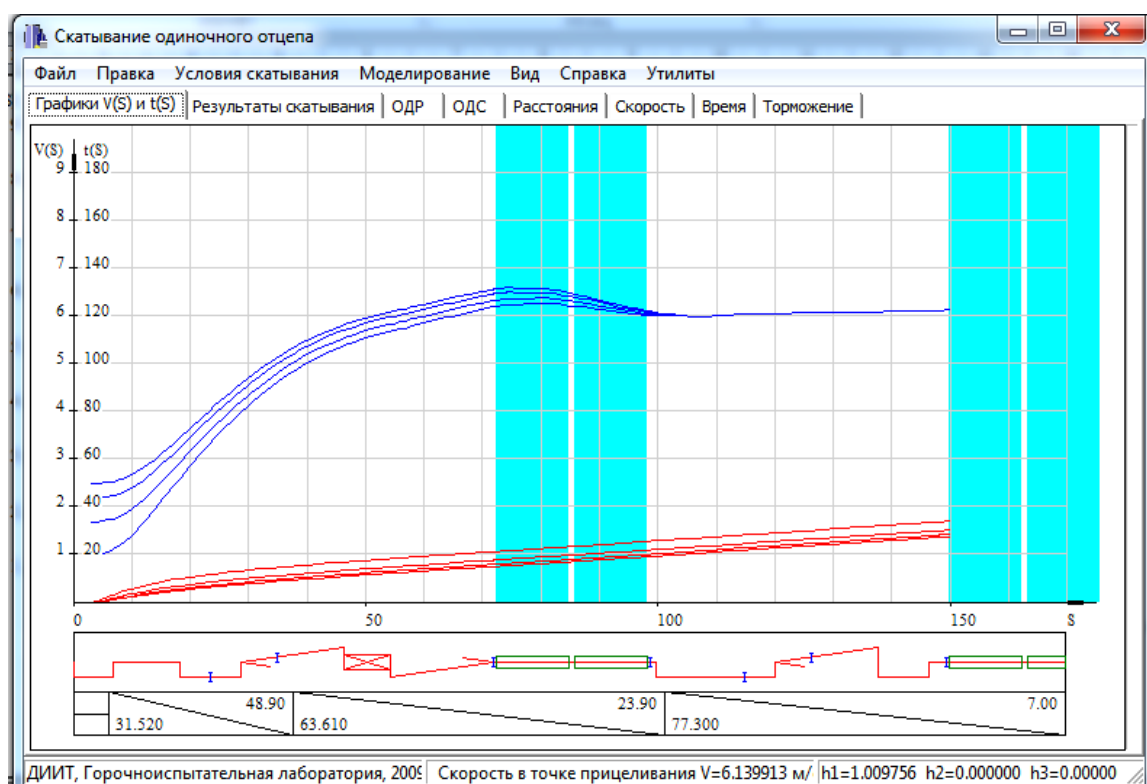


Рисунок 3.10 – Криві швидкості та тривалості скочування відчепа при зміні швидкості розпуску состава

Залежність часу руху відцепів від точки відриву до виходу з уповільнювачів першої гальмової позиції наведена на рис. 3.11.

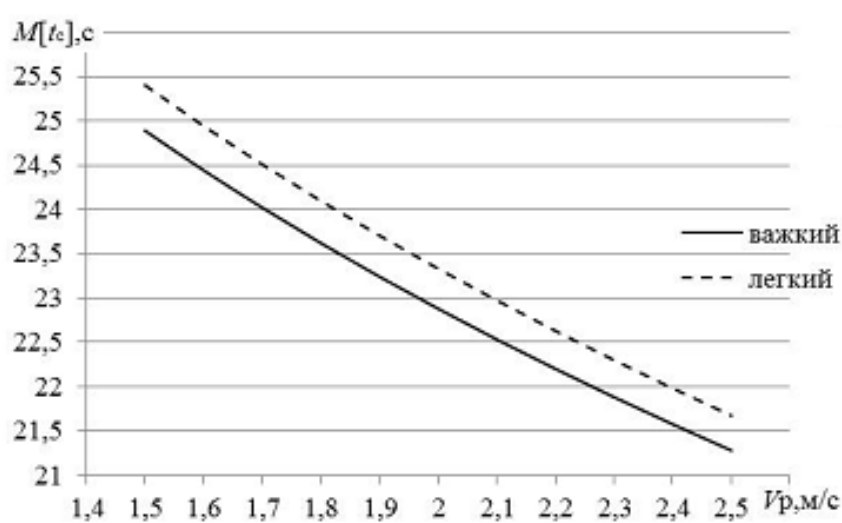


Рисунок 3.11 – Залежності часу руху відцепів між моментом відриву від состава та моментом виходу з першої гальмової позиції від швидкості розпуску состава.

Аналіз отриманих залежностей показує, що для відчепів із однакової кількості вагонів зміна швидкості розпуску несуттєво впливає на різницю часу їх руху від моменту відриву до моменту входу на першу гальмову позицію. Це пояснюється тим, що рух відчепів між точкою відриву та точкою входу на першу гальмову позицію відбувається на швидкісній ділянці зі значним ухилом, на фоні якого різниця у ходових характеристиках відчепів є несуттєвою.

Тривалість скочування відчепів від першої гальмової позиції до розділових елементів визначається переважно роботою гальмових позицій.

Для визначення тривалості скочування відчепа до будь-якої точки при довільній швидкості розпуску складає достатньо знати тривалість скочування відчепа при встановленій швидкості та тривалість скочування при довільній швидкості до виходу з ВГП:

$$t_d = t_{\text{норм}} - (t_{\text{вих ВГП}}^{\text{норм}} - t_{\text{вих ВГП}}^d), \quad (3.20)$$

де $t_{\text{норм}}$ – тривалість скочування до будь-якої точки при встановленій швидкості розпуску;

$t_{\text{вих ВГП}}^{\text{норм}}$ – тривалість скочування до точки виходу з ВГП при встановленій швидкості розпуску;

$t_{\text{вих ВГП}}^d$ – тривалість скочування до точки виходу з ВГП при довільній швидкості розпуску.

У табл. 3.4 наведені результати моделювання та розрахунку тривалості скочування відчепів легкої та важкої вагових категорій до виходу з першої гальмової позиції та до входу на паркову гальмову позицію.

Аналіз таблиці показав, що використання виразу (3.20) дозволяє достатньо точно визначити тривалість скочування відчепів до будь-якої точки маршруту.

Таблиця 3.4 – Результати моделювання та розрахунку тривалості скочування відчепів

Відчеп	Швидкість розпуску, м/с	Час скочування до моменту, с		$t_{\text{вих ВГП}}^{\text{норм}} - t_{\text{вих ВГП}}^{\text{д}}$	Час скочування до моменту входу на ПГП (3.20)	Похибка, %
		Виходу з ВГП	Входу на ПГП			
1	2	3	4	5	6	7
легкий	1,7	24,508	59,366	-	-	-
	1,8	24,097	58,953	0,411	58,955	0,004
	1,9	23,705	58,565	0,803	58,564	0,002
	2,0	23,331	58,182	1,177	58,190	0,013
	2,1	22,974	57,835	1,534	57,833	0,004
	2,2	22,631	57,492	1,877	57,489	0,004
	2,3	22,301	57,153	2,207	57,159	0,010
	2,4	21,983	56,839	2,525	56,841	0,003
	2,5	21,676	56,535	2,832	56,534	0,001
	1,5	25,402	60,262	-0,894	60,260	0,002
важкий	1,6	24,942	59,802	-0,434	59,801	0,002
	1,7	24,021	56,801	-	-	-
	1,8	23,621	56,401	0,399	56,401	0,001
	1,9	23,242	56,022	0,779	56,022	0,001
	2,0	22,880	55,660	1,141	55,660	0,000
	2,1	22,534	55,313	1,487	55,314	0,001
	2,2	22,202	54,982	1,818	54,982	0,001
	2,3	21,884	54,663	2,137	54,664	0,001
	2,4	21,577	54,357	2,443	54,357	0,001
	2,5	21,281	54,061	2,739	54,061	0,001
	1,5	24,890	57,669	-0,869	57,670	0,001
	1,6	24,442	57,222	-0,422	57,223	0,001

3.4 Дослідження впливу швидкості розпуску составів на умови прицільного регулювання швидкості скочування відчепів

Вектор значень $\mathbf{v} = \{v', v''\}$ розглядають як точку на площині; а вся множина точок $\mathbf{v}$ утворює область Ω можливих швидкостей виходу

відчепа з гальмових позицій спускної частини сортувальної гірки. Режими гальмування відчепів, за яких виконуються умови прицільного регулювання швидкості їх скочування та умови забезпечення допустимої швидкості входу на уповільнювачі, утворюють в Ω підобласть Ω_{Π} (рис. 3.12).

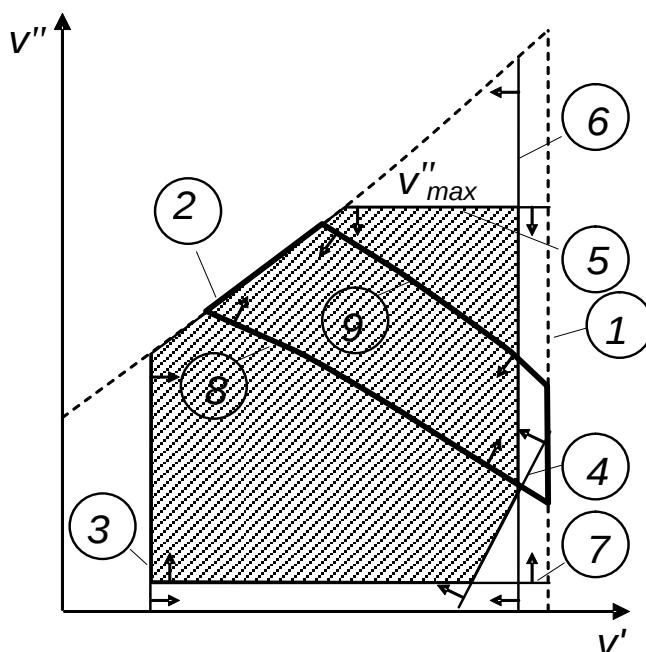


Рисунок 3.12 – Конфігурація області Ω_{Π} допустимих швидкостей виходу відчепа з першої (v') та другої (v'') гальмових позицій, в якій виконуються вимоги прицільного та інтервального регулювання швидкості скочування відчепів

На вибір режимів прицільного гальмування накладаються такі обмеження:

1 – за максимальною швидкістю, що може бути реалізована при виході з ВГП;

2 – за максимальною швидкістю, що може бути реалізована при виході з СГП;

3 – за потужністю першої гальмової позиції;

4 – за потужністю другої гальмової позиції;

5 – за потужністю третьої (паркової) гальмової позиції;

6 – за імовірністю перевищення встановленої швидкості входу відчепа на уповільнювач СГП,

7 – за імовірністю зупинки відчепа в уповільнювачі ПГП.

У області Ω можна виділити область $\Omega_{\text{н}}$, яка складається з множини режимів, що задовольняють умові $r_{\text{н}}(\mathbf{v}) \leq r_{\text{д}}$, $\mathbf{v} \in \Omega_{\text{н}}$ та в межах якої забезпечуються вимоги інтервального регулювання. Перетин областей $\Omega_{\text{п}}$ і $\Omega_{\text{н}}$ являє собою область допустимих режимів скочування відчепів: $\Omega_{\text{д}} = \Omega_{\text{п}} \cup \Omega_{\text{н}}$, в якій забезпечені умови як прицільного так і інтервального гальмування. В якості обмежень області $\Omega_{\text{д}}$ виступають ті самі обмеження, що відзначалися для області $\Omega_{\text{п}}$ та додаються наступні обмеження:

8 – за умови розділення відчепа з наступним відчепом;

9 – за умови розділення відчепа із попереднім відчепом.

Конфігурація областей допустимих режимів скочування відчепів за умовами прицільного регулювання швидкості їх скочування [24] суттєво залежить від ходових характеристик відчепів. Для прикладу на рис. 3.13 наведено конфігурації ОДШ одновагонних відчепів легкої та важкої вагової категорії.

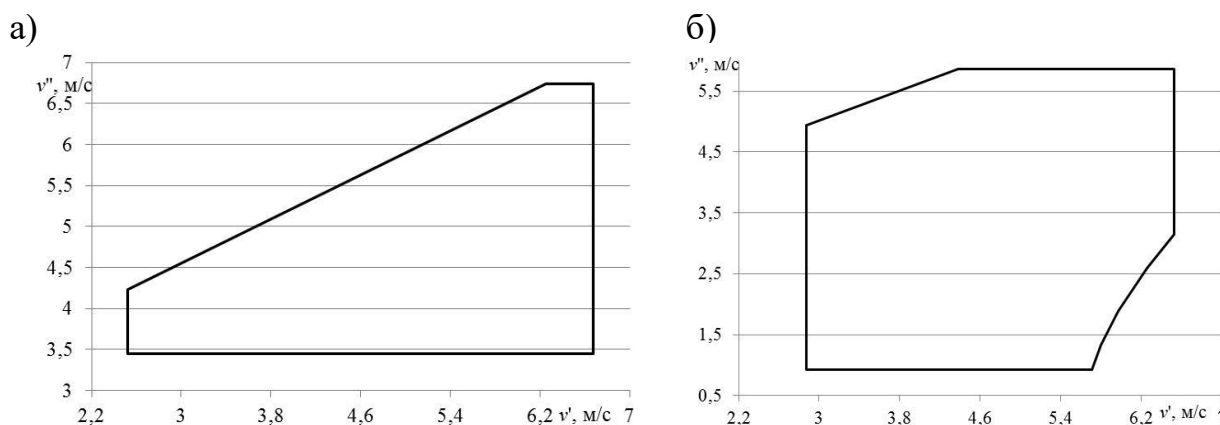
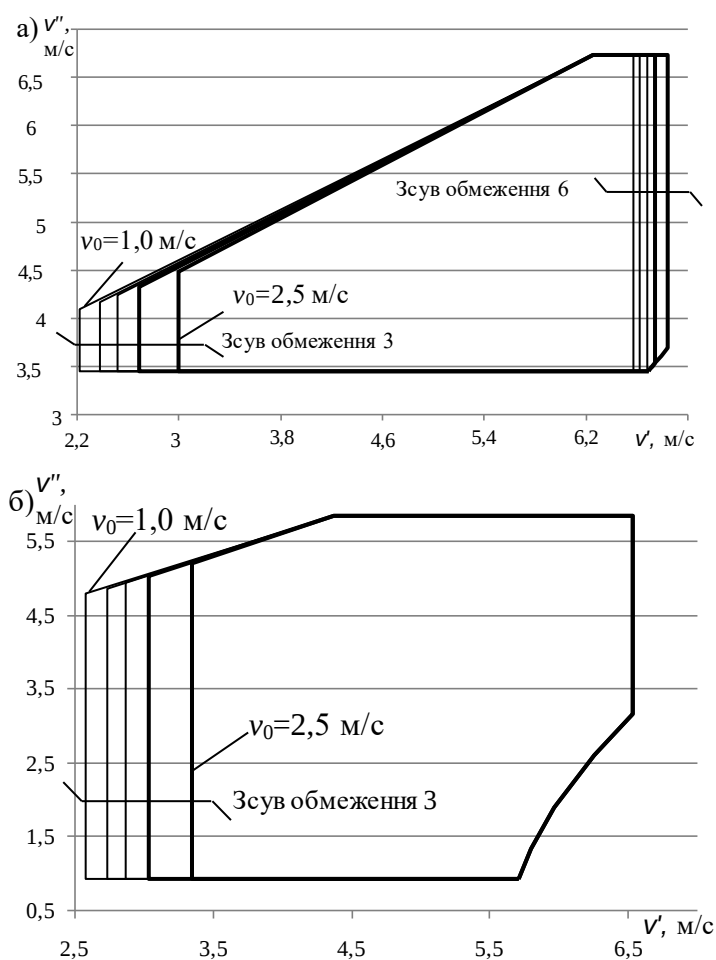


Рисунок 3.13 – Конфігурація ОДШ для одновагонного відчепа

Для встановлення впливу початкової швидкості розпуску на конфі-

гурацію області допустимих швидкостей відчепів різних вагових категорій було проведено ряд експериментів, які показали, що зміна швидкості розпуску впливає на розташування обмежень 3 та 6 [24, 26] (рис. 3.14). Наведено результати досліджень для $v_0 = 1,0; 1,4; 1,7; 2,0; 2,5$ м/с.

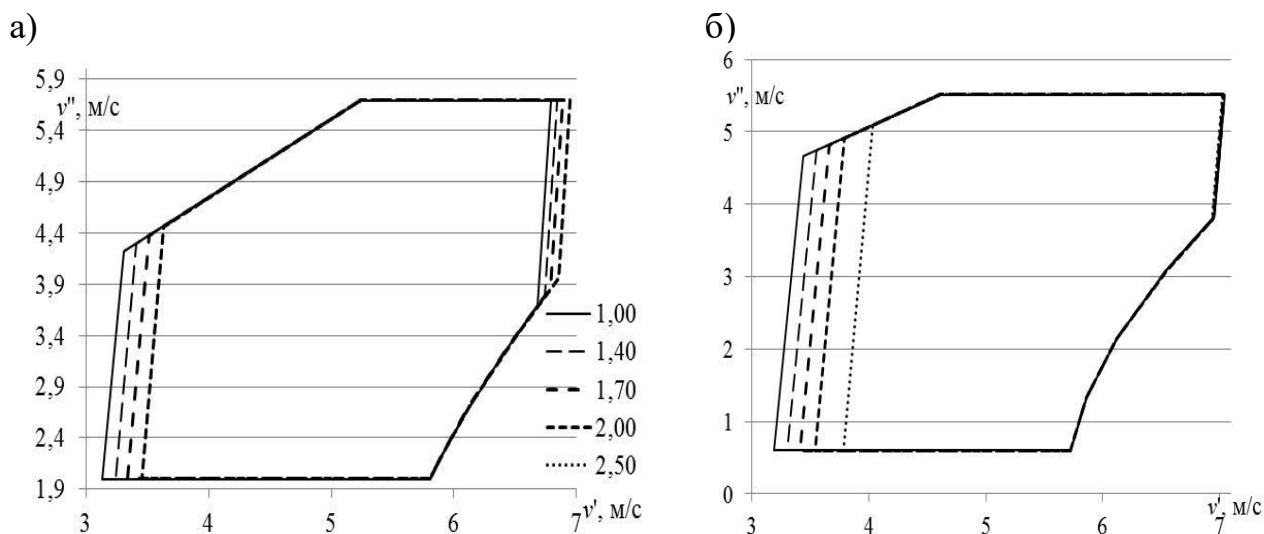


а) – легка вагова категорія; б) – важка вагова категорія

Рисунок 3.14 – Конфігурація області допустимих швидкостей при різних швидкостях розпуску для одновагонного відчепу

Як видно з рис. 3.14, для відчепу важкої вагової категорії положення обмеження 6, що відповідає максимальній швидкості входу на СГП не змінюється, оскільки вже при швидкості розпуску 1 м/с відчеп необхідно загальмувати на ВГП, щоб не перевищити швидкість входу на уповільнювач та забезпечити допустиму швидкість у точці прицілювання.

Аналогічна ситуація спостерігається для відчепів, що складаються з 5 вагонів легкої вагової категорії (рис. 3.15). При зміні швидкості розпуску змінюється положення обмежень 3 та 6.



а) – легка вагова категорія; б) – важка вагова категорія

Рисунок 3.15 – Конфігурація області допустимих швидкостей при різних швидкостях розпуску для відчепу з 5 вагонів

При збільшенні швидкості розпуску відчепу, що складається з 2 вагонів легкої вагової категорії, відбуваються зміни області допустимих швидкостей, характерні для відчепів важкої вагової категорії (рис. 3.16).

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що зміна швидкості розпуску відчепів суттєво впливає на розміри області допустимих швидкостей, а саме зменшує її площу.

Причиною таких змін (положення обмеження 5 не змінюється) є те, що відчеп набирає достатньо високу швидкість і виникає необхідність його гальмування на СГП. Для відчепів, що складаються з 3 та 4 вагонів легкої вагової категорії, це відбувається при швидкості розпуску 1,7 м/с та більше (рис. 3.17).

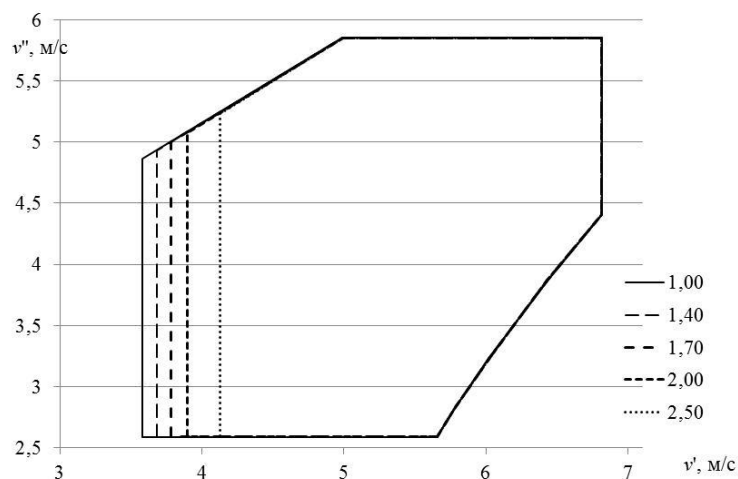


Рисунок 3.16 – Конфігурація області допустимих швидкостей при різних швидкостях розпуску для відчепу з 2 вагонів легкої вагової категорії

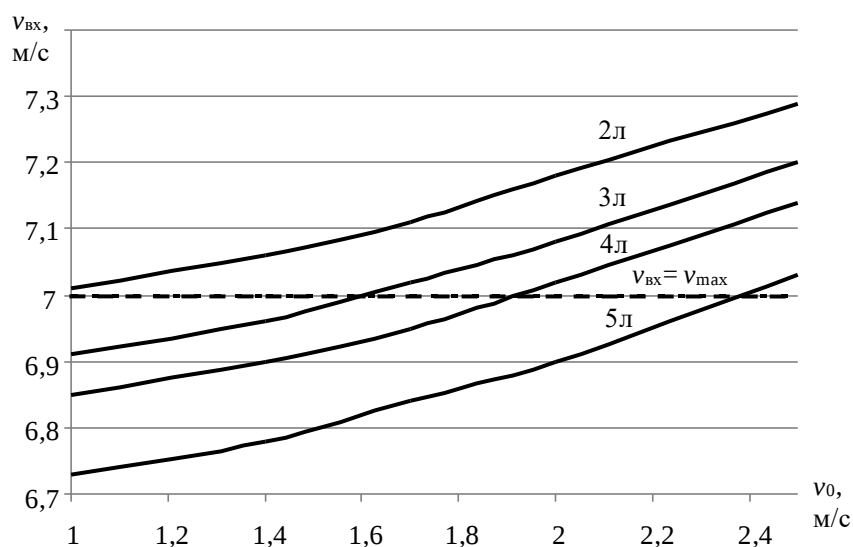
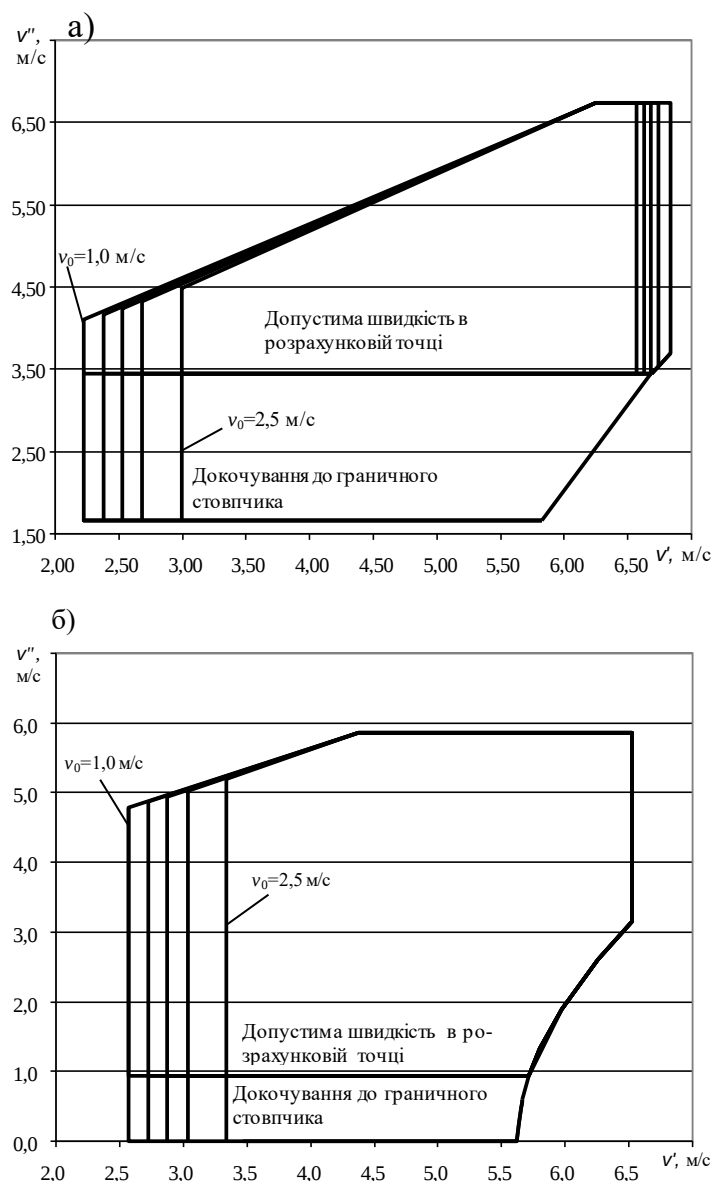


Рисунок 3.17 – Залежність швидкості входу відчепів на СГП від швидкості розпуску составу (без гальмування на ВГП)

Зменшення ОДШ за рахунок зміни положення 3 не погіршить умови розділення відчепів на розрахункових стрілках, оскільки на ділянці ОДШ, яка змінюється, оптимальні режими гальмування майже не знаходяться. В свою чергу зміна положення 6 може значно покращити умови розділення відчепів, оскільки при $\sigma_1 > \sigma_2$ (перша стрілка розташована на більшій відстані від вершини гірки), оптимальні режими знаходяться саме

на цьому обмеженні.

Для збільшення площі ОДШ було дещо змінено обмеження та умови скочування. За умови заочування відчепу за граничний стовпчик останнього стрілочного перевалу (координата точки прицілювання зменшена на 110 м) ОДШ однавагонного відчепу має наступний вигляд (рис. 3.18).



а) – легка вагова категорія; б) – важка вагова категорія

Рисунок 3.18 – Конфігурація ОДШ при різних швидкостях розпуску для однавагонного відчепу за умови їх докочування до граничного стовпчика

В разі необхідності збільшення площі ОДШ, досягти цього можна за рахунок зміни положення обмеження 7. При цьому збільшиться величина вікон у сортувальному парку, бо відчепа закочуватимуться лише за граничний стовпчик.

Вимоги інтервального регулювання швидкості скочування відчепів накладають обмеження 8 та 9, які відповідають максимально допустимого ризику нерозділення відчепа, відповідно з попереднім і наступним на розділових елементах. У цілому обмеження 1, 2 та 8, 9 виділяють область швидкостей виходу відчепів із гальмових позицій, в якій забезпечуються вимоги інтервального регулювання $\Omega_{\text{н}}$.

Область допустимих режимів гальмування $\Omega_{\text{д}}$ являє собою перетин областей $\Omega_{\text{п}}$ та $\Omega_{\text{н}}$: $\Omega_{\text{д}} = \Omega_{\text{п}} \cup \Omega_{\text{н}}$. Дослідження залежностей показників регулювання швидкості скочування відчепів від режимів гальмування показує, що оптимальні режими гальмування з області $\Omega_{\text{д}}$, як правило, розміщуються на обмеженнях області $\Omega_{\text{н}}$ [56]. При цьому, якщо $\sigma_1 > \sigma_2$ (стрілка розділення у першій парі відчепів розташована далі за маршрутом скочування ніж у другій) оптимальні режими знаходяться на обмеженнях 7, 4 і 6, а якщо $\sigma_1 < \sigma_2$ (стрілка розділення у першій парі відчепів розташована ближче за маршрутом скочування ніж у другій) оптимальні режими знаходяться на обмеженнях 3, 5 і 2.

Підвищення швидкості розпуску для цих відчепів дозволяє дещо збільшити швидкість їх входу на СГП і змістити обмеження 6 праворуч без перевищення допустимої величини.

На підставі аналізу отриманих результатів, можна зробити висновок, що збільшення швидкості розпуску відчепів суттєво впливає на розміри області $\Omega_{\text{п}}$, зменшуючи її площу. У той же час зменшення $\Omega_{\text{п}}$ за ра-

хунок зміни положення обмеження 3 не суттєво погіршує умови розділення відчепів на розрахункових стрілках, оскільки на обмеженні 3 знаходиться не більше 20 % оптимальних режимів гальмування [46]. Також зміна положення цього обмеження не суттєво впливає на умови прицільного регулювання швидкості скочування оскільки у його межах паркова гальмова позиція не працює в граничних режимах. У свою чергу, зміна положення обмеження 6 може значно поліпшити умови поділу відчепів з одновагонними відчепами легкій ваговій категорії, бо при $\sigma_1 > \sigma_2$ оптимальні режими знаходяться саме на цьому обмеженні. Для отримання більш повного ефекту доцільно обладнати другу гальмівну позицію гальмівними уповільнювачами, які допускають більш високі швидкості входу відчепів, що дозволить збільшити площу Ω_n .

Необхідно відзначити, що в попередніх дослідженнях побудова областей допустимих режимів гальмування виконувалося при постійній швидкості розпуску [80]. Дослідження впливу швидкості розпуску на конфігурацію області допустимих режимів гальмування відчепів дозволить оцінити напрями удосконалення конструкції сортувальних гірок для підвищення їх переробної спроможності.

3.5 Удосконалення методів вибору режимів гальмування відчепів в умовах зміни швидкості розпуску відчепів

При зміні швидкості розпуску составів змінюються умови розділення відчепів на розділових елементах. Для оцінки її впливу виконано моделювання розпуску составів при різній швидкості розпуску та різній точності реалізації швидкостей виходу відчепу з гальмових позицій. Приклад состава наведений в додатку Г. Залежність ризику нерозділення відчепів состава від швидкості розпуску при різній точності реалізації швидкості

виходу відчепів із гальмових позицій наведена на рис. 3.19.

Найбільша кількість нерозділень відчепів виникає на стрілці 5, що розташована на найбільшій відстані від вершини гірки. На рис. 3.20 зображені залежності ризиків нерозділення відчепів у сполученні з двох одинагонних відчепів важкої вагової категорії на 5-й розділовій стрілці від швидкості розпуску состава при різній точності роботи гальмових позицій, що характеризуються середнім квадратичним відхиленням фактичної швидкості виходу відчепів з уповільнювачів від заданої $\sigma_{\text{гп}}$.

Аналіз отриманих залежностей показує, що швидкість розпуску суттєво впливає на ризики нерозділення відчепів і, відповідно, на обсяг додаткової роботи з ліквідації їх наслідків.

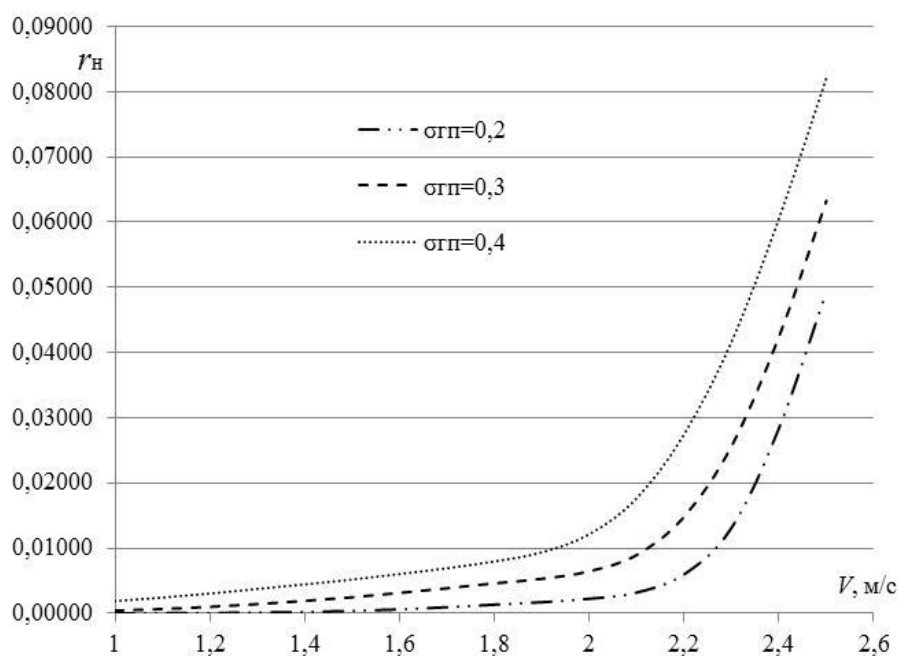


Рисунок 3.19 – Залежності ймовірності нерозділення відчепів на стрілочних позиціях від швидкості розпуску состава

В разі достатньо високій точності реалізації швидкостей виходу відчепів із гальмових позицій ($\sigma_{\text{гп}} = 0,2$ м/с) ризик нерозділення відчепів не перевищуватиме допустиму величину 0,05 [73].

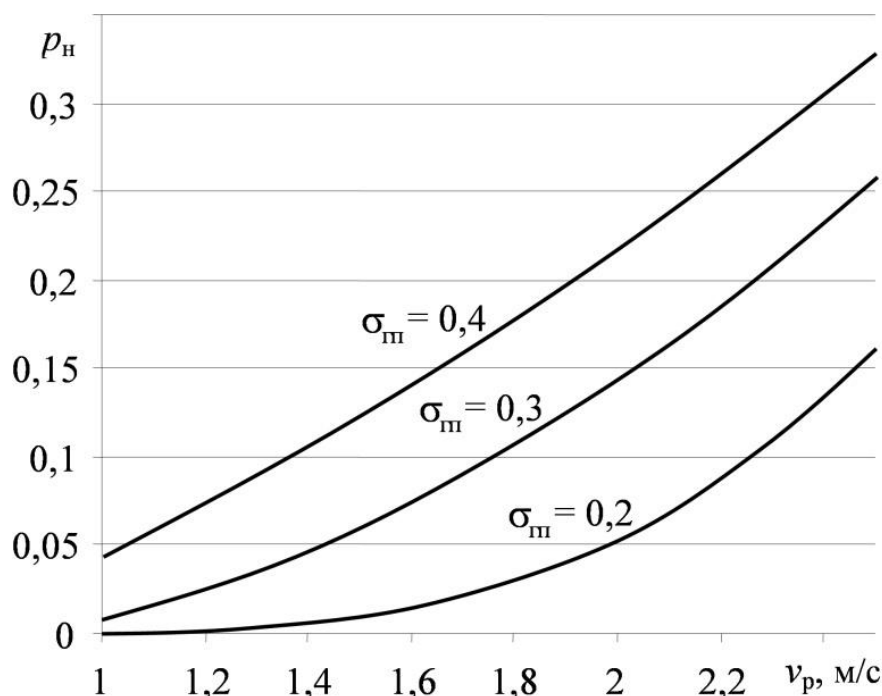


Рисунок 3.20 – Залежності ризику нерозділення відчепів на 5 стрілці від швидкості розпуску состава

Виконані дослідження показали, що швидкість розпуску надає несуттєвий вплив на величину $M[t_{i+1}] - M[\tau_i]$, а також на дисперсії випадкових величин часу скочування відчепа від моменту відриву до моментів заняття та звільнення розділових елементів, у порівнянні з впливом режимів роботи гальмових позицій.

Швидкість розпуску суттєво впливає на величину початкового інтервалу на вершині гірки. У цілому збільшення швидкості розпуску призводить до звуження області Ω_n . При цьому, зміна величини ризику нерозділення відчепів пов'язана насамперед зі зміною початкового інтервалу на вершині гірки і може визначатися за формулою

$$r_n = \sum_{i=1}^{n-1} \Phi \left(\frac{t_{0i}(v_0) - t_{pe} - M[\tau_i^*] + M[t_{i+1}^*]}{\sqrt{D[\tau_i^*] + D[t_{i+1}^*]}} \right) \quad (3.21)$$

де $t_{0i}(v_0)$ – величина початкового інтервалу на вершині гірки в за-

лежності від швидкості розпуску;

t_{pe} – мінімальний допустимий інтервал на розділовому елементі;

$M[\tau_i^*], M[t_i^*]$ – відповідно, математичні сподівання випадкової величини часу скочування відчепа від моменту відриву до моментів заняття та звільнення розділових елементів при нормативній швидкості розпуску та відповідному їй оптимальному режимі гальмування;

$D[\tau_i^*], D[t_i^*]$ – відповідно, дисперсія випадкової величини часу скочування відчепа від моменту відриву до моментів заняття та звільнення розділових елементів при нормативній швидкості розпуску та відповідному їй оптимальному режимі гальмування.

3.6 Висновки за розділом 3

Виконані дослідження дозволяють зробити висновок, що початкова швидкість розпуску впливає, в основному, тільки на величину початкового інтервалу між відчепами на вершині гірки.

Запропоновано вираз для оцінки впливу швидкості розпуску на ризик нерозділення відчепів. Вплив початкової швидкості розпуску на умови прицільного регулювання швидкості скочування відчепів є незначним. У цілому виконані дослідження дозволяють отримувати оцінку впливу швидкості розпуску на сортувальний процес за допомогою аналітичних виразів, а не імітаційного моделювання, що істотно спрощує процедуру аналізу

У цілому завдання управління швидкістю скочування відчепів складається з вирішуваних поетапно: встановлюються групи з несприятливим поєднанням відчепів, обирається раціональна швидкість розпуску склада, плануються перерви в розпуску, в процесі розпуску в моменти входу відчепів на гальмівні позиції здійснюється коригування по-

передніх значень швидкостей виходу відчепа із гальмових позицій у відповідності з ситуацією, що склалася на спускній частині гірки.

Оскільки момент відриву відчепа від состава на вершині гірки та час його скочування до першої гальмової позиції не залежить від обраних режимів гальмування, а тривалість скочування відчепів від першої гальмової позиції до розділових елементів визначається переважно роботою гальмових позицій, то можна суттєво скоротити обсяги моделювання скочування составів, замінивши його аналітичним розрахунком.

РОЗДІЛ 4

ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕРОБНОЇ СПРОМОЖНОСТІ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК

4.1 Аналіз факторів, що впливають на переробну спроможність сортувальних комплексів

Відповідно до [43] переробна спроможність станцій визначається найбільш імовірною кількістю вантажних поїздів (вагонів), які можуть бути перероблені станцією за добу в разі застосування прогресивних технологій з найкращим використанням колійного розвитку та технічного оснащення. При цьому переробна спроможність станцій, що мають сортувальну гірку, визначається як сума переробної спроможності сортувальних систем та витяжних колій, на яких здійснюється розформування – формування поїздів.

Відповідно до [29] сортувальна гірка являє собою інженерну споруду зі штучним підвищенням ділянки залізничної колії для сортування вагонів із використанням сили тяжіння на ухилі.

Форсування розформування составів може здійснюватись за рахунок перерозподілу роботи між основним та додатковими сортувальними пристроями, а саме перенесення на них виконання операцій із закінчення формування та ліквідації «вікон» на сортувальних коліях. І, нарешті, на сортувальних гірках із двома коліями насуву у короткі періоди часу може бути реалізовано режим паралельного розпуску составів. При цьому різко збільшується собівартість переробки вагонів через необхідність їх повторної переробки, однак є можливість швидкого звільнення колій парку прибуття для прийому нових поїздів. Існуючі сортувальні станції Придніпровської залізниці мають по одній колії насуву.

Досягти підвищення переробної спроможності сортувальної гірки можливо не лише за рахунок підвищення швидкості розпуску составів, а і за рахунок збільшення кількості локомотивів, перерозподілу роботи між маневровими районами сортувального парку та ін. У зв'язку з цим пропонується застосовувати показник «переробна спроможність сортувального комплексу». При цьому, інфраструктура сортувального комплексу розглядається як постійна величина, а його технічне забезпечення та технологія можуть змінюватись. Для ілюстрації змісту цього показника виконано оцінку переробної спроможності сортувальних комплексів станції Нижньодніпровськ-Вузол у різних умовах.

Можливі варіанти організації сортувальної роботи відрізняються кількістю маневрових локомотивів, що працюють на гірці. В разі роботи одного локомотива гірковий цикл являє собою суму тривалості виконання всіх операцій, при роботі двох локомотивів можливе паралельне виконання деяких операцій. При певній конструкції вихідної горловини парку приймання та гіркової горловини сортувального парку можливий паралельний розпуск составів, за умови виконання всіх необхідних вимог [27]. Наприклад, застосування другого гіркового локомотива для виконання паралельного заїзду та насуву составів дозволяє скоротити тривалість гіркового інтервалу на 12 % за умови виконання формування составів на гірці (під час виконання осаджування розпуск составів не виконують), та на 17 % – при формуванні составів в вихідній горловині сортувального парку. Можливість виконання паралельного розпуску призведе до більшого скорочення цього значення.

Переробна спроможність сортувальних гірок основних технічних станцій Придніпровської залізниці для різних умов їх функціонування наведена у табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Переробна спроможність при різних варіантах розподілу роботи між маневровими районами сортувального парку.

Станція	Оснащення і технологія роботи					№ варі- анту	
	Кількість локомотивів	Закінчення формування	Ліквідація «вікон»	Режим розпуску	Переробна спроможність		
НД-Вузол, непарна система	1/2	Основна гірка	Осаджування	Послідовний / Частково паралельний	2441/2898	1/4	
		Додатковий СП			Підтягування	2751/3280	2/5
						3081/3804	3/6
НД-Вузол, парна система		Основна гірка	Осаджування		2686/2993	1/4	
		Додатковий СП			Підтягування	3048/3405	2/5
						3496/3997	3/6
Кри- вий Ріг– Сортува- льний		Основна гірка	Осаджування		2204/3069	1/4	
		Додатковий СП			Підтягування	2519/3513	2/5
						2892/4297	3/6
Запоріж- жя–Ліве		Основна гірка	Осаджування		2798/3780	1/4	
		Додатковий СП			Підтягування	3179/4323	2/5
						3722/5400	3/6
Джанкой		Основна гірка	Осаджування		2301/3496	1/4	
		Додатковий СП			Підтягування	2548/3899	2/5
						2835/4736	3/6
Верхівцеве		Основна гірка	Осаджування		2704/3912	1/4	
		Додатковий СП			Підтягування	3009/4379	2/5
						3394/5364	3/6

Виконання закінчення формування на витяжних коліях вихідної горловини сортувального парку та звільнення гіркового локомотиву від осаджування вагонів дозволить збільшити переробну спроможність непарної системи станції НД–Вузол при 1 гірковому локомотиві на 26 %. Такий самий перерозподіл роботи при 2-х гіркових локомотивах збільшить переробну спроможність на 31 %

Існуючі методики визначення переробної спроможності сортувальних гірок не встановлюють взаємозв'язки між технічним забезпеченням гірки та її переробною спроможністю. Підвищення швидкості розпуску составів дозволяє скоротити гірковий технологічний інтервал, тим самим

збільшивши переробну спроможність, але викликає збільшення кількості нерозділень відчепів, та збільшення середньої швидкості співударяння вагонів.

4.2 Визначення переробної спроможності сортувального комплексу

Для кожного варіанту організації роботи сортувального комплексу оцінку його переробної спроможності пропонується здійснювати за допомогою виразу, у якому тривалість гіркового технологічного інтервалу t_r , та коефіцієнт, що враховує повторне сортування вагонів $\alpha_{\text{повт}}$, розглядаються як функції, що залежать від швидкості розпуску v_p [51]

$$N = \max_{v_{p,\min} \leq v_{p,i} \leq v_{p,\max}} \left[\frac{\alpha_n \alpha_{\text{повт}} (v_{p,i}) (1440 - \sum T_{\text{пер}}^r)}{t_r(v_{p,i})} \right] m_c, \quad (4.1)$$

де α_n – коефіцієнт, який враховує відмови технічних засобів;

$v_{p,\min}$, $v_{p,\max}$ – відповідно, мінімально та максимально допустимі швидкості розпуску состава;

$\sum T_{\text{пер}}^r$ – загальна тривалість перерв у роботі сортувальної гірки, що виникають через ворожість маршрутів, забезпечення технічного обслуговування гіркових пристроїв, виконання операцій з вагонами, що заборонені до розпуску з гірки й т.ін.

Тривалість гіркового технологічного інтервалу визначається як

$$t_r = \frac{m_c \bar{l}_B}{60 v_p} + a, \quad (4.2)$$

де $\bar{l}_B$ – середня довжина вагона, м;

a – середня тривалість додаткових операцій гіркового циклу, що припадає на розформування одного состава, хв.

При цьому, величина $v_{p,min}$ визначається з умови докочування поганого (дуже поганого) бігуна до розрахункової точки; величина $v_{p,max}$ визначається за умов забезпечення безпечного розчеплення вагонів, допустимої швидкості входу відчепів на уповільнювачі, та підходу відчепів до вагонів, що перебувають на сортувальних коліях. Функціональні залежності $t_r(v_p)$, та $a_{повт}(v_p)$ можуть бути визначені на підставі імітаційного моделювання процесу розформування-формування составів поїздів на сортувальній гірці. При цьому до складу імітаційної моделі входять моделі розформування составів поїздів та накопичення вагонів на сортувальних коліях.

Обсяг роботи з ліквідації наслідків нерозділення відчепів визначається за допомогою моделі накопичення вагонів у сортувальному парку [12]. У цій моделі кожній сортувальній колії у відповідність поставлено список призначень вагонів, які на ній перебувають. Після моделювання кожного розпуску состава здійснюється розподіл його вагонів між сортувальними коліями з урахуванням нерозділень відчепів.

Повторне сортування вагонів на сортувальній колії моделюється у випадку наявності на ній вагонів інших призначень та необхідності формування поїздів з цими вагонами чи недостатності корисної довжини колії для подальшого накопичення составів.

Отримані залежності переробної спроможності для сортувальної гірки великої потужності наведено на рис. 4.1.

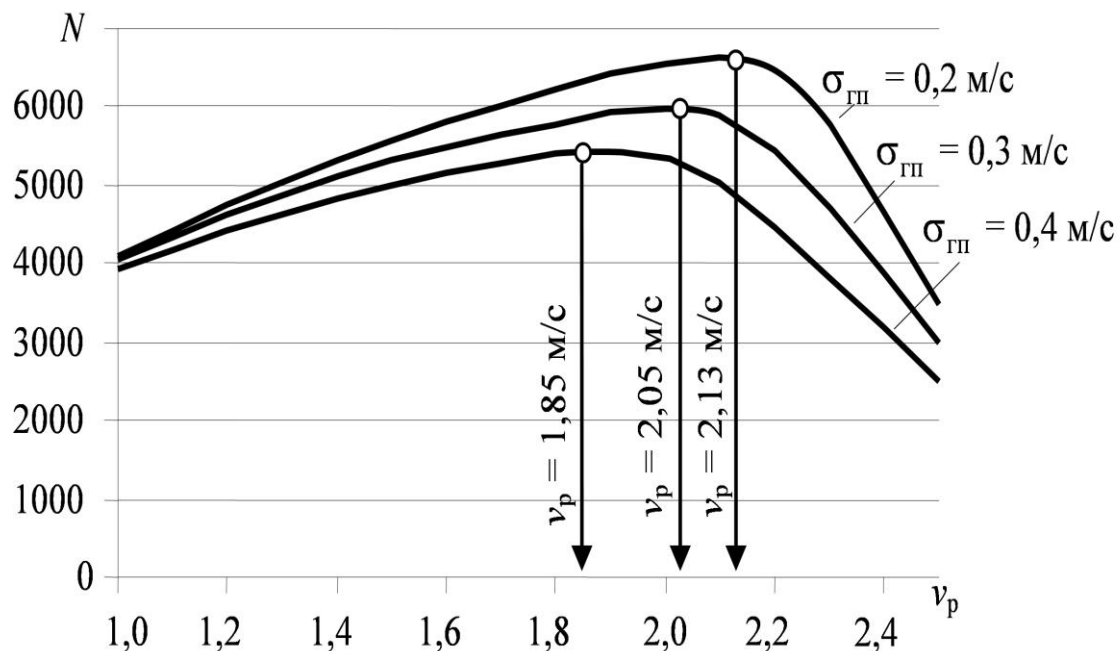


Рисунок 4.1 – Залежності переробної спроможності гірки від швидкості розпуску составів

Аналіз отриманих залежностей показує, що вони мають екстремальну форму. Максимальна переробна спроможність сортувальної гірки досягається при швидкості розпуску 1,85-2,13 м/с залежно від точності реалізації гальмовими позиціями заданих швидкостей виходу відчепів з уповільнювачів, що є однією з характеристик якості технічного забезпечення сортувального процесу.

Основною технічною характеристикою, що визначає потенціальну продуктивність сортувальної гірки як пристрою, пропонується застосовувати термін технічна швидкість розпуску составів, що визначається як швидкість розпуску при якій сортувальна гірка забезпечує максимальний темп розформування составів розрахункового вагонопотоку з урахуванням витрат часу на ліквідацію наслідків направлення вагонів на колії не за призначенням та при виконанні вимог безпеки руху. Також для сортувальних гірок доцільно встановлювати мінімально та максимально допустимі швидкості розпуску. Як правило, мінімальна швидкість розпуску ви-

значається умовами докочування відчепів до розрахункової точки, а максимальна – роботою системи розчеплення вагонів [51].

Мінімальна, максимальна та технічна швидкість розпуску составів на гірці є конструкційними показниками, визначається при її проектуванні і не суттєво залежить від технології роботи та технічного оснащення сортувальних комплексів. Коригування швидкостей розпуску повинно здійснюватись після стабілізації структури вагонопотоку, який надходить у розформування, при її значній зміні під час експлуатації, або при значній зміні інфраструктури гірки чи її стану. Введення такого показника дозволить враховувати технічне оснащення конкретної гірки при визначенні переробної спроможності станції, а не використовувати узагальнені значення із [61].

При перерозподілі роботи локомотиви вихідної горловини (ВФ) сортувального парку можуть виконувати підтягування вагонів та завершення формування. Тривалість очікування завершення формування

$$t_{\text{оч}}^{\text{зф}} = \frac{\psi_{\text{ман}} (\vartheta_{\text{н}}^2 + \vartheta_{\text{зф}}^2)}{2(1 - \psi_{\text{ман}})} t_{\text{зф}}, \quad (4.3)$$

де $\psi_{\text{ман}}$ – коефіцієнт завантаження маневрового локомотиву;

$t_{\text{зф}}$ – тривалість завершення формування составу в вихідній горловині сортувального парку;

$\vartheta_{\text{н}}$ – коефіцієнт варіації інтервалів між моментами завершення накопичення составів;

$\vartheta_{\text{зф}}$ – коефіцієнт варіації тривалості формування.

Тривалість очікування розпуску на коліях парку приймання залежить від завантаження сортувальної гірки та визначається за формулою

$$t_{\text{оч}}^p = \frac{\psi_{\text{гip}}(\vartheta_{\text{вих}}^2 + \vartheta_{\text{гip}}^2)}{2(1 - \psi_{\text{гip}})} t_{\text{гip}}, \quad (4.4)$$

де $\psi_{\text{гip}}$ – коефіцієнт завантаження сортувальної гірки;

$\vartheta_{\text{вих}}$ – коефіцієнт варіації інтервалів між моментами готовності составів до розпуску;

$\vartheta_{\text{гip}}$ – коефіцієнт варіації гіркового технологічного інтервалу.

Завантаження гірки та гіркових локомотивів роботою із завершення формування та осаджування збільшує тривалість простою вагонів у парку приймання в очікуванні розформування, але в той самий час звільняє маневрові локомотиви вихідної горловини парку і скорочує тривалість простоїв в сподівання формування. Таким чином виникає задача пошуку оптимального розподілу роботи між сортувальною гіркою та маневровими локомотивами. У загальному вигляді витрати, пов'язані з перерозподілом роботи, за методикою, що наведена в [98], можна визначити

$$E = e_{\text{вг}} \sum Nt + C_{\text{ман}} M_{\text{ман}}, \quad (4.5)$$

де $e_{\text{вг}}$ – витратна ставка на 1 вагоно-годину простою на станції;

$\sum Nt$ – вагоно-години простою вагонів в очікуванні розформування - формування;

$C_{\text{ман}}$ – приведена вартість роботи 1 маневрового локомотива за добу;

$M_{\text{ман}}$ – кількість маневрових локомотивів.

Вагоно-години простою вагонів залежать від кількості вагонів у составі, тобто:

$$Nt = f(m, \psi_{\text{гip}}, \psi_{\text{ман}}), \quad (4.6)$$

де $\psi_{\text{гip}}$ — завантаження гірки, що залежить від обраної технології роботи;

$\psi_{\text{ман}}$ — завантаження маневрового локомотива, що працює у вихідній горловині сортувального парку, яке залежить від обраної технології.

На рис. 4.2 наведено графіки залежностей добових витрат від обраної технології розформування - формування составів (див. табл. 4.1) за умови роботи 2 локомотивів у вихідній горловині сортувального парку.

За умови забезпечення допустимого рівня завантаження об'єктів (гірки та маневрових локомотивів) досягти максимального значення переробної спроможності, отриманого за розрахунковими формулами, можливо лише для одного варіанта розподілу роботи: на гірці та у вихідній горловині працює по 2 маневрових локомотиви, гірковий локомотив виконує осаджування вагонів, а формування составів виконується у вихідній горловині сортувального парку.

За даними досліджень можна зробити висновок, що при потужності вагонопотоку у розформування до 1460 вагонів доцільно застосовувати варіант розподілу роботи № 1, де всю роботу з розформування - формування составів виконує гірковий локомотив. При зростанні вагонопотоку до 2680 вагонів раціональним буде виконання формування составів локомотивом вихідної горловини та ліквідація «вікон» за допомогою підтягування, гірковий локомотив виконує лише розформування составів, при зростанні вагонопотоку раціональне застосування при розформуванні 2 гіркових локомотивів, а локомотиви вихідної горловини виконують підтягування та формування составів.

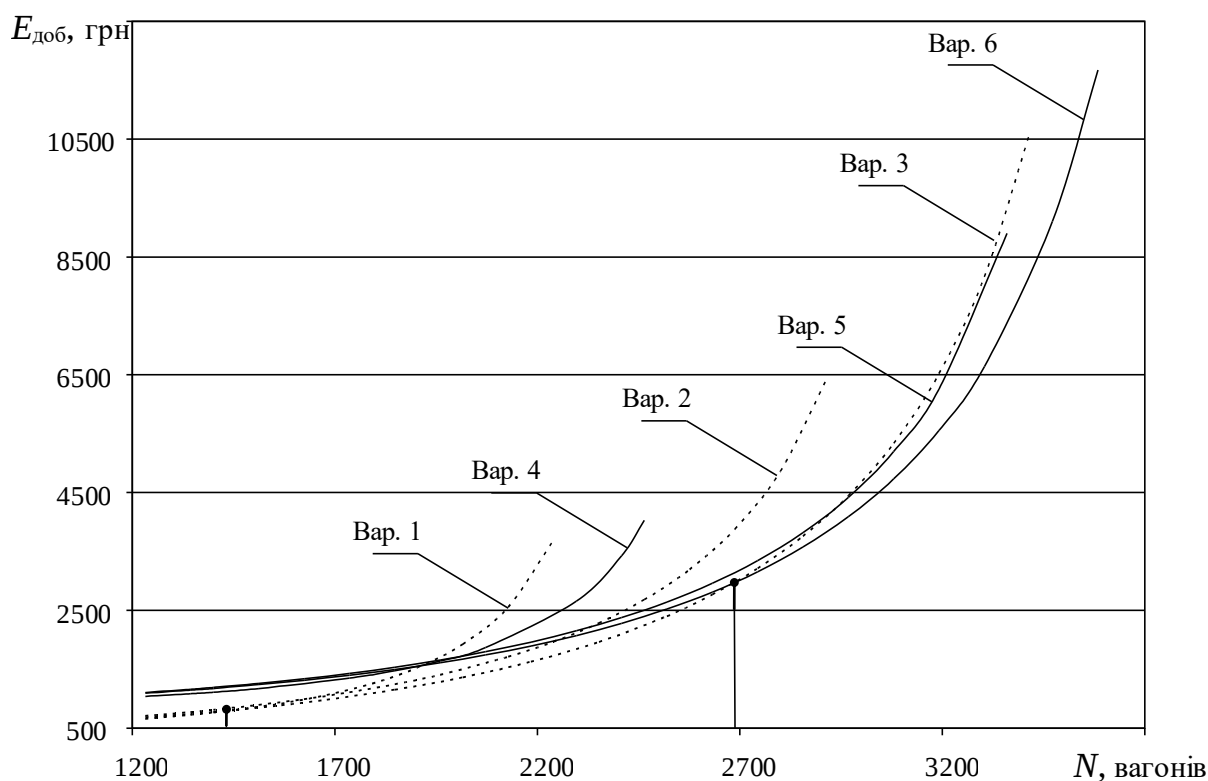


Рисунок 4.2 – Залежність добових витрат від перерозподілу роботи між маневровими районами

Аналіз рис. 4.2 показує, що існує нелінійний зв'язок між переробною спроможністю сортувального комплексу та експлуатаційними витратами на переробку одного вагона. При цьому раціональною є лише частина можливих варіантів технічного оснащення сортувального комплексу. Взаємозв'язок між технічним оснащенням сортувальних комплексів станції Нижньодніпровськ-Вузол та їх переробною спроможністю наведено у табл. 4.2.

Таким чином, у якості технічної переробної спроможності сортувального комплексу пропонується розуміти максимальну кількість вагонів, що може бути ним перероблена протягом доби, при перевищенні якої доцільним є вживання організаційно-технічних заходів з нарощування пропускної спроможності. Під максимальною переробною спроможністю пропонується розуміти максимальну кількість вагонів, що може бути пе-

пероблена сортувальним комплексом при певному технічному оснащенні та технології. Включення відповідних таблиць до технологічних процесів роботи залізничних станцій дозволить більш повно характеризувати їх сортувальні комплекси та оцінити умови ефективності їх роботи в різних умовах і необхідність вживання організаційно-технічних заходів по збільшенню переробної спроможності.

Таблиця 4.2 – Переробна спроможність сортувального комплексу станції НД–Вузол

		НД-Вузол парна система		НД-Вузол непарна система	
Кількість локомотивів	гірка	1	2	1	2
	ВФ	2		2	
Ліквідація «вікон»		гірка	ВФ		ВФ
Закінчення формування		гірка	ВФ		ВФ
Технічна переробна спроможність		1460	2680	3584	2140 3640
Максимальна переробна спроможність		2240	3416	3584	2912 3640

Також рис. 4.2 дозволяє оцінити можливість адаптації сортувальної гірки до зміни обсягів роботи. Зокрема, автоматизовані сортувальні гірки з високою вартістю інфраструктури можуть бути неефективні в умовах коливання вагонопотоків оскільки вони мають значні постійні витрати на експлуатацію, що не залежать від обсягів роботи.

Включення відповідних таблиць до технологічних процесів роботи залізничних станцій дозволить більш повно характеризувати їх сортувальні комплекси та оцінити умови ефективності їх роботи в різних умовах та необхідність вживати організаційно-технічних заходів зі збільшення переробної спроможності.

4.3 Висновки за розділом 4

Існуючий показник «переробна спроможність сортувальної гірки» враховує у собі значну кількість факторів, що не характеризують сортувальну гірку як пристрій. У зв'язку з цим для оцінки продуктивності сортувальної гірки доцільно використовувати показники мінімальна, максимальна та технічна швидкість розпуску. Вказані показники для конкретної гірки повинні встановлюватись на етапі проектування і переглядатись лише у випадках суттєвої зміни структури вагонопотоку, або інфраструктури гірки у порівнянні з проектними

У результаті виконаних досліджень удосконалена методика визначення переробної спроможності гірок. Розроблена методика дозволяє враховувати взаємозв'язки між технічним забезпеченням сортувального процесу і переробною спроможністю гірки.

Для оцінки продуктивності технічного оснащення та технології роботи станцій з переробки вагонопотоків доцільно використовувати показник «переробна спроможність сортувального комплексу»

Доцільно розрізняти поняття «технічної» та «максимальної» переробної спроможності. Під технічною переробною спроможністю сортувального комплексу пропонується розуміти максимальну кількість вагонів, що може бути ним перероблена протягом доби, при перевищенні якої доцільним є вживання організаційно-технічних заходів для нарощування переробної спроможності. Під максимальною переробною спроможністю пропонується розуміти максимальну кількість вагонів, що може бути перероблена сортувальним комплексом при певному технічному оснащенні та технології.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності розв'язують наукове завдання удосконалення методу розрахунку переробної спроможності сортувальних комплексів.

1. Виконаний аналіз наукових праць, присвячених проблемі визначення переробної спроможності сортувальних станцій та сортувальних гірок, показав, що вона є остаточно не вирішеною. Зокрема, для визначення поняття «сортувальна гірка» враховується частина параметрів, які не характеризують сортувальну гірку як пристрій; також методи визначення переробної спроможності сортувальних гірок і станцій недостатньо враховують взаємозв'язок між технічним оснащенням і переробною спроможністю.

2. Імовірності нерозділення відчепів суттєво залежать від кількості вагонів у відчепі та їх ходових характеристик. У зв'язку з цим при аналізі вагонопотоків, що розформовуються на сортувальних гірках, необхідно визначати не імовірності розділень відчепів на стрілочних зонах, а імовірності появи несприятливих розділових груп із трьох відчепів для різних сполучень стрілочних переводів. В умовах спаду обсягів роботи сортувальні станції мають резерви переробної спроможності, але через зношеність та скорочення кількості маневрових локомотивів вони не відповідають сучасному рівню ефективності сортувального процесу.

3. Важливим напрямком підвищення ефективності автоматизованих систем управління сортувальним процесом є розробка більш досконалих методів управління роботою гальмових позицій в умовах відсутності повної інформації про умови скочування та характеристики відчепів.

Виконані дослідження показали, що методи вибору режимів гальмування можуть бути удосконалені за рахунок перерахування та коригування заданих швидкостей виходу відчепів з уповільнювачів у момент їх входу на гальмові позиції з урахуванням інформації щодо часу входу та виходу відчепів на ділянки маршруту скочування. Застосування удосконаленого методу забезпечує зменшення ризику нерозділення відчепів у групах з несприятливим сполученням відчепів в 3,6 разу.

4. Початкова швидкість розпуску составів впливає переважно на умови інтервального гальмування відчепів через зміну величини початкового інтервалу на вершині гірки та часу руху відчепу від вершини гірки до першої гальмової позиції. Підвищення початкової швидкості розпуску составів призводить також до зменшення площі області допустимих швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій за умовами прицільного регулювання та швидкості руху відчепів по спускній частині гірки. Переважно, збільшення швидкості розпуску відчепів призводить до зміщення обмеження за потужністю першої гальмової позиції. Враховуючи, що в більшості випадків це обмеження не є активним, то початкова швидкість розпуску состава незначним чином впливає на умови прицільного регулювання. Запропонована методика аналітичного перерахунку тривалості скочування відчепів до розрахункової точки при зміні швидкості розпуску.

5. Переробна спроможність сортувальних комплексів суттєво залежить не лише від їх інфраструктурного розвитку, а й від кількості маневрових локомотивів, маневрової роботи й т.ін. У зв'язку з цим запропоновано розрізняти поняття «технічної» та «максимальної» переробної спроможності. Під технічною переробною спроможністю сортувального комплексу пропонується розуміти максимальну кількість вагонів, яка мо-

же бути ним перероблена протягом доби, при перевищенні якої доцільним є вживання організаційно-технічних заходів з нарощування пропускної спроможності. Під максимальною переробною спроможністю пропонується розуміти максимальну кількість вагонів, що може бути перероблена сортувальним комплексом при певному технічному оснащенні та технології.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Автоматизация технологических процессов в системе оперативного управления сортировочной станцией [Текст]: учеб. пособие / [Л. П. Кузнецов, В. Н. Иванченко, Н. Н. Лябах, Ю. А. Самойленко]. – Ростов н/Д.: РИИЖТ, 1984. – 64 с.;
2. Акулиничев, В. М. Моделирование работы сортировочной станции с вагонами, требующими соблюдения особых условий при расформировании [Текст] / В. М. Акулиничев, Н. А. Коваленко, В. М. Савина // Сб. науч. тр., МИИТ. – 1988. – № 798. – С. 63-73;
3. Альошинський, Є.С. Аналіз принципів автоматизації процесу розформування составів на сортувальних гірках [Текст] / Є.С. Альошинський, М. М. Богатирьов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – № 3/5 (45). – С. 65-68;
4. Архангельский, Е. В. Расчет пропускной способности железных дорог [Текст] / Е. В. Архангельский // М., Транспорт, 1977. – 310 с.;
5. Берестов, И. В. Теоретические основы оптимизации параметров сортировочных горок (Часть 1) [Текст] / И. В. Берестов // Информ.-управляющие системы на ж.-д. трансп. – 1997. – № 4. – С. 34 – 37;
6. Берестов, І. В. Теоретичні основи оптимізації параметрів сортувальних гірок (Частина 2) [Текст] / І. В. Берестов // Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті: Міжвуз. зб. наук. праць / ХарДАЗТ. – Х., 1998. – Вип. 33. – С. 8–15;
7. Бессоненко, С.А. Математическая модель расчета параметров интервального торможения отцепов и переменных скоростей роспуска составов [Текст] / С.А. Бессоненко, В.Н. Иванченко, А.М. Лященко // Вестник РГУПС. – 2013. – № 1(49). – С. 55-65;
8. Бобровский, В. И. Анализ числа разделений отцепов в составах, расформируемых на действующих сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. ДНУЗТ. – Дніпропетровськ. – 2011. – Вип. 2. – С.

17-21;

9. Бобровский, В. И. Вероятностные характеристики разделений отцепов состава на стрелках [Текст] / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов, Ю. В. Чибисов // Вісник ДНУЗТ. – Д., 2007. – Вип. 18. – С. 146-150;

10. Бобровский, В. И. Временной принцип моделирования процесса скатывания отцепов с горки [Текст] / В. И. Бобровский // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. – 1978. – Вып. 197/12. – С. 50–58;

11. 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;

12. Бобровский, В. И. Исследования и оценка влияния скорости роспуска составов на показатели работы сортировочного комплекса [Текст] / В. И. Бобровский, А. И. Колесник // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. / ДНУЗТ. – Д., 2011. – Вип. 2. – С. 10-16;

13. Бобровский, В. И. Многошаговый двухэтапный метод оптимизации режимов роспуска составов на горках [Текст] / В. И. Бобровский // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2004. – № 2. – С. 8–14;

14. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов регулирования скорости отцепов при роспуске составов на горках [Текст] / В. И. Бобровский, Н. В. Рогов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – 2004. – Вип. 4. – С. 174-182;

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

16. Бобровский, В. И. Определение вероятностей разделения отцепов на стрелках сортировочной горки [Текст] / В. И. Бобровский // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на стан-

циях: Труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1976. – Вып. 181/10. – С. 56-63;

17. Бобровский, В. И. Исследование влияния режимов торможения на условия разделения отцепов на стрелках [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Т.В. Болвановская // Тезисы 71-й Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта». – Дніпропетровськ: ДІІТ. – 2011. – С. 124-125;

18. Бобровский, В. И. Автоматизация составления сортировочного листа при использовании комбинированного метода сортировки вагонов [Текст] / В. И. Бобровский // «Межвуз. сб. науч. трудов», ДИИТ, Днепропетровск. – 1990. – № 277/17. – С. 60-69;

19. Бобровский, В. И. Математическая модель для оптимизации интервального регулирования скорости отцепов на горках [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2003. – № 3 – С. 3-8;

20. Бобровский, В. И. Моделирование автоматизированных сортировочных горок / В. И. Бобровский // Информ.-управляющие системы на ж.-д. трансп. – 1996. – № 3/4. – С. 83-84;

21. Бобровский, В.И. Исследование влияния режимов торможения отцепов на условия их разделения на стрелках [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Т. В. Болвановская // Залізничний транспорт України. – 2011. – № 3 – С. 3-6;

22. Бобровський, В. И. Моделирование процесса скатывания отцепов с сортировочной горки [Текст] / В. И. Бобровський, Д. Н. Козаченко // Зб. наук. праць ДЕТУТ: Серія «Транспортні системи і технології». – 2010. – Вип. 16. – С. 20-29

23. Бобровський, В. І. Моделювання процесу насуву та розпуску составів на сортувальній гірці [Текст] / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко // Транспортні системи та технології перевезень : збірник наукових праць ДНУЗТ – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 4. – С. 13-18;

24. Болвановская, Т.В. Исследование влияния скорости роспуска на конфигурацию области допустимых режимов торможения отцепов [Текст] / Т. В. Болвановская // Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ. – 2015. – Вып. 7. – С. 30–34;

25. Болвановська, Т. В. Аналіз умов розділення відцепів на сортувальних гірках залізниць України [Текст] / Т.В. Болвановська, О.В. Ванжа // тези 73-ї науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Дніпропетровськ: ДПТ. – 2013 – С. 139-140;

26. Болвановська, Т. В. Дослідження впливу умов розпуску составів на конфігурацію області допустимих швидкостей виходу відцепів з гальмових позицій [Текст] / Т. В. Болвановська, Р. Г. Коробйова, В. О. Брень // Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий»: тез. 3-й Междунар. науч.-практ. конф. – Дніпропетровськ: ДПТ. – 2014. – С. 18–19;

27. Болвановська, Т. В. Розрахунок переробної спроможності сортувальних комплексів [Текст] / Т. В. Болвановська // Збірник наукових праць ДНУЗТ «Транспортні системи і технології перевезень. – 2014. – Вип. 8 – С. 27-34;

28. Болвановська, Т. В. Аналіз потужності вагонопотоків, що формуються на технічних станціях Придніпровської залізниці [Текст] / Т.В. Болвановська, А. А. Гирба // тези 2-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств» – Кострина. – 2013 р. – С.37-38;

29. Галузеві будівельні норми України. Споруди транспорту. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування ГБН В.2.3-37472062-1:2012 [Текст]. – Київ.: Міністерство інфраструктури України, 2012. – 112 с.;

30. Горохов, Е.В. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи [Текст] / Е. В. Горохов, М. И. Казакевич,

С. В. Турбин, Я. В. Назим – Донецк.: «Компьютер Норд», – 2005. – 348 с.;

31. Демченко, Є. Б. Оцінка витрат палива маневровими тепловозами при розформуванні составів на сортувальних гірках [Текст] / Є. Б. Демченко // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна «Транспортні системи та технології перевезень». – 2013. – № 6. – С. 39-46;

32. Динамічна модель сортувальної станції та її роль в подальшій оптимізації процесу перевезень [Текст] / Бочаров, О. П., Михайлов Г. О. та інш. // Інформ.-керуючі системи на транспорті. – 2011. – № 5. – С. 74-76;

33. 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;

34. Дослідження роботи гірки станції Основа як системи масового обслуговування [Текст] / О. М. Ходаківський, О. М. Огар, Д. В. Шумик, Г. М. Діосегі, Є. І. Самойленко, Д. Є. Шпатін // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, – 6/6 (36) 2008. – С. 53-56;

35. Железнодорожные станции и узлы [Текст]: Учеб. для вузов ж.-д. трансп./ под. ред. В. М. Акулиничева – М.: Транспорт, 1992. – 480 с.;

36. Жуковицкий И. В. Управление маршрутами отцепов в АСУ ТП сортировочной станции (АСУ МД) [Текст] / И. В. Жуковицкий, Ю. А. Косорига // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2006. – № 4. – С. 92-96;

37. Жуковицкий, И. В. Использование управляющей ЭВМ в цифровой системе управления замедлителями тормозных позиций [Текст] / И. В. Жуковицкий // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 1997. – № 1. – С. 54–59;

38. Жуковицкий, И. В. Использование моделей и методов опти-

мизации при разработке цифровых систем управления на сортировочной горке [Текст]/ И. В. Жуковицкий // Информ. технологии на ж.-д. трансп.: Материалы 1-ой междунар. научн.-техн. конф. «Инфотранс-96» – СПб., 1996, – С. 298-313;

39. Жуковицкий, И. В. Новые принципы организации работы АРМ-ов оперативных работников сортировочной станции [Текст] / И. В. Жуковицкий, А. И. Кибка // Информ.-керуючі системи на залізн.. трансп. – 2001. – № 3. – С. 92-94;

40. Журавель, В. В. Тривалість осаджування вагонів та їх пошкодження під час сортування на гірках [Текст] / В. В. Журавель, П. О. Яновський // Залізничний транспорт України – 2012. – № 2. – С. 32-36;

41. Зиброва Т. М. Оценка точности управления торможением отцепов в АСУ РСГ [Текст] / Т. М. Зиброва // Автоматизированные системы управления технологическими процессами на железнодорожных станциях: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1980. – Вып. 211/9. – С. 17–21;

42. Иванченко, В. Н. Микропроцессорные информационно-управляющие системы автоматизации сортировочных процессов [Текст]: Учеб. пособие / В. Н. Иванченко. – Ростов н/Д.: РИИЖТ, 1984. – 50 с.;

43. Інструкція з розрахунку наявної пропускнуї спроможності залізниць України ЦД-0036 [Текст]: Навчально-методичний посібник / О. Ф. Вергун, Н. В. Липовець, В. М. Боголій // К.: Транспорт України, 2002. – 376 с.;

44. Козаченко, Д. М. Дослідження впливу параметрів відчепів та умов їх скочування на величину інтервалів на розділових стрілках [Текст] / Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, Р. Г. Коробйова // Вісник ДНУЗТ ім. В. Лазаряна. – Д., 2006. – Вип. 12. – С. 79–82;

45. Козаченко, Д. М. Дослідження ефективності заходів автоматизації управління швидкістю скочування відчепів на сортувальних гірках [Текст] / Д. М. Козаченко // Вісник СНУ ім. В. Даля. - 2010.– № 5 (147)

Частина 2. – С. 276-284;

46. Козаченко, Д. М. Методи збільшення області допустимих швидкостей виходу відцепів з гальмових позицій / Д. М. Козаченко // Збірник наукових праць Державного економіко - технологічного університету транспорту : серія «Транспортні системи і технології» / ДЕТУТ. – Харків, – 2013. – Вип. 22. – С. 171–176;

47. Козаченко, Д. М. Моделювання роботи сортувальної гірки в умовах невизначеності параметрів відцепів та характеристик навколишнього середовища [Текст] / Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, О. І. Таранець // Вісник ДНУЗТ ім. В. Лазаряна. – Д., 2007. – Вип. 16. – С. 73–76;

48. Козаченко, Д. Н. Исследование условий интервального регулирования скорости скатывания отцепов на автоматизированных горках [Текст] / Д. Н. Козаченко // Вісник ДНУЗТ В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 46-50;

49. Козаченко, Д. Н. Критерий оптимизации режимов торможения отцепов расчетной группы в условиях действия случайных факторов [Текст] / Д. Н. Козаченко // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – 2010. – Вип. 23. – С. 14-21;

50. Козаченко, Д. Н. Совершенствование выбора режимов торможения отцепов при решении задачи интервального регулирования скорости их скатывания [Текст] / Д. Н. Козаченко, Т. В. Болвановская, Н. Д. Дудок // Вестник РГУПС. – 2015. – Вып. 2 – С. 89-97;

51. Козаченко, Д. М. Дослідження впливу швидкості розпуску составів на переробну спроможність сортувальних гірок [Текст] / Д. М. Козаченко, І. Ю. Левицький, Т. В. Болвановська // Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ. – 2012. – Вип. 41. – С. 61-63;

52. Козаченко, Д. М., Дослідження параметрів вагонопотоків, що розформовуються на сортувальних гірках [Текст] / Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, Т. В. Болвановська // Збірник наукових праць ДНУЗТ

«Транспортні системи і технології перевезень» – Випуск 4 – Д.: ДНУЗТ. – 2012. – С. 44-48;

53. Козаченко, Д.М. Дослідження ризиків нерозділення відчепів на сортувальних гірках [Текст] / Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, Т. В. Болвановська // Тези 72-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту». – Дніпропетровськ: ДПТ. – 2012 р. – С.119-120;

54. Козаченко, Д. М. Дослідження вагонопотоків, що розформовуються на сортувальних гірках залізниць України [Текст] / Д. М. Козаченко, Т.В. Болвановська, Ю.С. Карпенко // тези 2-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств». – Кострина. – 2013 р. – С. 56-58;

55. Козаченко, Д. М. Дослідження ефективності заходів автоматизації управління швидкістю скочування відчепів на сортувальних гірках / Д. М. Козаченко // Вагонний парк. –2010. – Вип. 12. – С. 4-8;

56. Козаченко, Д. М. Області допустимих режимів регулювання швидкості скочування відчепів на сортувальних гірках [Текст] / Д. М. Козаченко, Б. І. Торопов, Т. В. Болвановська // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту : тез. 74-ї науково-практичної конференції. – Днепропетровск, 2014. – С. 189–190;

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

58. Левин, Д. Ю. Единая сквозная технология управления перевозочным процессом [Текст] / Д. Ю. Левин // Труды Международной научно – практической конференции «Современные проблемы управления перевозочным процессом. Повышение качества подготовки специалистов и уровня научных исследований», – М.,МИИТ. – 2006. – С. II-25 – II-26;

59. Лерман, В. Д. Прогнозирование процессов перехода состояний сортировочных станциях [Текст] / В. Д. Лерман // Тр. Моск. ин-та

инж. ж.-д. трансп. – 1978. – №662. – С. 26-31;

60. Макаренко, М. В. Краткий справочник показателей эксплуатационной работы железных дорог Украины [Текст] / М. В. Макаренко. – К.: «Юникон-Пресс». 2011. – 154 с.;

61. Методичні вказівки з розрахунку норм часу на маневрові роботи, які виконуються на залізничному транспорті [Текст]: затв.: наказ Укрзалізниці 25.03.2003 р. № 0-72/ ЦЗ;

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

63. Миклер, Г. Децентрализованная система управления роспуском вагонов на сортировочной станции Бремерхафен-Шпекенбюттель [Текст] / Г. Миклер, Ф. Лекенвальтер, К. Рам // Железные дороги мира, № 8, 1988, с. 2-12

64. Модин, Н. К. Механизация и автоматизация станционных процессов [Текст]/ Н. К. Модин. – М.: Транспорт, 1985. – 224 с.;

65. 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;

66. Музикіна, Г. І. Визначення заходів, необхідних для підвищення провізної спроможності залізниць України [Текст] / Г. І. Музикіна, О. О. Мазуренко, Т. В. Болвановська // Вісник ДНУЗТ. – 2009. – Вип. 26 – С. 23-27;

67. Музикіна, Г. І. Визначення заходів, необхідних для підвищення провізної здатності залізниць України [Текст] / Г. І. Музикіна, О. О. Мазуренко, Т. В. Болвановська // Вагонный парк. – 2010. – № 5. – С. 22-24;

68. Муха, Ю. А. Имитационное моделирование процесса скатывания отцепов при выполнении горочных расчетов [Текст] / Ю.А.

Муха, А. А. Муратов // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. научн. тр. ДИИТа. – Д., 1990. – С. 11-20;

69. 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 / ДИИТ. – Д., 1976. – Вып. 181/10. – С. 23–40;

70. Муха, Ю.А., Алгоритмы и библиотека программ для моделирования на ЭВМ «Наири - К» сортировочного процесса на горках [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1977. – Вып. 194/11. – С. 53-102;

71. Нагорный, Е. В. О методике оптимизации параметров сортировочных горок [Текст] / Е. В. Нагорный, И. В. Берестов, В. О. Крючков // Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті: Міжвуз. зб. наук. праць ХарДАЗТ. – Х., 1998. – Вип. 33. – С. 52–55;

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

73. Нормы технологического проектирования устройств автоматики и телемеханики на федеральном железнодорожном транспорте. НТП СЦБ/МПС-99. Утвержд. указаним МПС РФ от 24.06.1999 г. № А-1113. – Санкт-Петербург: Гипротрансигналсвязь, 1999 – 75 с.;

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

75. Образцов, В. Н. Станции и узлы часть 2 [Текст] / В. Н. Образцов. – М.: Трансжелдориздат, 1938. – 499 с.

76. Огар, О. М. Математичний опис плану і поздовжнього профілю елементів сортувального комплексу в імітаційних моделях гіркових технологічних процесів [Текст] / О. М. Огар, С. Є. Бантюков, М. В. Антуф'єва // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – 2/3 (44). – С. 53–59;

77. 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;

78. Огар, О. М. Представлення параметрів метеорологічних умов при розрахунках гірки і моделюванні сортувального процесу [Текст] / О. М. Огар, О.С. Губачова, С. О. Бантюкова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, – 2010. – 4/3 (46).– С. 4-7;

79. Огар, О. М. Системний підхід до розрахунку раціональних технологічних параметрів діючих сортувальних гірок [Текст] / О. М. Огар, К. А. Асєєва, А. В. Солянкін // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, – 2011. – 6/4 (54).– С. 41-44;

80. Ограничения режимов торможения отцепов на сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский, Р. В. Вернигора, А. В. Кудряшов, Л. О. Ельникова // Вісник ДНУЗТ. – 2009. – № 27. – С. 30-35;

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

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

83. Правдин, Н. В. Расчет основных параметров сортировочных горок [Текст] / Н. В. Правдин, С. А. Бессоненко // Проблемы развития железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. науч. Статей / БИИЖТ. – Гомель, 1985. – С. 34–39;

84. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств

на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207 – 89 [Текст]. - М.: Транспорт, 1992. – 104 с

85. Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст]. – К.: Транспорт України, 2005. – 256 с.;

86. Проблема эффективности автоматизированного управления процессом расформирования составов на сортировочных горках станции [Текст] / В. С. Аркатов, Ю. А. Муха и др. // ДИИТ. – 1983. – С. 3-21;

87. Прокопин, Ю. Д. Автоматизированные системы управления составами на горке АСУ РСГ [Текст] / Ю. Д. Прокопин, В. В. Мишин // Автоматика, телемеханика и связь. – 1981. – № 9. – С. 35–36;

88. Разводова, Н. Б. Горочная автоматическая централизация с контролем роспуска ГАЦ КР [Текст] / Н. Б. Разводова, И. Л. Наумов // Автоматика, телемеханика и связь. – 1981. – № 9. – С. 27–29;

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

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

91. Сагайтис, В. С. Устройства механизированных и автоматизированных сортировочных горок [Текст]: Справочник / В. С. Сагайтис, В. Н. Соколов, – М.: Транспорт, 1988, – 208 с.;

92. Сафрис, Л. В. Имитационное моделирование прицельного торможения отцепов в АСУ РСГ [Текст] / Л. В. Сафрис, А. Б. Устенко // Автоматизированные системы управления технологическими процессами на железнодорожных станциях: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1980. – Вып. 211/9. – С. 27–37;

93. Сафрис, Л. В. Концептуальная модель автоматизированной системы управления роспуском составов на горке [Текст] / Л. В. Сафрис // Автоматизированные системы управления технологическими процессами

на железнодорожных станциях: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1981. – Вып. 218/10. – С. 5–14;

94. Системы автоматизации сортировочных горок на основе современных компьютерных технологий [Текст]: Учебник для вузов ж.д. трансп. / Под общей ред. проф. А. Н. Шабельникова. – Ростов н/Д: НИИАС. Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2010. – 436 с.;

95. Скиба, Е. П. Об одном алгоритме управления интервальными тормозными позициями на автоматизированной горке [Текст] / Е. П. Скиба, А. Б. Устенко // Автоматизированные системы управления технологическими процессами на сортировочных станциях магистрального и промышленного транспорта: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1985. – Вып. 244/14. – С. 27–32;

96. Сортировочные станции XXI века [Текст] / А. В. Чхаидзе, Л. В. Абуладзе, Г. Ш. Телия, Г. А. Чхаидзе // Железнодорожный транспорт. – 2000. – № 3. – С. 54–62;

97. Сотников, Е. А. Интенсификация работы сортировочных станций [Текст] / Е. А. Сотников. – М., «Транспорт», 1979, – 239 с.;

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

99. Сотников, И. Б. Эксплуатация железных дорог (в примерах и задачах) [Текст] / И. Б. Сотников. – М.: Транспорт, 1967. – 248 с.;

100. 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. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1985. – Вып. 244/14. – С. 37–45;

101. 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. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1982. – Вып. 224/11. – С. 61–69;

102. Типовые нормы времени на маневровые работы, выполняемые на железнодорожном транспорте, утверж. 26.08.1985 МПС, М.: Транспорт, 1987 – 97 с.;

103. Тихомиров, И. Г. Основы технологического процесса работы сортировочных станций [Текст] / И. Г. Тихомиров, А. Д. Каретников, – Трансжелдориздат, 1952

104. Ульянычев, Ю. В. АРС ГТСС. Автоматическое регулирование скорости вагонов на сортировочной горке [Текст] / Ю. В. Ульянычев // Автоматика, телемеханика и связь. – 1972. – № 7. – С.10–14;

105. Устенко, А. Б. О некоторых направлениях совершенствования подсистемы торможения АСУ РСГ [Текст] / А. Б. Устенко // Автоматизированные системы управления технологическими процессами на железнодорожных станциях: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1980. – Вып. 211/9. – С. 48–56;

106. Участие горочных операторов в управлении сортировочным процессом на автоматизированных сортировочных горках [Текст] / Муха Ю. А., Бобровский В. И., Яневич В. З., Бледный А. М. // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа / – Д., 1976. – Вып. 181/10. – С. 41–56;

107. Флейшман, Д. Г. К вопросу об аналитическом описании процесса накопления вагонов [Текст] / Д. Г. Флейшман // Интенсиф. перевозок грузов на ж.-д. трансп. – 1989. – С. 36-41;

108. Фонарев, Н. М. Автоматизация процесса расформирования составов на сортировочных горках [Текст] / Фонарев Н. М. – М.: Транспорт, 1971. – 285 с.;

109. Фонарев, Н. М. Автоматизация процесса расформирования составов на сортировочных горках [Текст] / Н. М. Фонарев // Ж.-д. трансп. – 1977. – № 9. – С. 55–60;

110. Шафит, Е. М. Динамика двухпозиционного регулирования скорости отцепов в системах АРС [Текст] / Е. М. Шафит // Вопросы автоматического управления и применения средств вычислительной техники на железнодорожных станциях: Труды ДИИТа. – Д., 1970. – Вып. 97. – С. 4–11;
111. 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 ДИИТа. – М., 1965. – Вып. 52. – С. 55 – 72;
112. Шафит, Е. М. К вопросу о разработке АСУ РСГ на базе микропроцессоров [Текст] / Е. М. Шафит, Л. В. Сафрис, А. А. Косолапов // Автоматизированные системы управления технологическими процессами на железнодорожных станциях: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1980. – Вып. 211/9. – С. 3–11;
113. Шафит, Е. М. Методика выбора алгоритма в автоматизированной системе управления сортировочным процессом [Текст] / Е. М. Шафит, А. Ю. Косорига // Вопросы проектир. и экспл. АСУ на трансп.: Межвуз. сб. науч. тр., МИИТ, – М., 1978 – № 601. – С. 165-171;
114. Шафит, Е. М. Принципы построения интегрированной автоматизированной системы управления технологическими процессами на сортировочной станции [Текст] / Е. М. Шафит, И. В. Жуковицкий, А. А. Косолапов // Информ. управл. системы на ж.-д. трансп. – 1996. – № 1/2. – С. 36-41;
115. Шафит, Е. М. Современные принципы построения АСУ сортировочных станций [Текст] / Е. М. Шафит, И. В. Жуковицкий // Залізн. трансп. України. – 2000. – № 3. – С. 22-26;
116. Шелухин, В. И. Универсальный модуль управления тормозными позициями [Текст] / В. И. Шелухин, И. Н. Малышев // Автоматика, связь, информатика. – 2000. – № 5. – С. 12–14;

117. Шиш, В. О. Особливості розробки Генеральної схеми розвитку залізничного транспорту України на період до 2020 року [Текст] / В. О. Шиш // Залізн. трансп. України. – 2009. – № 6. – С. 38-40;
118. Ciszewski, B. Badania symulacyjne w projektowaniu i ocenie systemow i ukladow rozrzadowych / B. Ciszewski // Materiały na V Konferencje naukowa «Nauka i praktyka w transporcie». Zesz. 1. Organizacja i zarzadvanie w transporcie, P. Warsz. Inst. transp. – Warszawa – 1990 – С. 52-56;
119. Jednaszewski, I. Modele symulacyjne stacji rozrzadowej narzediem huacy dla eksplotatora / I. Jednaszewski, E. Novak // Ekspl. Koles, – 1978. – 1, №5. – P. 151-157;
120. Kita, W. Zastosowanie modelowania symulacyjnego do wspomagania technologa stacji rozrzadowej, Kita Wieslaw, Miszczyk Marian // Materiały na V Konferencje naukowa «Nauka i praktyka w transporcie». Zesz. 1. Organizacja i zarzadvanie w transporcie, P. Warsz. Inst. transp. – Warszawa – 1990– С. 100-109;
121. Skoczynski L. Model optymalizacji technologii pracy stacji rozrzadowej / Skoczynski Leon, Zebrak Danuta // Materiały na V Konferencje naukowa «Nauka i praktyka w transporcie». Zesz. 1. Organizacja i zarzadvanie w transporcie, P. Warsz. Inst. transp. – Warszawa – 1990 – С. 152-159;
122. Valenta T. Proba ujecia zjaviska pracy grupy kierunkovej stacji rozrzadowej v model matematyczny / T. Valenta // «Zesz. nauk. PSI. Bud.» – 1980 – №53 – С. 63-74
123. Yang, H. Study on braking adaptability of hump spacing-braking retarder to large axle load general service freight car (2013) Tiedao Xuebao / Yang H., Zhao P., Wei, Y.-G. // Journal of the China Railway Society – 35 (10) – pp. 33-37.

Додаток А

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

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

Б. Є. Боднар

18 березня 2015 р.



АКТ

Про використання результатів дисертації Болвановської Тетяни Валентинівни
«УДОСКОНЛЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПЕРЕРОБНОЇ
СПРОМОЖНОСТІ СОРТУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ»

м. Дніпропетровськ

«18» березня 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 Болвановської Т.В., а саме:

1. Теоретичні результати дисертації використовуються при викладанні дисциплін «Станції та вузли», «Управління експлуатаційною роботою».
2. Результати дисертації використовуються при виконанні дипломних проєктів та дипломних магістерських робіт спеціальності 7(8).07010102 «Організація перевезень та управління на залізничному транспорті».

декан факультету УПП
к.т.н., доцент

Р. В. Вернигора

завідувач кафедри
«Станції та вузли», д.т.н., професор

В. І. Бобровський

завідувач кафедри
«Управління експлуатаційною роботою»
к.т.н., доцент

М. І. Березовий

ЗАТВЕРДЖУЮ

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



С. В. Мямлін

28 травня 2015 р.

АКТ

про використання результатів дисертації Болвановської Тетяни Валентинівни
«УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПЕРЕРОБНОЇ
СПРОМОЖНОСТІ СОРТУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ»

м. Дніпропетровськ

28 травня 2015 р.

Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна виконано наступні науково-дослідні роботи, в яких використано результати дисертації Болвановської Т. В. «Удосконалення методів розрахунку переробної спроможності сортувальних комплексів»:

- «Аналіз відповідності технічного оснащення залізничного транспорту ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» існуючим та перспективним обсягам роботи» (№ держреєстрації 0111U009657);
- «Формування підходів щодо покращення використання вантажних вагонів та оперативного управління просуванням вагонопотоків в міжнародних перевезеннях» (№ держреєстрації 0115U002423);
- «Удосконалення методів оцінки та підвищення функціональної безпеки в експлуатаційній роботі на залізницях» (№ держреєстрації 0112U003560);
- «Робочий проект «Будівництво сортувального парку та сортувальної гірки парку «Южний» станції «Хімічна» (№ держреєстрації 0113U008346);
- «Розрахунок максимальної пропускної спроможності дільниці Чорноморська - Берегова (Хімічна)» (№ держреєстрації 0115U004154)
- «Розробка вимог до інфраструктури залізничного транспорту та удосконалення методів її експлуатації в умовах розділення парку вантажних вагонів» (№ держреєстрації 0114U002544).

Начальник НДЧ
д. т. н., професор

 Д. М. Козаченко

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи Болвановської Т. В., асистента кафедри Станцій та вузлів Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ)

В 2009–10 рр. на замовлення ТОВ з П «Трансінвестсервіс» виконавцем – ТОВ «НВН «Укртранскад» було виконано науково-дослідну роботу **«Розробка технологічного процесу роботи під'їзної колії ТОВ «Трансінвестсервіс» (договір № 62 від 14.12.2009 р., державний реєстраційний номер 0110U003345), в 2012–13 рр. 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 брала участь асистент кафедри Станцій та вузлів ДНУЗТ Болвановська Т. В., яка виконала розрахунок переробної спроможності нового сортувального комплексу станції «Хімічна» та запропонувала варіанти розподілу маневрової роботи з розформування-формування составів.

Впровадження результатів дисертаційної роботи Болвановської Т. В. при експлуатації нової сортувальної гірки та сортувальної станції дозволить оперативно змінювати розподіл роботи з розформування-формування составів, що забезпечить досягнення максимального значення переробної спроможності сортувального комплексу.

Заступник Генерального директора
ТОВ з П «Трансінвестсервіс»

« » _____ 2015 р.



А. І. Верлан

Додаток Б

ВИХІДНІ ДАНІ ТА РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПУ

Б.1 Модель сортувальної гірки, що використовується при моделюванні

*Модель горки:

*длина сопр, р цепь, уклон/радиус в.к.

200 0 # 0 * дополнительный элемент до
начала профиля

90.77 0

6.71 500

2.52 0

48.87 0 # -5.0 * перелом

1.13 300 # 350

0.89 300 # 0.0 * перелом

6.10 300 ТН 350 * вершина горки

0.61 300 # 48.9 * перелом

11.5 0 # 250

5.21 200

5.26 200 ES1 * 1-я разделительная стрелка

6.12 -6 GS1 * S6-адрес сопротивл. стрелки в

таблице

2.82 -6

8.57 -6 # 23.9 * перелом

8.08 1 # 250 * вместо глухого пересече-

ния

10 6 BS * 1-я пошерстная стрелка

7.51 6 * 1-я пошерстная стрелка

0.5 0 ER1 * 1-я тормозная позиция 3-й

ЗМ

12.475 0 NR1

0.5 0

0.5 0 * 1-я тормозная позиция 4-й

ЗМ

12.475 0 NR1

0.5 0 GR1

1 0

1.5 200 * было 5.1=1.5+3.6

3.6 200 # 7.0 * перелом

10 200 # 250

5.26 200 ES2 * 2-я разделительная стрелка

6.12 -6 GS2

11.39 -6

8.72 200

3 0

0.5	0	ER2		* 2-я тормозная позиция	5-й
ЗМ					
12.475	0	NR2			
0.5	0				
0.5	0			* 2-я тормозная позиция	6 -
Й ЗМ					
12.475	0	NR2			
0.5	0	GR2			
2.26	0	ES3		* 3-я разделительная стрелка	
3.0	0	#	2.0	* перелом	
6.12	-6	GS3	250		
11.39	-6				
1.2	200				
5.26	200	ES4		* 4-я разделительная стрелка	
6.12	-6	GS4			
11.39	-6				
2.24	0				
3.49	200				
2.24	0				
10	6	BS		* 2-я пошерстная стрелка	
7.51	6			* 2-я пошерстная стрелка	
5.26	0	ES5		* 5-я разделительная стрелка	
6.12	-6	GS5			
11.39	-6	WS1		* 1-й путь	
0.56	0				
25.135	-140				
1.325	-140	ER3		* 3-я тормозная позиция	
3.6	-140	RR3			
2.65	-140				
3.6	-140	RR3			
2.65	-140				
3.6	-140	RR3			
1.325	-140	GR3			
1.67	-140			* кривая P140	
28.005	-140	#	0.6	* перелом	
900	0	#	250		
200	0	#	-2.0		
1	77	FW	250		

Б.2 Дані про відчеп

пв 4р 25.000000 1.750000

Б.3 Дані про умови скочування

* условия скатывания:

* Vo, Сприц, Vвет, направл., темпер., шаг, путь
 1.70 400.0 5.00 20.0 -10 2 1

Б.4 Результати моделювання скочування одиночного відчепу

Точка	S, м	V, м/с	t, с
ОТР	4,107	1,700001	0
C1<	23,42	3,425634	8,608376
C1>	45,3	5,180602	13,611382
T1<	72,28	5,88211	18,467369
31>	95,255	5,902111	22,34045
T1>	108,73	5,893691	24,625681
C2<	114,83	5,903886	25,658573
C2>	136,71	5,820272	29,389093
T2<	149,82	5,777554	31,651129
32>	172,795	5,781161	35,629139
C3<	176,27	5,78327	36,230106
T2>	186,27	5,752823	37,961742
C3>	198,15	5,627303	40,047417
C4<	200,24	5,602427	40,419651
C4>	222,12	5,348895	44,415501
C5<	248,49	5,063744	49,47929
C5>	270,37	4,833663	53,8988
T3<	298,28	4,519741	59,868717
33>	312,38	3,682096	63,263199
T3>	324,88	2,835491	67,152794
ПРЦ	400	1,701805	100,789307

Работа тормозных позиций

№	H	V	T	St	Lt	Лю	Z	B	E
1	0,53682	5,89369	24,626	0	36,45	99,8005	2	0	0
2	0	5,75282	37,9620	36,45	0	0	0	0	
3	0,55657	2,83549	67,153	0	26,60	43,1989	3	0	0

Додаток В

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПА

В.1 Скочування одиночного відчепу при $\sigma_{\text{гп}} = 0,2 \text{ м/с}$

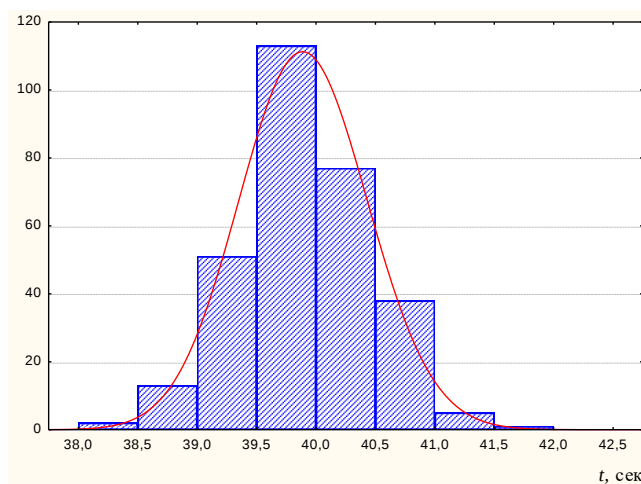


Рисунок В.1 – Гістограма та функція щільності розподілу випадкової величини тривалості скочування відчепу до входу на 4-ту розділову стрілку при точності реалізації швидкості виходу з уповільнювачів
 $\sigma_{\text{гп}} = 0,2 \text{ м/с}$

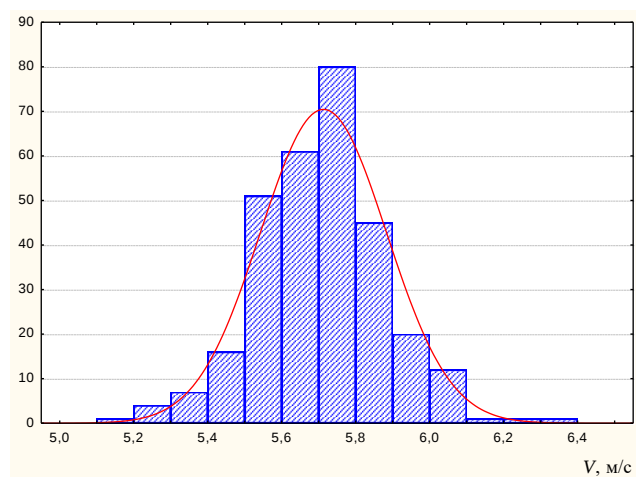


Рисунок В.2 – Гістограма та функція щільності розподілу випадкової величини швидкості скочування відчепу в момент входу на 4-ту розділову стрілку при точності реалізації швидкості виходу з уповільнювачів
 $\sigma_{\text{гп}} = 0,2 \text{ м/с}$

В.2 Скокування одиночного відчепу при $\sigma_{\text{гп}} = 0,4$ м/с

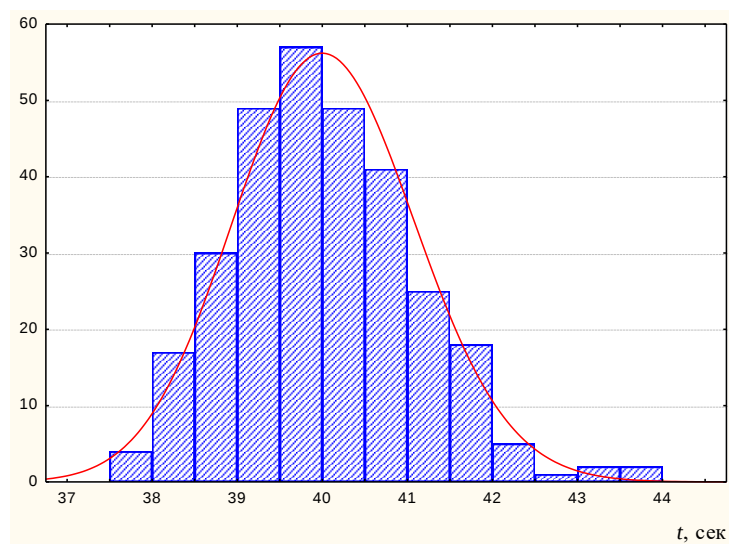


Рисунок В.3 – Гістограма та функція щільності розподілу випадкової величини тривалості скокування відчепу до входу на 4-ту розділову стрілку при точності реалізації швидкості виходу з уповільнювачів

$$\sigma_{\text{гп}} = 0,4 \text{ м/с}$$

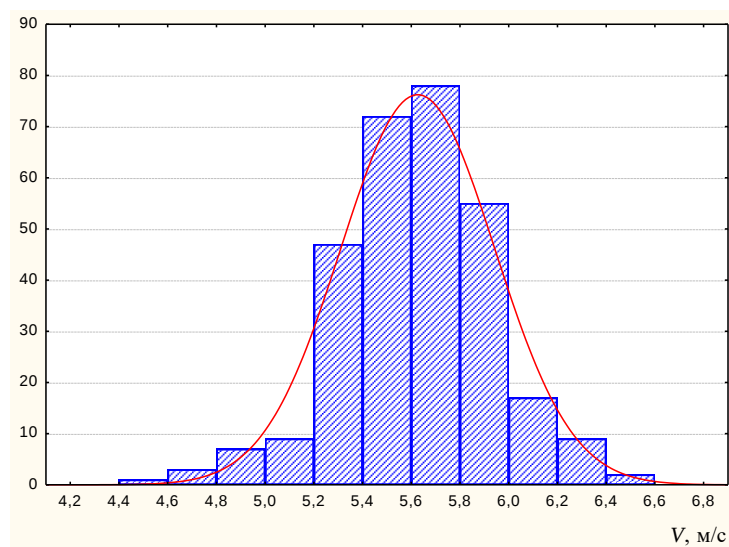


Рисунок В.4 – Гістограма та функція щільності розподілу випадкової величини швидкості скокування відчепу в момент входу на 4-ту розділову стрілку при точності реалізації швидкості виходу з уповільнювачів

$$\sigma_{\text{гп}} = 0,4 \text{ м/с}$$

Додаток Г

ВИХІДНІ ДАНІ ТА РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ СКОЧУВАННЯ СОСТАВУ

Г.1 Приклад даних составу

*число вагонов, номер пути назначения, Sprц

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

*данные о вагонах отцепа 25:

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

1	4	412		
пл		4с	42.0	3.60

*данные о вагонах отцепа 2:

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

3	9	467		
пв		4р	71.0	2.10
пв		4р	71.0	2.10
пв		4р	71.0	2.10

*данные о вагонах отцепа 3:

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

1	7	486		
цс		4с	22.0	3.90

* данные о вагонах отцепа 1:

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

2	1	504		
кр		4р	54.0	2.20
кр		4р	54.0	2.20

*данные о вагонах отцепа 4:

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

1	16	787		
цс		4р	80.0	1.13

*данные о вагонах отцепа 6:

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

2	5	492		
кр		4р	65.0	1.18
кр		4р	65.0	1.18

*данные о вагонах отцепа 7:

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

3	15	764		
пв		4р	90.0	1.15
пв		4р	90.0	1.15
пв		4р	90.0	1.15

*данные о вагонах отцепа 5:

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

1	6	682		
пв		4р	22.0	4.50

*данные о вагонах отцепа 8:

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

1	13	681		
---	----	-----	--	--

цс	4р	87.0	1.28
*данные о вагонах отцепа 10:			
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.			
1	2	1100	
пв	4р	62.0	2.00
*данные о вагонах отцепа 11:			
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.			
1	3	607	
цс	4р	73.0	1.78
*данные о вагонах отцепа 9:			
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.			
1	9	985	
цс	4р	77.0	1.71
*данные о вагонах отцепа 12:			
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.			
1	12	437	
пв	4р	85.0	0.50
*данные о вагонах отцепа 14:			
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.			
2	11	504	
пл	4р	79.0	1.41
пл	4р	79.0	1.41
*данные о вагонах отцепа 15:			
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.			
1	7	673	
пв	4р	30.0	4.00
*данные о вагонах отцепа 13:			
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.			
1	4	807	
пв	4р	38.0	3.50
*данные о вагонах отцепа 16:			
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.			
1	2	530	
пв	4р	58.0	1.87
*данные о вагонах отцепа 18:			
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.			
1	13	550	
пл	4р	80.0	0.88
*данные о вагонах отцепа 19:			
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.			
1	5	830	
пв	4р	70.0	1.50
*данные о вагонах отцепа 17:			
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.			
1	2	835	
пв	4р	78.0	1.0
*данные о вагонах отцепа 20:			
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.			
1	11	498	

```

кр          4р          80.0          1.40
*данные о вагонах отцепа 22:
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.
1      3      1081
пв          4р          46.0          3.00
*данные о вагонах отцепа 23:
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.
1      1      1100
пв          4р          54.0          2.50
*данные о вагонах отцепа 21:
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.
2      15      1010
пв          4р          38.0          0.79
пв          4р          38.0          0.79
*данные о вагонах отцепа 24 :
*тип, к-во осей+подш, вес, основное сопр.
1      12      477
пв          4р          84.0          1.27

```

Г.2 Результаты моделирования скочування составу

```

Условия скатывания
V0=1.40 Vвет=5.0 Угол=20 Темп=-10 dS=2
Отцеп 1, Sprc=412
=====
пл 4ос, с, Q=42.0, w0=3.60
1  0.0000000  0.0000000
Тдо_мах= 0.0000 Тза_мин=29.8741
Отцеп 2, Sprc=467
=====
пв 4ос, р, Q=71.0, w0=2.10
пв 4ос, р, Q=71.0, w0=2.10
пв 4ос, р, Q=71.0, w0=2.10
Участок ОДР-нижний, Qмах=3
      h'          h''
1  0.2971225  0.9016302
2  1.2823902  0.0000000
3  2.4000001  0.0000000
4  2.4000001  0.6889862
b'(1)= 0.2971225 k'(1)= 0.9852678
b'(2)= 0.1647804 k'(2)= 1.1176099
b'(3)= 2.4000001 k'(3)= 0.0000000
b''(1)= 0.9016302 k''(1)=-0.9016302
b''(2)= 0.0000000 k''(2)= 0.0000000
b''(3)=-1.3779725 k''(3)= 0.6889862
Тдо_мах=29.7842 Тза_мин=35.4814
Отцеп 3, Sprc=486
=====
цс 4ос, с, Q=22.0, w0=3.90
Участок ОДР-нижний, Qмах=1
      h'          h''
1  0.0000000  0.0000000

```

```

2    0.6133833  0.0000000
b'(1)= 0.0000000 k'(1)= 0.6133833
b''(1)= 0.0000000 k''(1)= 0.0000000
Тдо_мах=27.1472  Тза_мин=39.0075
Отцеп 4,  Спрц=504
=====
кр 4ос, р, Q=54.0, w0=2.20
кр 4ос, р, Q=54.0, w0=2.20
Участок ОДР-верхний, Qмах=2
      h'      h''
1    0.2893315  0.6060079
2    0.2893315  2.3387234
3    2.4000001  0.4231058
b'(1)= 0.2893315 k'(1)= 0.0000000
b'(2)=-1.8213370 k'(2)= 2.1106687
b''(1)= 0.6060079 k''(1)= 1.7327156
b''(2)= 4.2543411 k''(2)=-1.9156176
Тдо_мах=49.4062  Тза_мин=32.9332
Отцеп 5,  Спрц=787
=====
цс 4ос, р, Q=80.0, w0=1.13
Участок ОДР-нижний, Qмах=3
      h'      h''
1    0.6402398  0.7721480
2    1.4800442  0.0000000
3    2.4000001  0.0000000
4    2.4000001  0.8693369
b'(1)= 0.6402398 k'(1)= 0.8398044
b'(2)= 0.5600884 k'(2)= 0.9199558
b'(3)= 2.4000001 k'(3)= 0.0000000
b''(1)= 0.7721480 k''(1)=-0.7721480
b''(2)= 0.0000000 k''(2)= 0.0000000
b''(3)=-1.7386738 k''(3)= 0.8693369
Тдо_мах=29.5088  Тза_мин=29.0201
Отцеп 6,  Спрц=492
=====
кр 4ос, р, Q=65.0, w0=1.18
кр 4ос, р, Q=65.0, w0=1.18
Участок ОДР-нижний, Qмах=3
      h'      h''
1    0.4711618  1.1377630
2    1.7164499  0.0000000
3    2.4000001  0.0000000
4    2.4000001  1.1082875
b'(1)= 0.4711618 k'(1)= 1.2452881
b'(2)= 1.0328996 k'(2)= 0.6835502
b'(3)= 2.4000001 k'(3)= 0.0000000
b''(1)= 1.1377630 k''(1)=-1.1377630
b''(2)= 0.0000000 k''(2)= 0.0000000
b''(3)=-2.2165749 k''(3)= 1.1082875
Тдо_мах=29.7521  Тза_мин=33.1927
Отцеп 7,  Спрц=764
=====

```

```

пв 4ос, р, Q=90.0, w0=1.15
пв 4ос, р, Q=90.0, w0=1.15
пв 4ос, р, Q=90.0, w0=1.15
Участок ОДР-нижний, Qmax=3
      h'      h''
1    0.4622812  0.9358330
2    1.4813112  0.0000000
3    2.4000001  0.0000000
4    2.4000001  0.8685564
b'(1)= 0.4622812 k'(1)= 1.0190300
b'(2)= 0.5626223 k'(2)= 0.9186889
b'(3)= 2.4000001 k'(3)= 0.0000000
b''(1)= 0.9358330 k''(1)=-0.9358330
b''(2)= 0.0000000 k''(2)= 0.0000000
b''(3)=-1.7371128 k''(3)= 0.8685564
Тдо_мах=29.5464  Тза_мин=35.4732
Отцеп 8,  Спрц=682
=====
пв 4ос, р, Q=22.0, w0=4.50
Участок ОДР-нижний, Qmax=0
      h'      h''
1    0.0000000  0.0000000
Тдо_мах=26.8234  Тза_мин=30.2907
Отцеп 9,  Спрц=681
=====
цс 4ос, р, Q=87.0, w0=1.28
Участок ОДР-нижний, Qmax=3
      h'      h''
1    0.6311190  0.8301868
2    1.5330194  0.0000000
3    2.4000001  0.0000000
4    2.4000001  0.9038970
b'(1)= 0.6311190 k'(1)= 0.9019005
b'(2)= 0.6660388 k'(2)= 0.8669807
b'(3)= 2.4000001 k'(3)= 0.0000000
b''(1)= 0.8301868 k''(1)=-0.8301868
b''(2)= 0.0000000 k''(2)= 0.0000000
b''(3)=-1.8077940 k''(3)= 0.9038970
Тдо_мах=29.5545  Тза_мин=29.0030
Отцеп 10,  Спрц=1100
=====
пв 4ос, р, Q=62.0, w0=2.00
Участок ОДР-нижний, Qmax=0
      h'      h''
1    0.0000000  0.0000000
Тдо_мах=25.8136  Тза_мин=40.0703
Отцеп 11,  Спрц=607
=====
цс 4ос, р, Q=73.0, w0=1.78
Участок ОДР-верхний, Qmax=2
      h'      h''
1    0.5319336  0.5969324
2    0.5319336  2.2998958

```

```

3    2.4000001    0.5877686
b'(1)= 0.5319336 k'(1)= 0.0000000
b'(2)=-1.3361329 k'(2)= 1.8680665
b''(1)= 0.5969324 k''(1)= 1.7029634
b''(2)= 4.0120230 k''(2)=-1.7121272
Тдо_мах=53.8894    Тза_мин=28.9855
Отцеп 12,    Спрц=985
=====
цс 4ос, р, Q=77.0, w0=1.71
Участок ОДР-нижний, Qмах=1
      h'      h''
1    0.5507913    0.0000000
2    2.0412943    0.0000000
b'(1)= 0.5507913 k'(1)= 1.4905031
b''(1)= 0.0000000 k''(1)= 0.0000000
Тдо_мах=28.2548    Тза_мин=40.7881
Отцеп 13,    Спрц=437
=====
пв 4ос, р, Q=85.0, w0=0.50
Участок ОДР-нижний, Qмах=3
      h'      h''
1    0.6531395    1.3204125
2    2.1085680    0.0000000
3    2.4000001    0.0000000
4    2.4000001    1.3618205
b'(1)= 0.6531395 k'(1)= 1.4554285
b'(2)= 1.8171358 k'(2)= 0.2914321
b'(3)= 2.4000001 k'(3)= 0.0000000
b''(1)= 1.3204125 k''(1)=-1.3204125
b''(2)= 0.0000000 k''(2)= 0.0000000
b''(3)=-2.7236409 k''(3)= 1.3618205
Тдо_мах=78.8009    Тза_мин=52.5146
Отцеп 14,    Спрц=504
=====
пл 4ос, р, Q=79.0, w0=1.41
пл 4ос, р, Q=79.0, w0=1.41
Участок ОДР-верхний, Qмах=3
      h'      h''
1    0.5205118    1.1623991
2    0.5205118    2.4000001
3    0.9959270    2.4000001
4    2.4000001    1.1061822
b'(1)= 0.5205118 k'(1)= 0.0000000
b'(2)= 0.0450966 k'(2)= 0.4754152
b'(3)=-1.8122193 k'(3)= 1.4040731
b''(1)= 1.1623991 k''(1)= 1.2376010
b''(2)= 2.4000001 k''(2)= 0.0000000
b''(3)= 4.9876356 k''(3)=-1.2938179
Тдо_мах=83.1665    Тза_мин=32.9900
Отцеп 15,    Спрц=673
=====
пв 4ос, р, Q=30.0, w0=4.00
Участок ОДР-нижний, Qмах=0

```

```

      h'          h''
1    0.0000000    0.0000000
Тдо_мах=26.4339  Тза_мин=38.7896
Отцеп 16,  Спрц=807
=====
пв 4ос, р, Q=38.0, w0=3.50
Участок ОДР-нижний, Qмах=0
      h'          h''
1    0.0000000    0.0000000
Тдо_мах=35.0562  Тза_мин=41.5693
Отцеп 17,  Спрц=530
=====
пв 4ос, р, Q=58.0, w0=1.87
Участок ОДР-верхний, Qмах=2
      h'          h''
1    0.3521858    0.3857661
2    0.3521858    2.1883492
3    2.4000001    0.3584883
b'(1)= 0.3521858 k'(1)= 0.0000000
b'(2)=-1.6956284 k'(2)= 2.0478144
b''(1)= 0.3857661 k''(1)= 1.8025832
b''(2)= 4.0182104 k''(2)=-1.8298609
Тдо_мах=55.6971  Тза_мин=29.3232
Отцеп 18,  Спрц=550
=====
пл 4ос, р, Q=80.0, w0=0.88
Участок ОДР-нижний, Qмах=3
      h'          h''
1    0.6581022    1.2141790
2    1.9805601    0.0000000
3    2.4000001    0.0000000
4    2.4000001    1.3322440
b'(1)= 0.6581022 k'(1)= 1.3224579
b'(2)= 1.5611200 k'(2)= 0.4194400
b'(3)= 2.4000001 k'(3)= 0.0000000
b''(1)= 1.2141790 k''(1)=-1.2141790
b''(2)= 0.0000000 k''(2)= 0.0000000
b''(3)=-2.6644881 k''(3)= 1.3322440
Тдо_мах=29.5668  Тза_мин=29.7014
Отцеп 19,  Спрц=830
=====
пв 4ос, р, Q=70.0, w0=1.50
Участок ОДР-нижний, Qмах=1
      h'          h''
1    0.4614192    0.0000000
2    2.3046293    0.0000000
b'(1)= 0.4614192 k'(1)= 1.8432101
b''(1)= 0.0000000 k''(1)= 0.0000000
Тдо_мах=29.7429  Тза_мин=37.8463
Отцеп 20,  Спрц=835
=====
пв 4ос, р, Q=78.0, w0=1.00
Участок ОДР-верхний, Qмах=2

```

```

      h'          h''
1    0.5610853   0.4573959
2    0.5610853   2.2599530
3    2.4000001   0.5981956
b'(1)= 0.5610853 k'(1)= 0.0000000
b'(2)=-1.2778294 k'(2)= 1.8389148
b''(1)= 0.4573959 k''(1)= 1.8025571
b''(2)= 3.9217105 k''(2)=-1.6617575
Тдо_мах=46.3592  Тза_мин=29.3338
Отцеп 21,  Спрц=498
=====
кр 4ос, р, Q=80.0, w0=1.40
Участок ОДР-нижний, Qмах=3
      h'          h''
1    0.5020888   0.8620886
2    1.4519155   0.0000000
3    2.4000001   0.0000000
4    2.4000001   0.9041720
b'(1)= 0.5020888 k'(1)= 0.9498267
b'(2)= 0.5038309 k'(2)= 0.9480846
b'(3)= 2.4000001 k'(3)= 0.0000000
b''(1)= 0.8620886 k''(1)=-0.8620886
b''(2)= 0.0000000 k''(2)= 0.0000000
b''(3)=-1.8083440 k''(3)= 0.9041720
Тдо_мах=30.2286  Тза_мин=29.7697
Отцеп 22,  Спрц=1081
=====
пв 4ос, р, Q=46.0, w0=3.00
Участок ОДР-нижний, Qмах=0
      h'          h''
1    0.0000000   0.0000000
Тдо_мах=26.0319  Тза_мин=40.9479
Отцеп 23,  Спрц=1100
=====
пв 4ос, р, Q=54.0, w0=2.50
Участок ОДР-верхний, Qмах=0
      h'          h''
1    0.0000000   0.0000000
Тдо_мах=37.5091  Тза_мин=28.9784
Отцеп 24,  Спрц=1010
=====
пв 4ос, р, Q=38.0, w0=0.79
пв 4ос, р, Q=38.0, w0=0.79
Участок ОДР-нижний, Qмах=1
      h'          h''
1    0.3712834   0.0000000
2    2.2371147   0.0000000
b'(1)= 0.3712834 k'(1)= 1.8658313
b''(1)= 0.0000000 k''(1)= 0.0000000
Тдо_мах=29.3759  Тза_мин=40.9658
Отцеп 25,  Спрц=477
=====
пв 4ос, р, Q=84.0, w0=1.27

```

4 2.4000001 1.0413475
 Тдо_мах=47.7229 Тза_мин= 0.0000

Отцеп 1, 1ваг

ht: 0.00000, 0.00000, 0.97140 *- Nт=0.9

Spr=412 Vпр=1.502 Лок= 0

tza(2)=29.87414

Отцеп 2, 3ваг, стрелка разд с предыд - 2, ОДР -Н

ht: 1.70368, 0.00000, 0.89679 *- Nт=2.9 q=1.37695

Spr=467 Vпр=1.501 Лок= 0

t0(1-2)=14.16356, tdo(2)=29.08015, tza(2)=39.53360, dt(1-2)=13.36957

.

.

.

.

.

Отцеп 21, 1ваг, стрелка разд с предыд - 2, ОДР -Н

ht: 0.89051, 0.50955, 1.19880 *- Nт=2.9 q=0.40894

Spr=498 Vпр=1.505 Лок= 0

t0(20-21)=10.08958, tdo(2)=26.69025, tza(2)=30.43209, dt(20-21)=6.83076

Отцеп 22, 1ваг, стрелка разд с предыд - 2, ОДР -Н

ht: 0.00000, 0.00000, 0.00000 *- Nт=1.0 q=0.00000

Spr=1081 Vпр=0.000 Лок=307

t0(21-22)=11.22431, tdo(2)=26.03187, tza(4)=40.94794, dt(21-22)=6.82409

Отцеп 23, 1ваг, стрелка разд с предыд - 4, ОДР -В

ht: 0.00000, 0.00000, 0.00000 *- Nт=1.0 q=0.00000

Spr=1100 Vпр=0.000 Лок=188

t0(22-23)=9.71581, tdo(4)=37.50907, tza(2)=28.97842, dt(22-23)=6.27693

Отцеп 24, 2ваг, стрелка разд с предыд - 2, ОДР -Н

ht: 2.23711, 0.00000, 0.00000 *- Nт=2.0 q=1.00000

Spr=1010 Vпр=0.040 Лок= 0

t0(23-24)=11.68177, tdo(2)=29.37593, tza(3)=52.23405, dt(23-24)=12.07928

Отцеп 25, 1ваг, стрелка разд с предыд - 3, ОДР -В

ht: 2.40000, 1.04135, 0.00000 *- Nт=3.0

Spr=477 Vпр=0.033 Лок= 0

t0(24-25)=17.61214, tdo(3)=47.72287, tza(0)=0.00000, dt(24-25)=13.10096